

**REVISIÓN Y AJUSTE DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE
MEDICIÓN DE CALIDAD BASADO EN ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO
CERCANO O NIR (NEAR INFRARED SPECTROSCOPY) MEDIANTE
METODOLOGÍA RCM PARA UNA PLANTA DE TRANSPORTE DE
HIDROCARBURO.**

RODOLFO ORTIZ ACEVEDO

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

2018

**REVISIÓN Y AJUSTE DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE
MEDICIÓN DE CALIDAD BASADO EN ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO
CERCANO O NIR (NEAR INFRARED SPECTROSCOPY) MEDIANTE
METODOLOGÍA RCM PARA UNA PLANTA DE TRANSPORTE DE
HIDROCARBURO.**

RODOLFO ORTIZ ACEVEDO

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

Directora

**ANDREA DEL PILAR GONZÁLEZ RODRÍGUEZ
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

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

2018

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mis seres queridos con mucho amor padres, mi esposa, mis hijos y todas aquellas personas que, de una u otra manera, estuvieron a mi lado, alentándome y compartiendo esta gran ilusión. Gracias a todos ustedes que pudieron hacer de este sueño una realidad y una inmensa alegría, porque sin ustedes no hubiera sido posible lograrlo.

Papa Mario

Mama Blanca

Esposa e hijos

Hermanos y amigos

Rodolfo

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Como siempre agradecer a Dios por permitirme finalizar este proyecto y estar con vida para seguir gozando de su gracia, compartiendo siempre con las buenas personas que nos rodean.

Agradezco a mi familia, a mi esposa y a mis hijos quienes han sido parte fundamental en la esperanza y la fortaleza, ellos son quienes me dieron grandes enseñanzas y los principales protagonistas de este “sueño alcanzado”.

A la Ingeniera Andrea del Pilar González Rodríguez por su valiosa contribución y su tiempo compartido en el desarrollo de cada una de las etapas de esta monografía.

A la Universidad Industrial de Santander y todo su cuerpo de docentes por orientarme en la ejecución de este proyecto y en su transferencia de conocimientos, que hicieron valiosos aportes en nuestra formación como profesionales.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. INFORMACIÓN DE LA PLANTA GALÁN DE LA RED DE TRANSPORTE Y LOGÍSTICA DE CENIT S.A.S	16
1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y ASPECTOS GENERALES	16
1.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE DE ENTRADA	18
1.3 SISTEMAS DE TRANSPORTE DE SALIDA.....	18
1.4 INFRAESTRUCTURA DE LA PLANTA GALÁN	19
2. MISIÓN Y VISIÓN.....	22
2.1 MISIÓN	22
2.2 VISIÓN.....	22
3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	23
4. MARCO CONCEPTUAL	24
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
6. OBJETIVOS.....	28
6.1 OBJETIVO GENERAL	28
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
7. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO	29
8. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	31
8.1 CONCEPTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES DEL RCM.....	31
8.2 METODOLOGÍA DEL RCM	32
8.3 PASOS PARA LA APLICACIÓN DEL RCM.....	33
9. OPERACIÓN DEL SISTEMA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE CALIDAD BASADO EN ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO O NIR (NEAR INFRARED SPECTROSCOPY).....	35

9.1 LOCALIZACIÓN DEL SISTEMA.....	36
9.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA NIR ESTACIÓN GALÁN	37
9.3 COMPONENTES DEL SISTEMA NIR	37
9.4 DIAGRAMA DE BLOQUES GENÉRICO DEL SISTEMA NIR.....	38
9.5 SISTEMAS GENERALES	39
9.6 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES	46
9.6.1 Sistema de lavado de celda	46
9.6.2 Sistema de refrigeración.	48
9.6.3 Sistema de almacenamiento de residuos.	50
9.6.4 Sistema de aire de instrumentos.....	51
10. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS O COMPONENTES DEL SISTEMA NIR.....	61
10.1 ESTIMACIÓN DE LA FRECUENCIA DE FALLA	61
10.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA.....	62
10.3 DIAGRAMAS DE FLUJO O ESQUEMAS TÉCNICOS QUE EVIDENCIE DATOS DEL PROCESO, VARIABLES, PRODUCTOS	62
10.4 INFORMACIÓN HISTÓRICA DE CONFIABILIDAD DE MANTENIMIENTO..	62
10.5 PRESUPUESTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	62
11. DEFINICIÓN Y OBSERVACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MEDIDA PARA LA PROPUESTA DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEL SISTEMA NIR.	64
12. MATRIZ DE CRITICIDAD	65
13. FACTORES DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD	67
14. REGISTROS HISTÓRICOS DISPONIBLES DE EVENTOS O FALLAS.....	68
15. TABLAS DE RESULTADOS DE FACTORES EVALUADOS PARA LA CRITICIDAD DEL SISTEMA NIR.....	71
16. ANÁLISIS RCM DEL MODO DE FALLA PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL SISTEMA NIR.....	75
16.1 FUNCIÓN DE UN EQUIPO.....	75
16.2 FALLAS FUNCIONALES DEL EQUIPO	75
16.3 MODO DE FALLA.....	76

16.4 EFECTOS DE FALLA.....	76
16.5 CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS.....	76
17. VALIDACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL RCM.....	78
17.1 VÁLVULA ON / OFF	78
17.2 AIR COMPRESOR KAESER.....	79
17.3 PLC NIR AC-800.....	81
17.4 TFL FILTROS PRE ACONDICIONAMIENTO	83
18. RESULTADO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO AJUSTADO.....	85
18.1 TAREA DE MANTENIMIENTO N°1	85
18.2 TAREA DE MANTENIMIENTO N°2	86
18.3 TAREA DE MANTENIMIENTO N°3	86
18.4 TAREA DE MANTENIMIENTO N°4	87
19. CONCLUSIONES	89
20. RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	96

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica de la Planta Galán	16
Figura 2. Sistemas Operacionales O&M Planta Galán	17
Figura 3. Infraestructura de la Planta Galán	21
Figura 4. Estructura organizacional	23
Figura 5. Localización del sistema NIR.....	37
Figura 6. Diagrama de bloques genérico del sistema NIR.....	38
Figura 7. Despliegue general en HMI del sistema NIR L14	40
Figura 8. Despliegue general en HMI del sistema NIR Sebastopol L12”	42
Figura 9. Despliegue general en HMI del sistema NIR Sebastopol L16”	43
Figura 10. Despliegue general en HMI del sistema NIR Chimitá L10”	45
Figura 11. Despliegue general en HMI del sistema de lavado de celda – Auxiliares L10”	47
Figura 12. Despliegue general en HMI del sistema de refrigeración.....	48
Figura 13. Despliegue general en HMI del sistema de manejo residuos – Auxiliares L10”	51
Figura 14. Despliegue general en HMI del sistema de aire sistema NIR – Auxiliares L10”	52
Figura 15. Matriz de Criticidad	65
Figura 16. Fallas equipos NIR.....	70
Figura 17. Actuador de ¼ de vuelta ON/OFF.....	78
Figura 18. Compresor de aire KAESER.....	80
Figura 19. PLC ABB AC-800.....	82
Figura 20. PLC ABB AC-800.....	83
Figura 21. Revisión y estado de válvula ON/OFF	92

Figura 22. Revisión y estado de válvula ON/OFF92
Figura 23. Ficha técnica válvula / grado IP93
Figura 24. Bloques “sugerido” genérico del sistema NIR.....94

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Equipos y Componentes del sistema NIR.....	53
Tabla 2. Plan de mantenimiento básico actual del sistema NIR	59
Tabla 3. Factores sustanciales para el Análisis de Criticidad	67
Tabla 4. Registros de Eventos o Fallas NIR	68
Tabla 5. Cálculo de fallas x año	69
Tabla 6. Frecuencia de Fallas.....	71
Tabla 7. Impacto Operacional	71
Tabla 8. Flexibilidad Operacional.....	72
Tabla 9. Costos de Mantenimiento	72
Tabla 10. Seguridad y Medio Ambiente	73
Tabla 11. Resultado del Análisis de Criticidad NIR.....	74
Tabla 12. Modos de falla actuador ¼ de vuelta ON/OFF	78
Tabla 13. Modos de falla compresor de aire de tornillo	80
Tabla 14. Modos de falla PLC de comunicación	82
Tabla 15. Modos de falla Filtro de micro-partículas	83
Tabla 16. Tareas de mantenimiento para la SV-válvula ON/OFF	85
Tabla 17. Tareas de mantenimiento para el Air Compresor KAESER	86
Tabla 18. Tareas de mantenimiento para el PLC comunicaciones NIR	86
Tabla 19. Tareas de mantenimiento para los Filtros de micro - partículas.....	87
Tabla 20. Clases de protección IP: IP54, IP64, IP65, IP68.....	90

RESUMEN

TÍTULO: REVISIÓN Y AJUSTE DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE CALIDAD BASADO EN ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO O NIR (NEAR INFRARED SPECTROSCOPY) MEDIANTE METODOLOGÍA RCM PARA UNA PLANTA DE TRANSPORTE DE HIDROCARBURO.*

AUTOR: RODOLFO ORTIZ ACEVEDO**

PALABRAS CLAVES: NIR, Higroscópica, Toma de Proceso Rápida, Área Aislada.

DESCRIPCIÓN

Para las empresas que hoy en día utilizan altos estándares de ingeniería y procesos complejos en su operación, es importante y determinante propender por la implementación de metodologías que permitan alcanzar una confiabilidad operativa y técnica con el propósito fundamental de buscar el origen de los fallos de los equipos, trabajando sobre las causas y no sobre los efectos de los mismos. La metodología RCM, que es nuestro caso de estudio, tiene la característica de ser una metodología proactiva, siempre buscando adelantarse a los fallos, sin embargo, es también íntegramente aplicable a situaciones reactivas o cuando la falla ya ha ocurrido.

Los diversos beneficios sustanciales que se obtienen de crear una eficaz confiabilidad operativa y técnica, como es el de aumentar la disponibilidad de los activos y la posibilidad de bajar los costos financieros, puede mostrarnos que tan transformadora y retadora pueden ser las industrias, siendo esta una de las mejores alternativas que poseen las organizaciones para aumentar su competitividad y uno de los requisitos del mantenimiento de clase mundial.

La Planta Galán Barrancabermeja de la red de transporte y Logística de CENIT, en base a la implementación y desarrollo de la técnica metodológica de RCM, para la revisión, ajuste, modificación y actualización de los planes de mantenimiento para el sistema de medición de calidad basado en NIR, se proyecta conseguir una maximización en la confiabilidad y disponibilidad de su operación, mejorar la comprensión del funcionamiento de estos equipos y generar la confianza necesaria para seguir operando y manteniendo estos sistemas.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Directora: Andrea del Pilar González Rodríguez, Especialista en Gerencia de Mantenimiento

SUMMARY

TITLE: REVIEW AND ADJUSTMENT OF THE MAINTENANCE PLAN OF THE QUALITY MEASUREMENT SYSTEM BASED ON NEAR INFRARED SPECTROSCOPY OR NIR (NEAR INFRARED SPECTROSCOPY) BY RCM METHODOLOGY FOR A HYDROCARBON TRANSPORT PLANT.

AUTHOR: RODOLFO ORTIZ ACEVEDO**

KEYWORDS: NIR, Hygroscopic, Fast Loop, OUTLIERS

DESCRIPTION

To the companies that nowadays use high standards of engineering and complex processes in their operation, it is important and determining to propender for the implementation of methodologies that allow getting a technical and operative trust ability with the fundamental purpose of looking for the origin of the teams failures, working on the causes. The RCM methodology, which is our study case, has the characteristic of being a proactive methodology, always looking for the avoidance of failures, although it's entirely applicable on reactivities situations or when the failure is already on.

The various substantial benefits that are obtained from creating an efficient operative and technical trust ability, it depends on increasing the availability of the assets and the possibility of decreasing the financial costs, it can show us how transformative and challenging industries can be, being this one of the best alternatives that possess the organizations in order to increase their competitiveness and one of the requirements of the maintenance of mundial class.

The Planta Galán Barrancabermeja of the Cenit transportation and logistics red, on base to the implementation and development of the methodological technique of RCM, for the revision, adjustment, modification and update of the maintenance plans for the quality measurement system based In NIR, it is planned to get a maximization in the trust ability and the availability of its operation, to improve the understanding of the functioning of these equipment and generate the needing trust in order to keep operating and maintaining these systems.

* Degree work

** Faculty of Mechanical Physics Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Andrea del Pilar González Rodríguez, Maintenance Management Specialist

INTRODUCCIÓN

A raíz de la evolución de los equipos industriales, equipos con tecnología de punta y un continuo desarrollo en los procesos operativos de las empresas que hoy en día surgen por ser competitivas e innovadoras, se ha hecho necesario realizar inversiones significativas en el desarrollo de personal competente, compra de materiales de alta tecnología y en una proporción aún más importante en la manera de cómo gestionar el mantenimiento de sus equipos.

El deterioro de los equipos, su incorrecto funcionamiento y las consecuencias que esto trae, genera un alto costo para las empresas, obligándolas a decidir cómo aumentar la confiabilidad en sus máquinas, la seguridad de los equipos y de las personas.

La industria ha pasado de practicar típicos mantenimientos correctivos para atender averías de los equipos, a implementar conceptos de mantenimiento preventivo y proactivo, con el objetivo de anticiparse a los daños y pérdidas de funcionalidad de los equipos en planta.

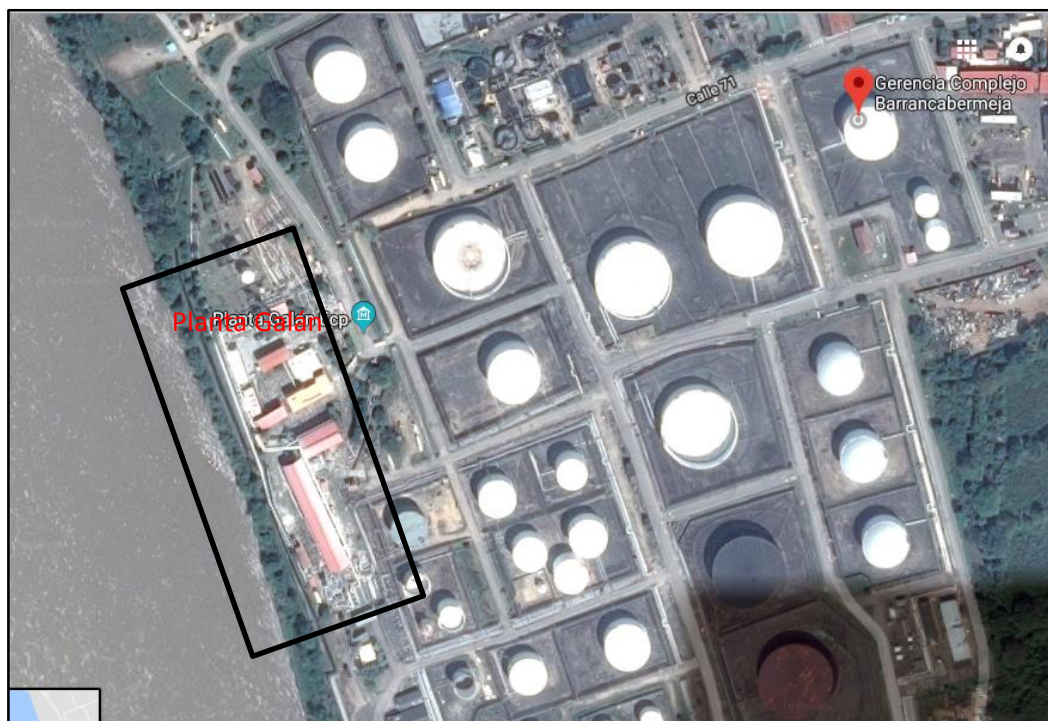
De acuerdo a lo anterior, y tratando de enfocar y entender la importancia de tomar las mejores decisiones en las esferas del mantenimiento, este estudio tiene el propósito de utilizar la metodología para el desarrollo de planes de mantenimiento basados en RCM, para revisar y ajustar el plan de mantenimiento del sistema de medición de calidad basado en Espectroscopia de Infrarrojo Cercano o NIR (Near Infrared Spectroscopy) para una planta de transporte de hidrocarburo, con ocasión de los reiterados fallos que se han venido presentando y la consecuente disminución de la operatividad y productividad de estos equipos.

1. INFORMACIÓN DE LA PLANTA GALÁN DE LA RED DE TRANSPORTE Y LOGÍSTICA DE CENIT S.A.S

1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y ASPECTOS GENERALES

La Planta Galán de la red de Transporte y Logística de Cenit, se encuentra ubicada dentro de las instalaciones de la Gerencia Complejo de la Refinería de Barrancabermeja en el costado Sur Occidental, hacia la margen derecha del rio Magdalena.

Figura 1. Ubicación geográfica de la Planta Galán



Fuente: Google maps. Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/GCB>

1.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE DE ENTRADA

1. Poliducto Pozos Colorados – Galán L14”: 511.75 Km de longitud y capacidad de flujo de 132.000 BPD.
2. Oleoducto Ayacucho – Galán – GCB 8”: 189 Km de longitud y capacidad de flujo de 24.000 BPD.

1.3 SISTEMAS DE TRANSPORTE DE SALIDA

1. Poliducto Galán – Sebastopol L16”: 115.35 Km de longitud y capacidad de 200.000 BPD.
2. Poliducto Galán – Sebastopol L12”: 115.69 Km de longitud y capacidad de 105.000 BPD.
3. Poliducto Galán – Chimita L10”: 96.07 Km de longitud y capacidad de 31.200 BPD
4. Propanoducto Galán – Sebastopol L8”: 115.29 Km de longitud y capacidad de 12.000 BPD.
5. Oleoducto Galán – Ayacucho L18”: 186 Km de longitud y capacidad de 86.400 BPD
6. Oleoducto Galán – Ayacucho L14”: 189 Km de longitud y capacidad de 55.500 BPD

1.4 INFRAESTRUCTURA DE LA PLANTA GALÁN

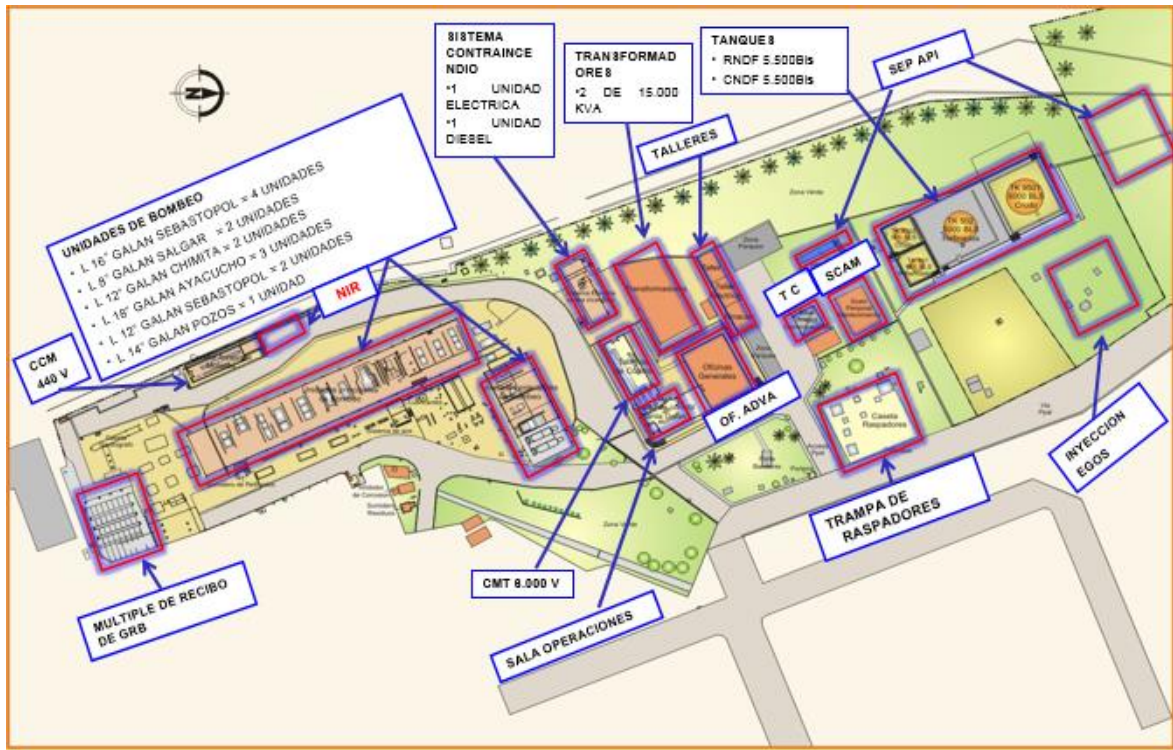
La Planta Galán cuenta con una infraestructura de soporte dimensionada para el transporte de los hidrocarburos que abastecen la zona centro y sur del país.

De acuerdo a la función dentro del proceso de transporte, la Planta Galán se divide en:

- a. Múltiples de recibo de productos de GRB: Es un sistema de ductos que llegan de los tanques de almacenamiento de la refinería GRB, el cual por medio de múltiples de válvulas de bloqueo y direccionamiento envían el producto hacia los equipos de bombeo de la Planta.
- b. Bombas Booster de refuerzo: Estos equipos impulsan (ponen presión) al producto dentro del ducto dándole la cabeza de succión requerida para su desplazamiento.
- c. Sistemas de medición: Equipos con la capacidad de contabilizar en tiempo real a través de una inferencia de la velocidad del fluido los volúmenes en Barriles despachados y recibidos de la planta.
- d. Unidades de Bombeo: Equipos de carácter dinámico (motor eléctrico – variador hidrocinetico o hidrovicoso – bomba multietapas), capaces de incrementar la presión de descarga y los flujos de desplazamiento del producto, de tal manera que puedan sortear los diferentes perfiles hidráulicos de los trayectos geográficos que atraviesan después de salir de la planta.

- e. Trampas de recibo y despacho: Barril con tapa desmontable con capacidad de albergar diferentes tipos de herramientas de limpieza, cuyo fin es el de desprender y minimizar los sedimentos y suciedad en las tuberías cuando se desplaza a través de ellas.
- f. Tanques de relevo: Recipientes de almacenamiento transitorio de producto, resultado de disparos de válvulas de seguridad por sobrepresión o movimientos operacionales controlados para manejo de las interfaces de productos combustibles.
- g. Subestación Eléctrica y CCM: La capacidad de suministro eléctrico actual de la Planta es de 45 MVA para equipos de consumo 440 VAC y 220 VAC a través de tres (3) transformadores de 15 MVA cada uno.
- h. Centro de Media Tensión: Se encuentran las celdas de contacto de media tensión que energizan y proporcionan suministro eléctrico independiente a las diferentes unidades de bombeo de la planta, su operación puede ser local o remota desde la sala de control de operación.
- i. Sala de Control de Operaciones: Lugar desde donde se ejerce el monitoreo y control de las variables operacionales de la Planta. Su interacción con el operador se realiza a través de un HMI mantenimiento un estricto cumplimiento de los procedimientos e instructivos operacionales certificados y aprobados por la organización.

Figura 3. Infraestructura de la Planta Galán



2. MISIÓN Y VISIÓN

2.1 MISIÓN

Operamos y desarrollamos soluciones integrales de transporte y logística de hidrocarburos que viabilizan el crecimiento de la industria petrolera del país, por medio de la ejecución de procesos eficientes e innovadores que garantizan una gestión rentable y sostenible de cara a nuestros grupos de interés.

2.2 VISIÓN

Seremos ser el aliado estratégico de la industria petrolera del país, mediante el desarrollo de soluciones integrales que satisfagan en su totalidad las necesidades de evacuación de crudos y refinados de nuestros clientes.

3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Figura 4. Estructura organizacional



4. MARCO CONCEPTUAL

El desarrollo y la utilización masiva de nuevos combustibles suponen la necesidad de aumentar los controles de calidad y disponer de herramientas adecuadas para el control de la calidad del combustible, asegurando que el mismo cumple todos los requerimientos de especificaciones y certificados de composición. Con la técnica NIR se puede analizar de una manera sencilla las muestras en línea y obtener resultados fiables en un corto tiempo.

La espectroscopia NIR es una técnica analítica que permite realizar los análisis, sin manipulación de muestras y con resultados de calidad inmediatos. Esto la convierte en una técnica idónea para el control en sitio en las plantas de almacenamiento.

En la operación eficiente del transporte de productos hidrocarburos es imprescindible tener un control preciso de la calidad, darles un manejo óptimo a los criterios de corte o separación del producto y utilizar elementos de medición que permitan diferenciar un producto de otro, esto, con el fin de reducir al mínimo su degradación y disminuir las pérdidas durante la operación del transporte.

El sistema de monitoreo de calidad NIR implementado en la Planta Galán, actualmente está conformado por los siguientes módulos:

- Sistema de circulación paralelo a la línea de proceso o “fast loop” para toma de una muestra representativa del proceso.
- Sistema de acondicionamiento de muestra para remoción de sólidos, humedad y estabilización de temperatura.
- Celda de medición y analizador de proceso.

- Sistema de validación y lavado para limpieza periódica y automática de la celda y verificación de señales ópticas.
- Sistema de “Outliers” para detección y muestreo automático de muestras fuera de especificación.
- Sistema de almacenamiento y recuperación de residuos.

Los planes de mantenimiento que en la actualidad se encuentran elaborados para cada componente de los módulos, si bien permiten conservar su integridad exterior, su función operacional se ha visto afectada por variables externas como el medio ambiente, los residuos y sedimentos del producto en línea y frecuentes fallas en la comunicación de la lógica de control, el cual permite realizar funciones como pre acondicionamiento de muestra, acondicionamiento final, manejo de residuos, lavado y secado de celda de medición, “swicheo” de válvulas, lavado automático de filtros, manejo de señales de alarmas, toma de muestras de verificación, arranque y apagado de bombas y activación de modelos de productos e interfaces, entre otros.

Este proyecto a través de la metodología RCM, busca evaluar el resultado de los modos de falla y elaborar las tareas adecuadas para evitar que estos ocurran, así mismo analizar la posibilidad de intervenir en la modificación o ajustes al diseño, si ello permite reducir o eliminar los factores de riesgo de falla.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CENIT empresa de Transporte y Logística de Hidrocarburos - filial de Ecopetrol, cuenta en la actualidad a nivel nacional con 6 sistemas de medición de calidad de productos hidrocarburos que utilizan la tecnología de espectroscopia en Infrarrojo Cercano o NIR (*Near Infrared Spectroscopy*), esto, representa un enorme potencial para la caracterización de una gran variedad de productos de forma instantánea, siendo la base de esta tecnología la creación de un modelo matemático que relaciona los valores espectrales (datos de absorbancia NIR) con los parámetros cuantitativos y cualitativos de cada muestra tomada en línea.

Con el objeto de verificar en tiempo real, las especificaciones de calidad de cada uno de los productos refinados transportados y así mismo reducir los costos asociados a degradación de productos que anualmente pueden llegar a los US\$700.000, estos sistemas fueron instalados y puestos en servicio hacia finales del año 2013 con un costo unitario cercano a los US\$1.700.000. Aun cuando en principio se contaba con un plan de mantenimiento esencial y estándar, los equipos y componentes de control del sistema fueron sobrellevando sistemáticas fallas, provocando el aumento de los costos de mantenimiento y de los tiempos de parada, de tal manera que en el contexto actual han dejado el 66,7% de estos sistemas fuera de servicio.

En base a lo anterior, se ha generado para la empresa una importante necesidad y compromiso de buscar alternativas de mantenimiento que puedan lograr recuperar la máxima disponibilidad y confiabilidad de los equipos y componentes de los sistemas con tecnología NIR.

El presente proyecto tiene previsto en base al desarrollo de la técnica metodológica de RCM, la revisión, ajuste, modificación y actualización de los planes de mantenimiento para el sistema de medición de calidad, que para el caso nuestro se encuentra ubicado en la Planta Galán Barrancabermeja de la red de transporte y Logística de CENIT, con esto, se proyecta lograr una maximización en la confiabilidad y disponibilidad de su operación, mejorar la comprensión del funcionamiento de estos equipos y generar la confianza necesaria para seguir operando y manteniendo estos sistemas.

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Revisar, ajustar, modificar y actualizar los planes de mantenimiento para el sistema de medición de calidad basado en tecnología NIR de la Planta Galán Barrancabermeja de la red de transporte y Logística de CENIT en base al desarrollo de la técnica metodológica de RCM.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar y constituir la información básica necesaria de los planes de mantenimiento actual de los equipos de medición de calidad.
2. Determinar los repuestos críticos, las funciones de los equipos y componentes del sistema y los procedimientos de operación.
3. Comprender las fallas sistemáticas de los equipos y componentes.
4. Establecer la respectiva metodología RCM que pueda lograr maximizar la confiabilidad y disponibilidad del sistema de medición de calidad.

7. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

Uno de los elementos que más afecta directamente la calidad del aire corresponde a la utilización de los productos combustibles en Colombia. En este sentido, el gobierno ha establecido a través de la ley 1205 de 2008 y la resolución 1180 de 2006, las metas para el mejoramiento de la calidad de los combustibles automotores como parte integral de la estrategia de calidad del aire, por esto, viene realizando y adelantando una serie de acciones con miras a lograr el mejoramiento de la calidad de los combustibles en el país, y con el fin de llevar la calidad de los mismos a los más altos estándares internacionales y contribuir así con el mejoramiento de la calidad del aire y el desarrollo sostenible del país.

En la actualidad, los combustibles bajos en azufre, los biocombustibles y sus mezclas, incrementan el nivel de riesgo de afectación debido a su naturaleza higroscópica y biodegradable. Estos contaminantes pueden entrar en la cadena de distribución de combustibles líquidos derivados de petróleo en todos los puntos: producción, almacenamiento, transporte y distribución.

CENIT, como agente responsable y comprometido con la sociedad colombiana, viene implementando desde hace algún tiempo un ordenado plan de mejoramiento de la calidad de los combustibles que le ha permitido en un significativo porcentaje, cumplir con la reglamentación de calidad exigida por el Estado Colombiano.

Es así, como desde el inicio del año 2014, cuando se pone a disposición la utilización de los equipos de análisis de calidad de productos, CENIT empieza a proponer nuevos esquemas de control y seguimiento alineados con los cumplimientos legales exigidos por la ley.

Sin embargo, y a pesar de los esfuerzos por mantener en operación estos equipos de una compleja tecnología, la capacidad de control y análisis se ve seriamente afectada por las constantes fallas e incluso sistemas que se habían implementado a nivel nacional en otras plantas de transporte se estaban quedando fuera de servicio en el corto plazo.

El panorama referido en los anteriores y consistentes argumentos origina la realización de este proyecto, que en un primer plano permite comprender las fallas sistemáticas de los equipos y componentes a través del reconocimiento de sus principales funciones y procedimientos de operación actual, esta inestimable información nos permite desarrollar y establecer la respectiva metodología RCM para poder lograr maximizar la confiabilidad y disponibilidad de estos sistemas de medición de calidad de los combustibles.

8. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

8.1 CONCEPTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES DEL RCM

John Moubray en relación al RCM expresa la siguiente definición:

Es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

El Mantenimiento basado en la confiabilidad RCM, por sus siglas en inglés: Reliability Centered Maintenance es destacada como una estrategia de Mantenimiento. Tiene sus inicios a principios de los años 1960s cuando las Aerolíneas de la Industria de la Aviación Civil Norte Americana se dan cuenta que las filosofías de mantenimiento que ellos tenían implementadas no solo generaban altos costos, sino que presentaban altos riesgos para su ejecución. Para tratar de solucionar este grave problema, la Industria Aeronáutica Norte Americana, creó una serie de Grupos de Mantenimiento Direccionales: (Maintenance Steering Groups), para reevaluar todo lo que ellos estaban haciendo, es aquí donde introducen el concepto de analizar todo el Sistema, más que cada equipo o aeronave en particular.

A mediados de 1970 el gobierno de los Estados Unidos pretendió tener más información acerca de la filosofía moderna en materia de mantenimiento de aeronaves, es así como le solicitan un informe a la Industria Aeronáutica. Este informe fue redactado por los ingenieros Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines, ellos lo denominaron: Reliability Centered Maintenance o RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad). Este informe se dio a conocer y fue

publicado en 1978, donde actualmente sigue siendo uno de los más importantes documentos que se hayan emitido acerca del Mantenimiento y Manejo de los activos físicos.

8.2 METODOLOGÍA DEL RCM

Es una estrategia o filosofía de Mantenimiento cuyo objetivo principal es garantizar un apropiado funcionamiento en el tiempo de un determinado Sistema. El RCM no se orienta únicamente a una estricta administración del mantenimiento, va más allá, permitiendo visualizar y gestionar apropiadamente la funcionalidad que un equipo desempeña dentro del sistema.

Esta metodología reconoce las consecuencias y el impacto funcional que pudiese tener una falla de un equipo dentro del sistema, por esto, el RCM busca evaluar cuidadosamente las consecuencias de un fallo, y emplazar todos los esfuerzos financieros, de planeación, de predicción y de recursos materiales y de mano de obra, a todas aquellas fallas significativas, importantes y que valgan tener que ser intervenidas en un equipo para lograr recuperar su funcionalidad.

Existen varios aspectos que se contemplan en esta metodología del RCM y entre los más importantes están los siguientes:

1. La funcionalidad del sistema prevalece sobre el enfoque de mantenimiento de los equipos.
2. Permite y ayuda a determinar los posibles modos de falla de los principales componentes dentro del sistema, y no cuando han sido comprobados por falla de los equipos.

3. Construye en forma elaborada las tareas de mantenimiento reflejadas en los métodos de mantenimiento preventivo y predictivo para tratar los modos de falla, en vez de cuando se generan a partir de procesos casuales e instintivos durante la operación de los equipos.
4. Las tareas de mantenimiento son priorizadas y fundamentadas de acuerdo al impacto que el modo de falla tiene sobre el sistema, en vez de darle a todas las fallas la misma importancia.

8.3 PASOS PARA LA APLICACIÓN DEL RCM

Luego de determinar que para el sistema de medición de calidad basado en Espectroscopia de Infrarrojo Cercano o NIR (Near Infrared Spectroscopy) se le va a aplicar un proceso general de análisis RCM, a continuación, se presentan las principales tareas a elaborar:

- a. Recolección de la información
- b. Definición de las fronteras del sistema
- c. Descripción del sistema y diagrama de bloques funcionales
- d. Descripción de las funciones y fallas funcionales
 - ¿Cuáles son las Funciones?
 - ¿De qué forma pueden fallar?
 - ¿Que causa que fallen?
 - ¿Qué sucede cuando fallan?
 - ¿Qué ocurre si fallan?
 - ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
 - ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla?
- e. Análisis de los modos de falla y sus efectos

- f. Análisis del árbol de decisión lógico
- g. Selección de tareas
- h. Implementación de recomendaciones, seguimiento de resultados y actualización del estudio.
- i. Análisis y discusión de los resultados.

9. OPERACIÓN DEL SISTEMA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE CALIDAD BASADO EN ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO O NIR (NEAR INFRARED SPECTROSCOPY)

El sistema de medición de calidad en línea - NIR implementado en la estación Galán, tiene la función de verificar en tiempo real, las especificaciones de calidad de cada uno de los productos refinados transportados por los sistemas:

- Galán Chimita - L10”
- Galán Sebastopol - L12”
- Galán Sebastopol - L16”
- Pozos - Galán - L14”

Este sistema permite analizar de manera continua y en tiempo real algunas de las propiedades fisicoquímicas de los productos destilados que se reciben y/o despachan desde la estación Galán, mediante el uso de modelos de inferencia de propiedades desarrollados específicamente para los productos de Cenit - Ecopetrol.

El analizador infrarrojo está conectado a un sistema de control distribuido (DCS) para interacción de los diversos componentes del sistema con el supervisorio general del mismo en la sala de operaciones de la planta.

El sistema de análisis en línea NIR, es un sistema automático diseñado para analizar muestras tomadas directamente de las líneas de proceso de la planta (despacho a B/manga, despacho a Sebastopol por L12”, despacho a Sebastopol por L16” y recibo de Pozos Colorados) de manera independiente. Cada subsistema consta de los siguientes elementos:

1. Toma de muestra de la línea de proceso
2. Pre-Acondicionamiento de muestra.
3. Acondicionamiento de muestra.
4. Medición de la muestra.

Se tienen los siguientes sistemas que son comunes para los cuatro subsistemas de monitoreo:

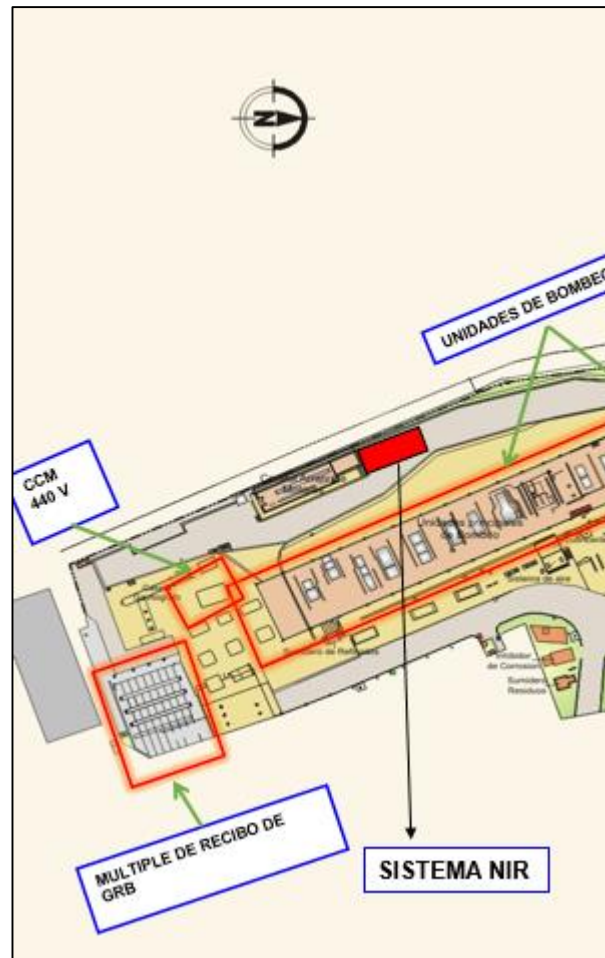
1. Sistema de acondicionamiento de temperatura de la muestra.
2. Sistema de lavado.
3. Sistema de almacenamiento de residuos.
4. Analizador infrarrojo NIR NR800 Yokogawa.
5. Sistema de distribución de aire.
6. PLC

El objetivo fundamental de este sistema es el de reducir los costos asociados a la degradación de productos de acuerdo a la toma oportuna de decisiones sobre la infraestructura de transporte, así mismo el de verificar la calidad del producto que se entrega a la Refinería de Barrancabermeja para la preparación del diésel de consumo interno, lo que permite optimizar el corte de interfaces que se reciben por la línea Pozos – Galán.

9.1 LOCALIZACIÓN DEL SISTEMA

El sistema NIR se encuentra localizado en un área de 5m x 12m, en donde se distribuyen los equipos tanto en zona abierta o Shelter y los que se encuentran en zona cerrada.

Figura 5. Localización del sistema NIR



9.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA NIR ESTACIÓN GALÁN

9.3 COMPONENTES DEL SISTEMA NIR

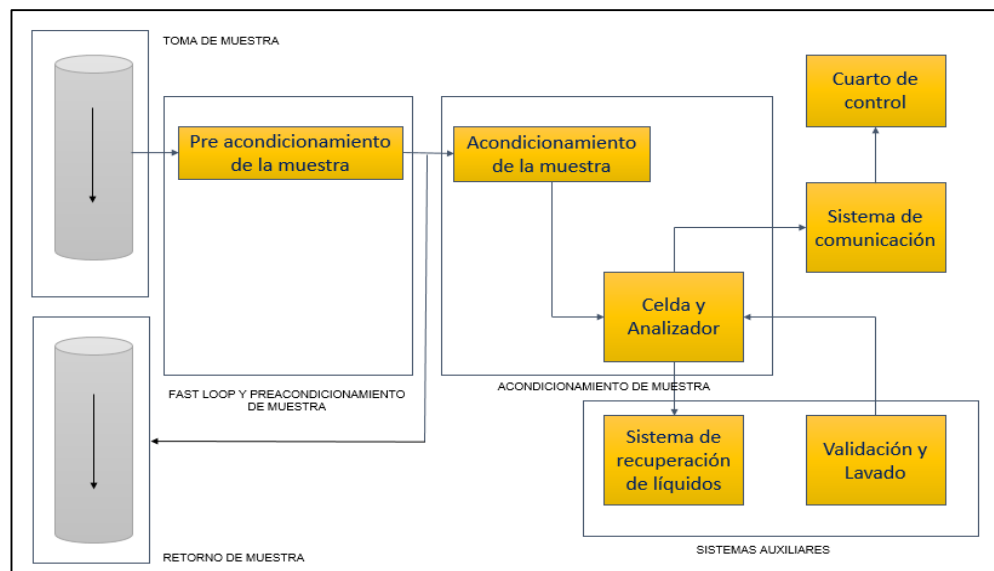
Todos los componentes del sistema NIR de la estación Galán se encuentran distribuidos en dos secciones:

Patín General: (los módulos de pre acondicionamiento y acondicionamiento de las cuatro líneas y parte del sistema Generales)

Cuarto Sistema NIR: (Chiller, Analizador NIR, PLC y unidad refrigerativa del secador), ubicado entre el Cuarto de Computadores Media tensión (CCM) y el cuarto de computadores de flujo (CCF) de la planta.

9.4 DIAGRAMA DE BLOQUES GENÉRICO DEL SISTEMA NIR

Figura 6. Diagrama de bloques genérico del sistema NIR



Los componentes del sistema NIR son:

Sistema NIR Línea Pozos Colorados:

- Toma y retorno del sistema a las líneas de proceso
- Módulo de alineación y pre filtración de Línea 14”.

- Bombas del Fast Loop (FL) de línea de 14”
- Módulo de pre-Acondicionamiento de muestra Línea 14”.
- Módulo de acondicionamiento y medición de muestra Línea 14”.

Sistema NIR Línea despacho Sebastopol L12”:

- Toma de proceso
- Módulo de pre-Acondicionamiento de muestra Línea de 12”
- Módulo de Acondicionamiento y medición de muestra Línea de 12”

Sistema NIR Línea despacho Sebastopol L16”:

- Toma de proceso Módulo de pre-Acondicionamiento de muestra línea de 16”.
- Módulo de Acondicionamiento y medición de muestra Línea 16”.

Sistema NIR Línea despacho Chimitá L10”:

- Toma de proceso
- Módulo de pre-Acondicionamiento de muestra Línea 10”.
- Módulo de acondicionamiento y medición de muestra Línea 10”.

9.5 SISTEMAS GENERALES

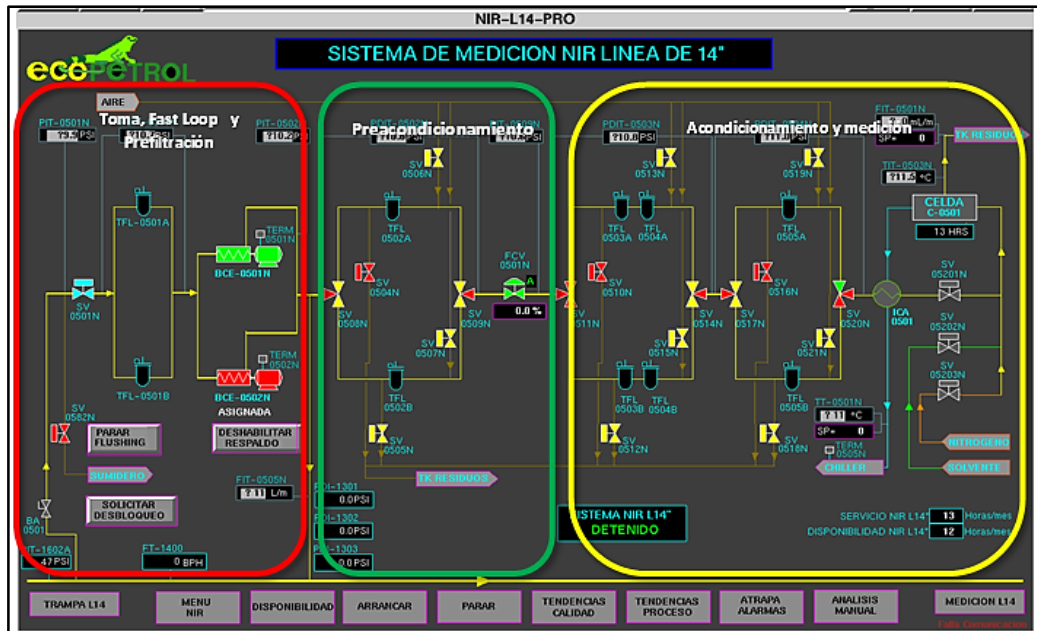
- Analizador Yokogawa, celdas infrarrojas y fibras ópticas.
- Sistema de recolección y disposición de residuos (tanque de residuos, bombas de reinyección).
- Sistema de lavado (cilindro de Nitrógeno, tanque de solvente y sistema de distribución).

- Sistema de refrigeración (Chiller y sistema de distribución de agua de enfriamiento).
- Sistema de aire de instrumentos (compresor, unidad de secado y sistema de distribución de aire de instrumentos)

Descripción del sistema NIR para monitoreo de calidad de los productos que se reciben de Pozos Colorados por L14”

El despliegue general en el HMI del sistema NIR para L14” se presenta en la siguiente figura:

Figura 7. Despliegue general en HMI del sistema NIR L14



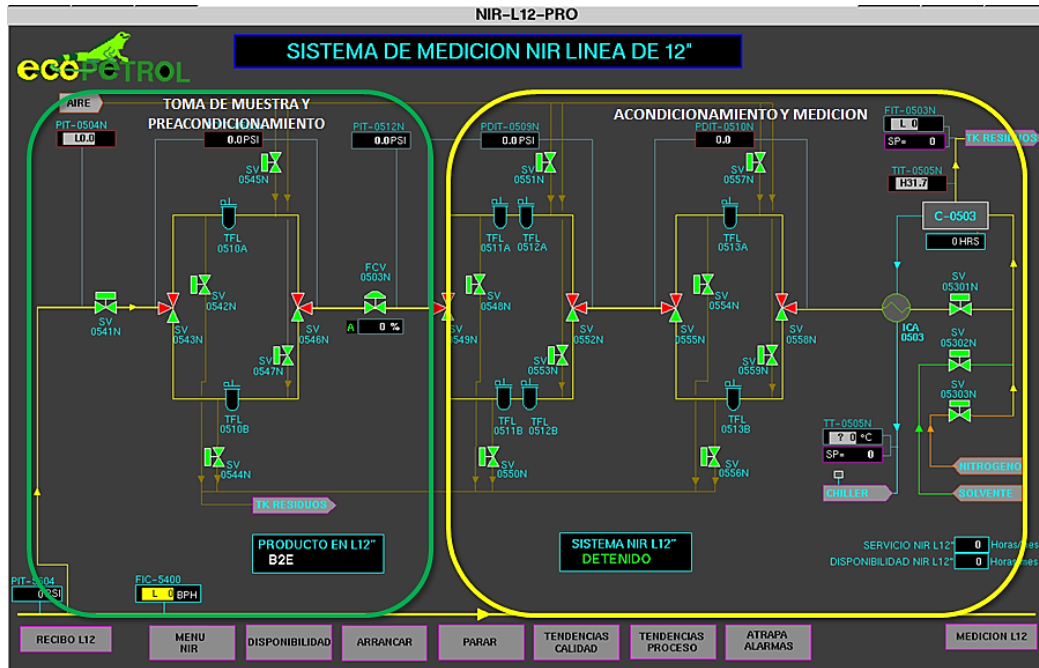
El sistema NIR para monitoreo de calidad de productos que se reciben por L14” en la planta Galán está compuesto de:

- Sección de toma de producto, alineación, Fast Loop y pre filtración comunican el sistema NIR con la línea de recibo de Pozos Colorados, asegurando un sistema de flujo paralelo a la línea de proceso o Fast Loop, que garantiza la toma de una muestra representativa y en tiempo real, el volumen excedente retorna a la línea de proceso mediante bombas. Se tiene una etapa inicial de filtración que protege las bombas por contenido de sólidos.
- Módulo de pre-acondicionamiento de muestra Línea 14". En esta etapa se realiza la primera etapa de filtración de la muestra a ser analizada y el control de flujo de producto a la celda de medición.
- Módulo de acondicionamiento y medición de muestra Línea14". En esta etapa se realiza la remoción final de partículas, el ajuste de temperatura de la muestra a ser analizada y la medición como tal, en la cual, la muestra de producto interactúa con la radiación infrarroja proveniente del analizador por medio de fibras ópticas, para realizar la medición de espectros infrarrojos, a partir de los cuales se infieren las propiedades de calidad.

Descripción del sistema NIR para monitoreo de calidad de los productos que se despachan hacia Sebastopol por 12"

El despliegue general en el HMI del sistema NIR para L12" se presenta en la siguiente figura:

Figura 8. Despliegue general en HMI del sistema NIR Sebastopol L12”



El sistema NIR para monitoreo de calidad de productos que se despachan hacia Sebastopol por línea de 12” está compuesto de:

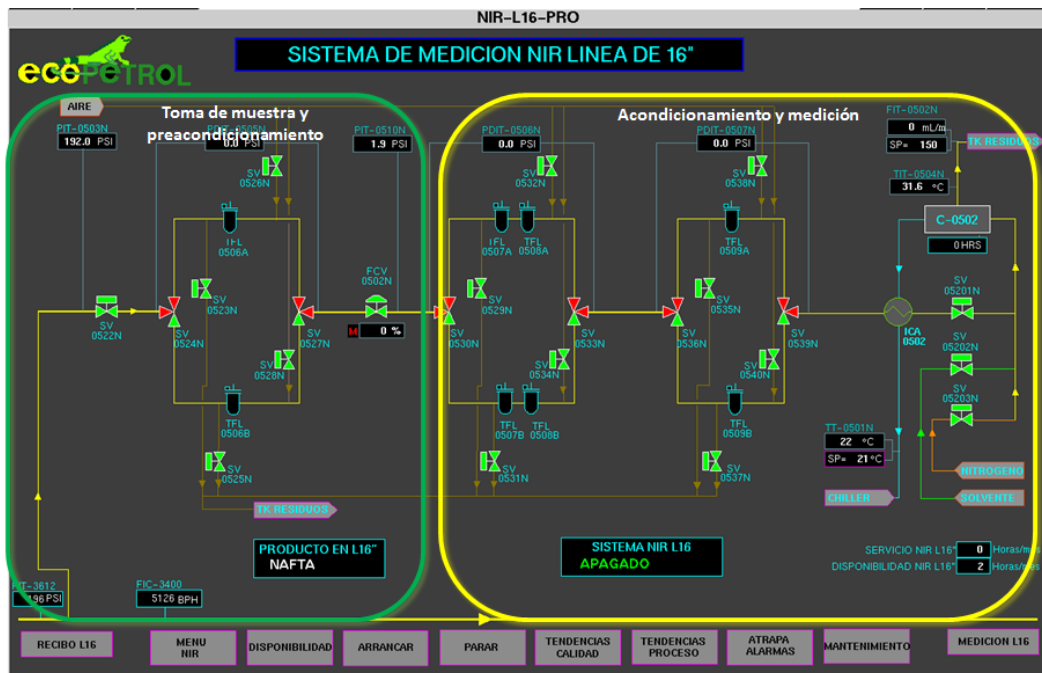
- Toma de proceso: El sistema utiliza la presión de descarga de las booster para llevar el fluido desde la línea de despacho hacia Sebastopol de 12”, hasta el patín NIR. La toma se ubica en la zona entre la descarga de booster y los filtros de L12”.
- Módulo de Pre acondicionamiento de muestra de línea de 12”: En esta etapa se realiza la primera etapa de filtración de la muestra a ser analizada y el control de flujo de producto a la celda de medición.

- Módulo de Acondicionamiento y Medición línea 12”, donde se realiza la remoción final de partículas, el ajuste de temperatura de la muestra a ser analizada y la medición como tal, en la cual, la muestra de producto interactúa con la radiación infrarroja proveniente del analizador por medio de fibras ópticas, para realizar la medición de espectros infrarrojos, a partir de los cuales se infieren las propiedades de calidad.

Descripción del sistema NIR para monitoreo de calidad de los productos que se despachan hacia Sebastopol por L16”.

El despliegue general en el HMI del sistema NIR para L16” se presenta en la siguiente figura:

Figura 9. Despliegue general en HMI del sistema NIR Sebastopol L16”



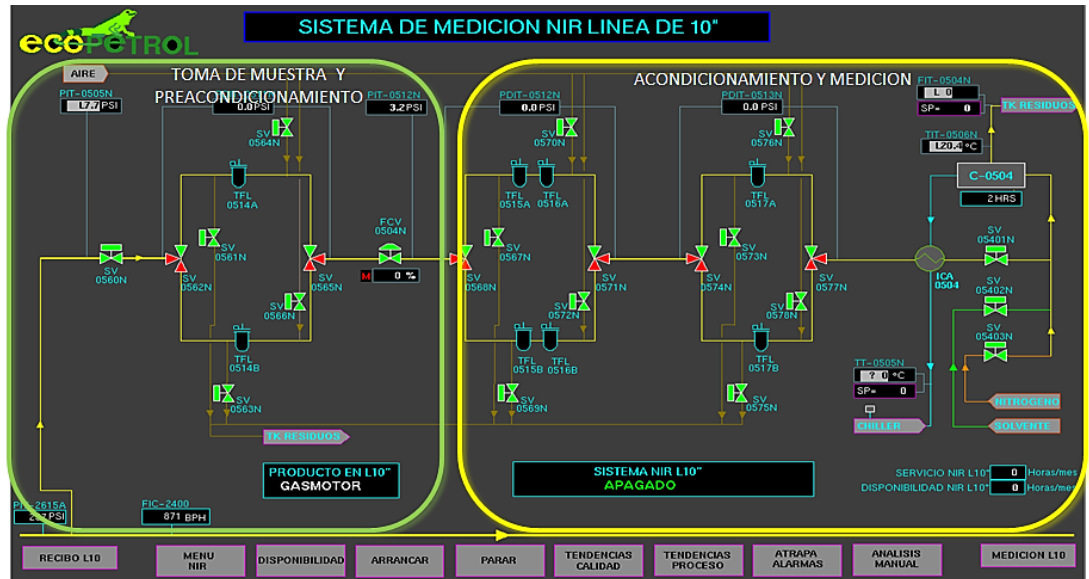
El sistema NIR para monitoreo de calidad de productos que se despachan hacia Sebastopol por línea de 16" está compuesto de:

- Toma de proceso: El sistema utiliza la presión de descarga de las booster para llevar el fluido desde la línea de despacho hacia Sebastopol de 16", hasta el patín NIR. La toma se ubica en la zona entre la salida de filtros ubicados en la descarga de booster y el patín de medición de L16".
- Módulo de Pre acondicionamiento de muestra de línea de 16": En esta etapa se realiza la primera etapa de filtración de la muestra a ser analizada y el control de flujo de producto a la celda de medición.
- Módulo de Acondicionamiento y Medición línea 16", donde se realiza la remoción final de partículas, el ajuste de temperatura de la muestra a ser analizada y la medición como tal, en la cual, la muestra de producto interactúa con la radiación infrarroja proveniente del analizador por medio de fibras ópticas, para realizar la medición de espectros infrarrojos, a partir de los cuales se infieren las propiedades de calidad.

Descripción del sistema NIR para monitoreo de calidad de los productos que se despachan hacia Chimitá por L10"

El despliegue general en el HMI del sistema NIR para L10" se presenta en la siguiente figura:

Figura 10. Despliegue general en HMI del sistema NIR Chimitá L10”



El sistema NIR para monitoreo de calidad de productos que se despachan hacia Chimitá está compuesto de:

- Toma de proceso: El sistema utiliza la presión de descarga de las booster para llevar el fluido desde la línea de despacho hacia Chimitá, hasta el patín NIR. La toma se ubica en la descarga de booster, antes de la entrada de la línea de GLP al poliducto.
- Módulo de pre acondicionamiento de muestra Sistema NIR L10”: En esta etapa se realiza la primera etapa de filtración de la muestra a ser analizada y el control de flujo de producto a la celda de medición.
- Módulo de Acondicionamiento y Medición línea 10”, donde se realiza la remoción final de partículas, el ajuste de temperatura de la muestra a ser analizada y la medición como tal, en la cual, la muestra de producto interactúa con la radiación infrarroja proveniente del analizador por medio de fibras ópticas, para realizar la

medición de espectros infrarrojos, a partir de los cuales se infieren las propiedades de calidad.

9.6 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES

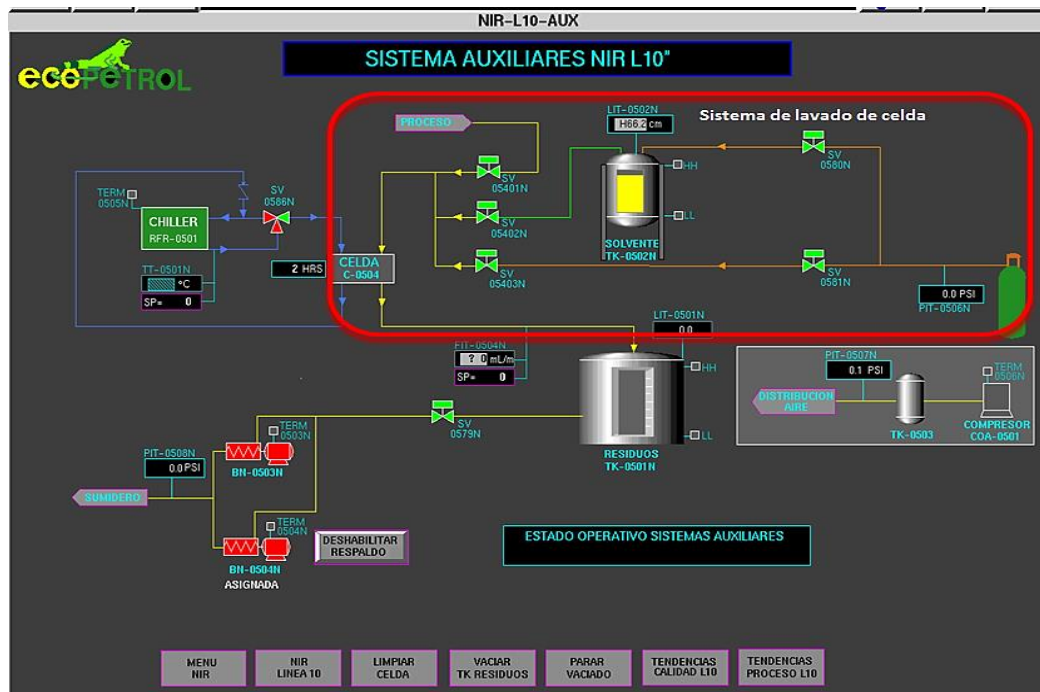
Los sistemas auxiliares corresponden a sistemas comunes a los cuatro sistemas de monitoreo de calidad que se tienen instalados para el NIR de la estación Galán.

Los sistemas auxiliares que se tienen son:

- Sistema de Validación y lavado (cilindro de Nitrógeno, tanque de solvente y sistema de distribución).
- Sistema de recolección y disposición de residuos (tanque de residuos, bombas de reinyección).
- Sistema de refrigeración (Chiller y sistema de distribución de agua de enfriamiento).
- Sistema de aire de instrumentos (compresor, unidad de secado y sistema de distribución de aire)

9.6.1 Sistema de lavado de celda. En la siguiente figura se presenta el despliegue de HMI para el sistema de lavado de L10”.

Figura 11. Despliegue general en HMI del sistema de lavado de celda – Auxiliares L10”



Sistema empleado para realizar el lavado automático de las celdas de medición, de manera programada y/o por requerimiento del operador desde el HMI. Esta operación incluye el lavado de la celda con solvente y el secado con nitrógeno.

El sistema está compuesto por el tanque de almacenamiento de solvente, una bala de suministro de nitrógeno y un sistema de distribución de solvente y nitrógeno hacia las celdas de medición.

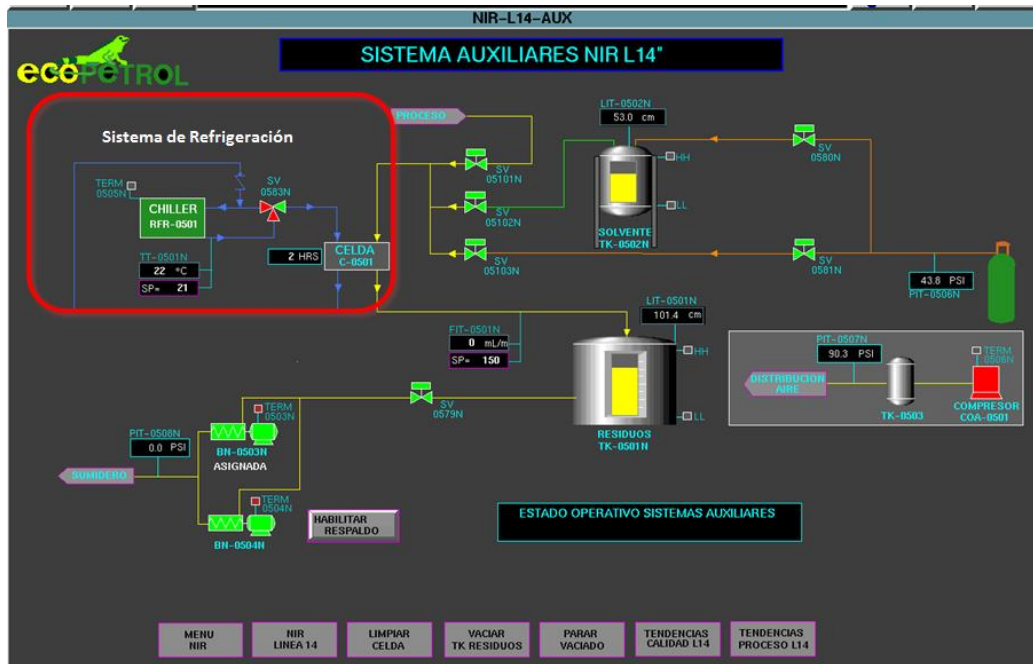
El solvente almacenado en el TK-0502N, llega a las celdas por medio de las válvulas SV-05102, SV-05202, SV-05302 y SV-05402, instaladas en los módulos de acondicionamiento de los sistemas de L14”, SEB L12”, SEB L16” y Chimitá L10” respectivamente.

El nitrógeno almacenado en una bala de nitrógeno, llega a las celdas por medio de las válvulas SV-05103, SV-05203, SV-05303 y SV-05403, instaladas en los módulos de acondicionamiento de los sistemas de L14", SEB L12", SEB L16" y Chimitá L10" respectivamente.

Desde el despliegue de Sistemas Auxiliares del HMI de cada uno de los sistemas, se puede visualizar las facilidades generales o comunes asociadas al lavado de celda y en forma particular las válvulas específicas de cada sistema.

9.6.2 Sistema de refrigeración. En la siguiente figura se presenta el despliegue de HMI para el sistema de refrigeración.

Figura 12. Despliegue general en HMI del sistema de refrigeración



El objetivo de este sistema es el suministro de agua de enfriamiento para el acondicionamiento de temperatura de la muestra que va a las cuatro celdas de medición.

El sistema está compuesto por un equipo de enfriamiento de agua y un cabezal de distribución.

En el sistema NIR de la planta Galán se tiene un enfriador RFR-0501 marca Filtrine, con un tanque de 2 galones de capacidad para almacenamiento de agua.

El enfriador tiene una bomba centrífuga de bronce con motor de 1/2 HP para el bombeo de agua desde el enfriador hacia el proceso (intercambiadores y celdas de medición), que tiene un caudal de 5 gpm y una cabeza máxima de 5 psi.

El enfriador tiene facilidades para recarga de agua, una salida de agua de enfriamiento, una facilidad para el retorno del agua de enfriamiento y una salida para vaciar el tanque en rutinas de mantenimiento.

El enfriador posee un indicador visual en vidrio del nivel de agua el cual se debe mantenerse en un nivel mínimo del 75%. Si el nivel de agua está por debajo del 75% se debe hacer reposición de agua en el chiller.

El enfriador tiene una única salida de agua de enfriamiento que se divide en cuatro corrientes, direccionadas a cada uno de los sistemas de monitoreo de calidad instalados, Pozos Colorados L14", Sebastopol L16", Sebastopol L12" y Chimitá L10".

El agua de enfriamiento intercambia calor con la muestra a analizar, en las celdas de medición C-0501N, C-0502N, C-0503N y C-0504N de los sistemas NIR de las líneas de 14", 12", 16" y 10" respectivamente; y en los intercambiadores ICA-0501,

ICA-0502, ICA-0503, ICA-0504 de los sistemas NIR de las líneas de 14", 12", 16" y 10" respectivamente.

9.6.3 Sistema de almacenamiento de residuos. El objetivo de este sistema es el almacenamiento temporal de las corrientes residuales del sistema NIR y su posterior disposición al sistema de drenajes de la planta.

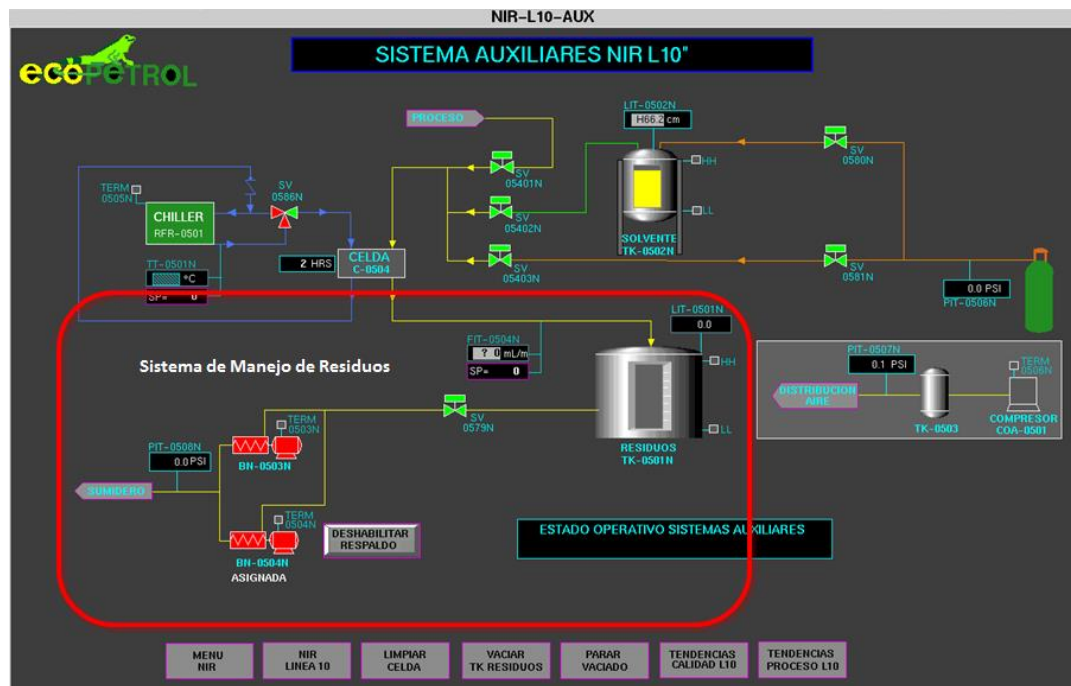
El sistema está compuesto principalmente por un tanque de almacenamiento de residuos y bombas para disposición del producto almacenado en el tanque.

Las corrientes que entran al tanque de almacenamiento de residuos son:

- Salida de la celda de medición de L14", L12", L16" y L14".
- Corriente de lavado de filtros de los módulos de pre acondicionamiento y acondicionamiento de L14", L12", L16" y L10".
- Disparos de las válvulas de seguridad de las válvulas de alivio de las bombas del sistema NIR.
- Alivios del tanque de almacenamiento de solvente.

En la siguiente figura se presenta el despliegue de HMI para el sistema de refrigeración.

Figura 13. Despliegue general en HMI del sistema de manejo residuos – Auxiliares L10”



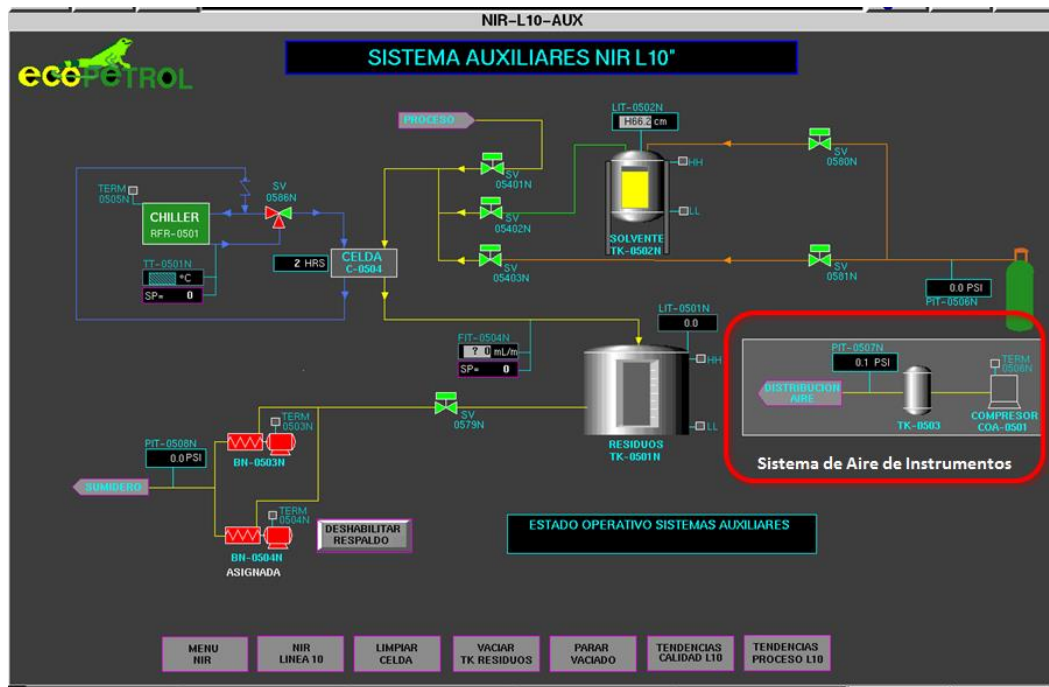
9.6.4 Sistema de aire de instrumentos. El sistema NIR cuenta con suministro de aire de instrumentos para las siguientes aplicaciones:

- Aire para las válvulas de control de presión, FCV-0501N, FCV-0502N, FCV-0503N y FCV-0504, para los sistemas NIR de 14”, 12”, 16” y L10” respectivamente. Cada válvula requiere un flujo de aire continuo a una presión mínima de 20 psi.
- Aire para lavado de filtros de partículas, al detectarse alta caída de presión a través de los mimos. La operación se realiza en forma automática, utilizando aire en contraflujo a 40 psi.

- Purga de aire al analizador NIR, con la cual se asegura la operación segura del equipo en áreas clase 1 División 2 donde se requiere una corriente continua de 2.5 SCFM de aire a 80 psi.

Se tiene un sistema de suministro de aire propio para el sistema NIR, AIR-0501, marca Kaeser, el cual consta principalmente de: un compresor tipo tornillo, un tanque pulmón, una unidad de secado y una unidad de secado refrigerativo; y se encuentra instalado al lado de la caseta del PLC del sistema NIR.

Figura 14. Despliegue general en HMI del sistema de aire sistema NIR – Auxiliares L10”



Desde el despliegue de Sistemas Auxiliares del HMI de cada uno de los sistemas, se puede visualizar las facilidades asociadas al sistema de aire de instrumentos.

El aire generado, pasa a un cabezal de distribución de aire de instrumentos del sistema NIR con las 3 derivaciones y los reguladores de presión requeridos para cada una de las aplicaciones.

Tabla 1. Equipos y Componentes del sistema NIR.

UBICACIÓN TÉCNICA EQUIPO Analizador NIR PUE NIR-01 UBICACIÓN TÉCNICA DE OBJETO TR0-PGAL-SBOM-HIDR-UANA_NIR-01	
Equipo	Denominación
10059308	Control Y Monitoreo Nir
10059309	Sv-0570N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059310	Sv-0571N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059311	Sv-0572N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059312	Sv-0573N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059313	Sv-0574N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059314	Sv-0575N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059315	Sv-0576N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059316	Sv-0577N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059317	Sv-0578N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059318	Sv-05101N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059319	Sv-05102N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059320	Sv-05103N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059321	Sv-0501N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059322	Sv-0502N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059323	Sv-0504N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059324	Sv-0505N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059325	Sv-0506N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059326	Sv-0507N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059327	Sv-0508N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059328	Sv-0509N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059329	Sv-0510N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059330	Sv-0511N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12

UBICACIÓN TÉCNICA EQUIPO	
Analizador NIR PUE NIR-01	
UBICACIÓN TÉCNICA DE OBJETO	
TR0-PGAL-SBOM-HIDR-UANA_NIR-01	
10059331	Sv-0512N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059332	V-0513N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059333	Sv-0514N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059334	Sv-0515N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059335	Sv-0516N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059336	Sv-0517N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059337	Sv-0518N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059338	Sv-0519N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059339	Sv-0520N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059340	Sv-0521N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059341	Sv-05201N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059342	Sv-05202N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059343	Sv-05203N Valvula On/Off Poz-Cib 10 /12
10059344	Analizador Nir Yokogawa NR805AG
10059345	Unidad Secado Kaeser Nir
10059346	TFL-Filtros Unidad Secado Nir #1
10059347	TFL-Filtros Unidad Secado Nir #2
10059348	Sv-0522N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059349	Sv-0523N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059350	Sv-0524N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059351	Sv-0525N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059352	Sv-0526N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059353	Sv-0527N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059354	Sv-0528N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059355	Sv-0529N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059356	Sv-0530N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059357	Sv-0531N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059358	Sv-0532N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059359	Sv-0533N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059360	Sv-0534N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059361	Sv-0535N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16

UBICACIÓN TÉCNICA EQUIPO	
Analizador NIR PUE NIR-01	
UBICACIÓN TÉCNICA DE OBJETO	
TR0-PGAL-SBOM-HIDR-UANA_NIR-01	
10059362	Sv-0536N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059363	Sv-0537N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059364	Sv-0538N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059365	Sv-0539N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059366	Sv-0540N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059367	Sv-05101N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059368	Sv-05102N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059369	Sv-05103N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 16
10059370	Sv-0560N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059371	Sv-0561N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059372	Sv-0562N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059373	Sv-0563N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059374	Sv-0564N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059375	Sv-0565N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059376	Sv-0566N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059377	Sv-0567N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059378	Sv-0568N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10059379	Sv-0569N Valvula On/Off Gal-Buc 10
10060097	Fcv-0503N Valv Control Gal-Seb-Salgar 12
10060098	Fcv-0504N Valv Control Buc 10
10060099	Lit-0501N Transm Nivel Gal-Seb-Salgar 16
10060100	Lit-0502N Transm Nivel Gal-Seb-Salgar 16
10060101	Bce-0501 Motor Electrico de Bom cent
10060102	Air-0501 Compresor KAESER
10060103	Pdit-0501N Trans Pres Dif Poz-Cib 10 /12
10060104	Pdit-0502N Trans Pres Dif Poz-Cib 10 /12
10060105	Pdit-0503N Trans Pres Dif Poz-Cib 10 /12
10060106	Pdit-0504N Trans Pres Dif Poz-Cib 10 /12
10060107	Pdit-0505N Trans Pres Dif Gal-Seb-Salg16
10060108	Pdit-0506N Trans Pres Dif Gal-Seb-Salg16
10060109	Pdit-0507N Trans Pres Dif Gal-Seb-Salg16

UBICACIÓN TÉCNICA EQUIPO	
Analizador NIR PUE NIR-01	
UBICACIÓN TÉCNICA DE OBJETO	
TR0-PGAL-SBOM-HIDR-UANA_NIR-01	
10060110	Pdit-0508N Trans Pres Dif Gal-Seb-Salg12
10060111	Pdit-0509N Trans Pres Dif Gal-Seb-Salg12
10060112	Pdit-0510N Trans Pres Dif Gal-Seb-Salg12
10060113	Pdit-0511N Trans Pres Dif Buc 10
10060114	Pdit-0512N Trans Pres Dif Buc 10
10060115	Pdit-0513N Trans Pres Dif Buc 10
10060116	Pit-0501N Trans Presión Poz-Cib 10 /12
10060117	Pit-0502N Trans Presión Poz-Cib 10 /12
10060118	Pit-0503N Trans Pres Gal-Seb-Salgar 16
10060119	Pit-0504N Trans Pres Gal-Seb-Salgar 12
10060120	Pit-0505N Trans Persian Buc 10
10060121	Pit-0506N Trans Presión Poz-Cib 10 /12
10060122	Pit-0507N Trans Presión Poz-Cib 10 /12
10060123	Pit-0508N Trans Presión Poz-Cib 10 /12
10060124	Pit-0509N Trans Presión Poz-Cib 10 /12
10060125	Pit-0510N Trans Presión Poz-Cib 10 /12
10060126	Pit-0511N Trans Pres Gal-Seb-Salgar 12
10060127	Pit-0512N Trans Presión Buc 10
10060128	Plc-Nir-0506 Ac-800M Galán
10060129	Ipac-5201 Tablero Distribución Regulada
10060130	Ectd-5201 Tablero Servicios Auxiliares
10060131	Ecce-5201 Tablero Potencia Y Control
10060132	Tit-0503N Transm Temp Poz-Cib 10 /12
10060133	Tit-0504N Trans Temp Gal-Seb-Salgar 16
10060134	Tit-0505N Trans Temp Gal-Seb-Salgar 12
10060135	Tit-0506N Trans Temp Gal-Seb-Salgar 12
10060136	Sv-0541N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060137	Sv-0542N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060138	Sv-0543N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060139	Sv-0544N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060140	Sv-0545N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12

UBICACIÓN TÉCNICA EQUIPO	
Analizador NIR PUE NIR-01	
UBICACIÓN TÉCNICA DE OBJETO	
TR0-PGAL-SBOM-HIDR-UANA_NIR-01	
10060141	Sv-0546N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060142	Sv-0547N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060143	Sv-0548N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060144	Sv-0549N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060145	Sv-0550N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060146	Sv-0551N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060147	Sv-0552N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060148	Sv-0553N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060149	Sv-0554N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060150	Sv-0555N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060151	Sv-0556N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060152	Sv-0557N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060153	Sv-0558N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060154	Sv-0559N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060155	Sv-05301N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060156	Sv-05302N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060157	Sv-05303N Valv On/Off Gal-Seb-Salgar 12
10060158	Sv-0579N Valv On/Off Sist Auxiliar
10060159	Sv-0580N Valv On/Off Sist Auxiliar
10060160	Sv-0581N Valv On/Off Sist Auxiliar
10060161	Sv-0583N Valv On/Off Sist Auxiliar
10060162	Sv-0584N Valv On/Off Sist Auxiliar
10060163	Sv-0585N Valv On/Off Sist Auxiliar
10060164	Sv-0586N Valv On/Off Sist Auxiliar
10060165	Bce-0502 Bomba Centr Re47 Am184
10060166	Bce-0503 Bomba Centr Re47 Am184
10060167	TFL-0501A Filtros Succión Bombas L14
10060168	Fit-0501N Trans Flujo Poz-Cib 10 /12
10060169	Fit-0502N Trans Flujo Gal-Seb-Salgar 16
10060170	Fit-0503N Trans Flujo Gal-Seb-Salgar 12
10060171	Fit-0504N Trans Flujo Buc 10

UBICACIÓN TÉCNICA EQUIPO	
Analizador NIR PUE NIR-01	
UBICACIÓN TÉCNICA DE OBJETO	
TR0-PGAL-SBOM-HIDR-UANA_NIR-01	
10060172	Fit-0505N Trans Flujo Poz-Cib 10 /12
10060173	Fcv-0501N Valv Control Poz-Cib 10 /12
10060174	Fcv-0502N Valv Control Gal-Seb-Salgar 16
10060175	Bce-0501 Bomba Centr Re47 Am184
10061930	Aire acondicionado minisplit NIR
10066202	TFL-0501B Filtros Succión Bombas L14
10066203	TFL-0502A Filtro de preacondic. L14
10066205	TFL-0502B Filtro de preacondic. L14
10066207	TFL-0503A Filtro de acondic. L14
10066208	TFL-0503B Filtro de acondic. L14
10066210	TFL-0504A Filtro de acondic. L14
10066211	TFL-0504B Filtro de acondic. L14
10066212	TFL-0505A Filtro de acondic. L14
10066213	TFL-0505B Filtro de acondic. L14
10066234	TFL-0506A Filtro de preacondic. L16
10066235	TFL-0506B Filtro de preacondic. L16
10066236	TFL-0507A Filtro de acondic. L16
10066237	TFL-0507B Filtro de acondic. L16
10066238	TFL-0508A Filtro de acondic. L16
10066239	TFL-0508B Filtro de acondic. L16
10066240	TFL-0509A Filtro de acondic. L16
10066241	TFL-0509B Filtro de acondic. L16
10066243	TFL-0510A Filtro de preacondic. L12
10066244	TFL-0510B Filtro de preacondic. L12
10066245	TFL-0511A Filtro de acondic. L12
10066246	TFL-0511B Filtro de acondic. L12
10066248	TFL-0512A Filtro de acondic. L12
10066251	TFL-0512B Filtro de acondic. L12
10066252	TFL-0513A Filtro de acondic. L12
10066254	TFL-0513B Filtro de acondic. L12
10066305	TFL-0514A Filtro de preacondic. L10

UBICACIÓN TÉCNICA EQUIPO Analizador NIR PUE NIR-01 UBICACIÓN TÉCNICA DE OBJETO TR0-PGAL-SBOM-HIDR-UANA_NIR-01	
10066306	TFL-0514B Filtro de preacondic. L10
10066307	TFL-0515A Filtro de acondic. L10
10066308	TFL-0515B Filtro de acondic. L10
10066309	TFL-0516A Filtro de acondic. L10
10066310	TFL-0516B Filtro de acondic. L10
10066311	TFL-0517A Filtro de acondic. L10
10066312	TFL-0517B Filtro de acondic. L10

Tabla 2. Plan de mantenimiento básico actual del sistema NIR

Plan de mantenimiento de Equipos - NIR - Planta Galán				
Tipo de Componente	Tipo de Mtto	Duración Total (Horas) Llave mano	Especialidad	Periodicidad (Horas o Días)
Sv-Válvula On/Off	PV	1 h	IC	90 Días
Analizador Nir Yokogawa NR805AG	PV	2 h	IC	90 Días
Unidad Secado Kaeser Nir	PV	2 h	IC	90 Días
TFL-Filtros	PV	1 h	IC	90 Días
Fcv - Válvula Control	PV	2 h	IC	90 Días
Lit-Transmisor Nivel	PV	2 h	IC	90 Días
Pdit-Transmisor Presión Diferencial	PV	2 h	IC	90 Días
Pit- Transmisor Presión	PV	2 h	IC	90 Días
Plc-Nir	PV	2 h	IC	90 Días
Tit-Transm Temp	PV	2 h	IC	90 Días
Fit-Transmisor Flujo	PV	2 h	IC	90 Días
Bce-Motor Eléctrico de Bomba centrífuga	PV	4 h	ELE	360 Días

Plan de mantenimiento de Equipos - NIR - Planta Galán				
Tipo de Componente	Tipo de Mtto	Duración Total (Horas) Llave mano	Especialidad	Periodicidad (Horas o Días)
Air-Compresor KAESER	PV	4 h	MEC	90 Días
lpac-Tablero Distribución Regulada	PV	1 h	ELE	360 Días
Ectd-Tablero Servicios Auxiliares	PV	1 h	ELE	360 Días
Ecce-Tablero Potencia Y Control	PV	1 h	ELE	360 Días
Bce-Bomba Centrifuga	PV	2 h	MEC	360 Días
Aire acondicionado minisplit NIR	PV	4 h	ELE	90 Días
Tif-Filtros Succión Bo	PV	1h	MEC	180 Días

10. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS O COMPONENTES DEL SISTEMA NIR

Las consideraciones para realizar un análisis de criticidad en general están asociadas con los siguientes parámetros de medida:

- Frecuencia de fallas
- Impacto operacional
- Flexibilidad operacional
- Costo del mantenimiento
- Seguridad y Medio Ambiente.

10.1 ESTIMACIÓN DE LA FRECUENCIA DE FALLA

El cálculo de la criticidad está gobernado por la siguiente formula:

CRITICIDAD = Frecuencia X **Consecuencia**

En donde

Consecuencia = (Impacto Operacional X Flexibilidad Operacional) + Costo de mantenimiento + Impacto y Seguridad y Medio Ambiente.

Para la determinación de criticidad de los equipos o componentes del sistema NIR se deben tener en cuenta ciertos aspectos importantes dentro del entorno operacional y de mantenimiento como son:

10.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA

- Descripción operacional y técnica del Sistema.
- Identificación y descripción de los equipos o componentes
- Condiciones de operación

10.3 DIAGRAMAS DE FLUJO O ESQUEMAS TÉCNICOS QUE EVIDENCIEN DATOS DEL PROCESO, VARIABLES, PRODUCTOS

- Diagramas de Instrumentos y procesos
- Diagramas de flujo

10.4 INFORMACIÓN HISTÓRICA DE CONFIABILIDAD DE MANTENIMIENTO

- Riesgo por afectación en la calidad de los productos
- Tiempos de producción
- Tiempos de paradas
- Fallas por equipo

10.5 PRESUPUESTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

- Costos de mano de obra

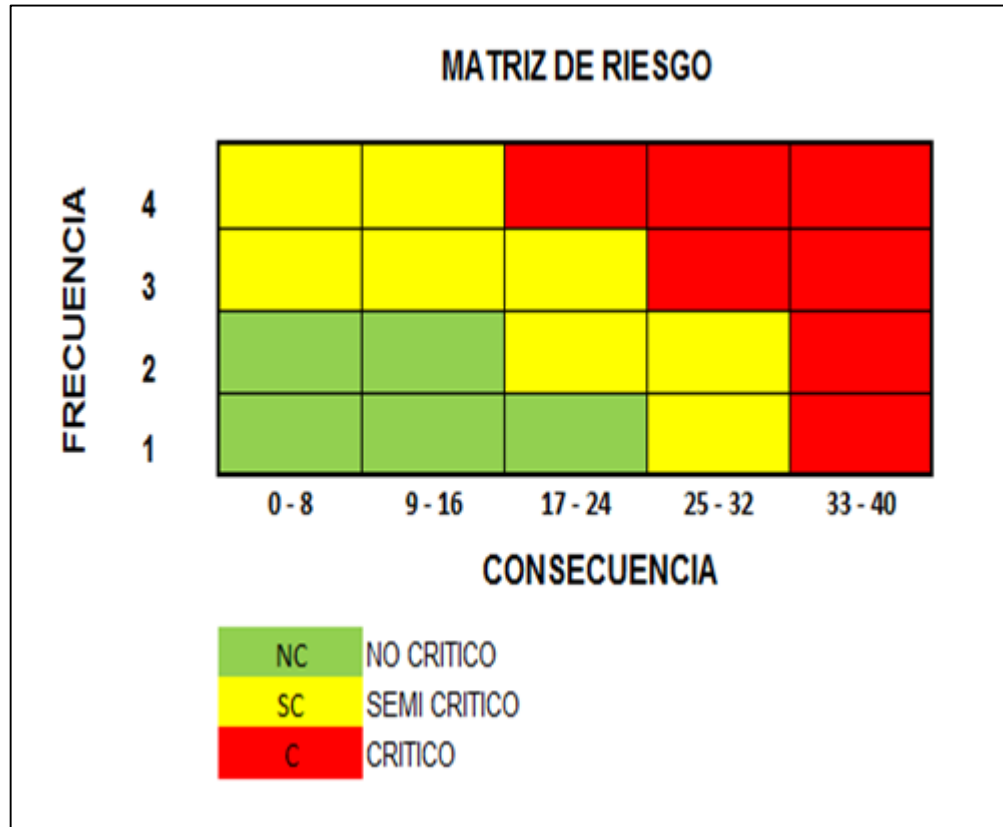
- Costos de repuestos
- Costo de reparaciones
- Costos por activos

11. DEFINICIÓN Y OBSERVACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MEDIDA PARA LA PROPUESTA DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEL SISTEMA NIR.

- a. Frecuencia de Fallas: Es el número de veces que se repite un evento considerado como falla dentro de un período de tiempo determinado.
- Periodo de tiempo: un (1) año
 - Valor de calificación: cuatro (4) posibles calificaciones
- b. Impacto Operacional: Son aquellos efectos causados sobre la operación en la producción.
- Valor de calificación: Hasta cinco (5) posibles calificaciones.
- c. Flexibilidad Operacional: Definida como aquellos cambios posibles y necesarios para darle continuidad a la operación sin necesidad de incidir en costos o perdidas de consideración.
- Valor de calificación: Tres (3) posibles calificaciones
- d. Costo del mantenimiento: Referido a todos los costos que implica la realización de labores de mantenimiento.
- Valor de calificación: cuatro (4) posibles calificaciones
- e. Impacto de Seguridad y Medio Ambiente: Enfocado a evaluar los posibles inconvenientes que puede causar sobre las personas o el medio ambiente.
- Valor de calificación: Hasta seis (6) posibles calificaciones.

12. MATRIZ DE CRITICIDAD

Figura 15. Matriz de Criticidad



Esta matriz de riesgo será el resultado del análisis de criticidad basado en los factores de evaluación operacional, de mantenimiento, de costos, de flexibilidad operacional y de ambiente y seguridad, esto nos permitirá identificar y jerarquizar por su importancia los equipos del sistema NIR sobre los cuales se orientarán las estrategias de mantenimiento con todos los esfuerzos y recursos (humanos, económicos y tecnológicos) que ello merezca.

Realizar este proceso de análisis de criticidad nos ayudara a establecer la jerarquía y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los equipos del sistema NIR actuando dentro del contexto operacional del mismo.

13. FACTORES DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Tabla 3. Factores sustanciales para el Análisis de Criticidad

VALOR	FACTORES DE ANALISIS	
	Frecuencia de Fallas	
4	ALTA. Mas de cuatro fallas x año	<input type="radio"/>
3	MEDIA: dos a cuatro fallas x año	<input type="radio"/>
2	BAJA : una a dos fallas x año	<input type="radio"/>
1	BAJA - BAJA : menos de una falla x año	<input type="radio"/>
	Impacto Operacional	
10	Parada inmediata de la Planta	<input type="radio"/>
6	Parada inmediata del sistema	<input type="radio"/>
4	Impacto alto en los niveles operacionales o calidad	<input type="radio"/>
2	Impacto medio en los niveles operacionales	<input type="radio"/>
1	Impacto bajo en los niveles operacionales	<input type="radio"/>
	Flexibilidad Operacional	
		<input type="radio"/>
4	No existe opcion de respaldo operacional (backup)	<input type="radio"/>
2	Existe opcion de disponibilidad compartida	<input type="radio"/>
1	Existe opcion de disponibilidad dedicada	<input type="radio"/>
	Costos de Mantenimiento	
		<input type="radio"/>
20	US \$500.000 a US \$ 1.000.000	<input type="radio"/>
10	US \$ 100.000 a US \$ 500.000	<input type="radio"/>
5	US \$ 10.000 a US \$ 100.000	<input type="radio"/>
1	US \$0 a US \$ 10.000	<input type="radio"/>
	Impacto en Seguridad y Medio Ambiente	
40	Produce daños a las personas externa e interna	<input type="radio"/>
30	Produce daños severos al medio ambiente	<input type="radio"/>
20	Produce daños severos a las instalaciones	<input type="radio"/>
10	Produce daños menores en seguridad	<input type="radio"/>
5	Produce bajo impacto ambiental	<input type="radio"/>
0	No produce impacto	<input type="radio"/>

14. REGISTROS HISTÓRICOS DISPONIBLES DE EVENTOS O FALLAS

Los registros disponibles de mantenimiento correctivo han sido reportados desde el año 2015 a 2017 en la herramienta SAP_CENIT y a continuación se realiza una tabla resumen de las actividades y el presupuesto de costos generales asociados.

Tabla 4. Registros de Eventos o Fallas NIR

Orden	Presu.Gen.(real)	Fe.fin extrema	Texto breve
4070611	1.044.379	22/10/2015	FALLA POR FUGA EN VALVULA L14" NIR
4074489	718.697	22/10/2015	NIR L 14 NO arranca
4074513	2.114.317	23/10/2015	Taponamiento filtros NIR L14
4074011	4.416.020	03/11/2015	Correccion de fuga compreso KAESEER
4089335	2.019.312	28/11/2015	Fuga tipo goteo en SV0549N NIR L12"
4091993	3.416.020	11/12/2015	Reparación compresor
4093052	7.879.398	26/12/2015	Atención falla datos q envía control-NIR
4099430	6.031.454	30/01/2016	Atención falla NIR - comunicación
4095310	2.314.317	14/01/2016	Alta diferencial filtros #1#2 linea 14"
4107337	11.048.619	28/02/2016	Falla fugas racores instrumentos NIR
4117365	1.750.923	06/04/2016	TAPONAMIENTO DE FILTROS EN NIR L14
4113246	4.006.895	21/04/2016	Falla por perdida de comunicacion NIR
4113253	2.518.793	20/04/2016	FALLA POR taponamiento de filtros NIR
4114536	4.229.321	21/04/2016	Falla filtro #1 TFL0501A L14" NIR
4114537	4.229.321	21/04/2016	Falla tapona filtro #1 TFL0501B L14" NIR
4124666	847.410	09/05/2016	falla encendi. compresor de NIR de Galan
4124930	1.369.889	10/05/2016	falla Verificacion manual muestras
4107308	1.171.274	25/06/2016	Fuga succ.Descar. BCE0501N NIR L14"
4105092	9.933.481	25/06/2016	Mantto correctivo para habilitar NIR:
4125038	3.278.085	09/06/2016	falla en el compresor sistema NIR
4154611	741.017	31/08/2016	FALL PIT0503N falla arranque NIR L16
4157251	796.145	31/08/2016	NIR Redireccionar señales a nuevo medio
4157262	29.498.979	23/09/2016	NIR Redireccionar señales a nuevo medio
4163193	9.847.391	16/10/2016	NIR Redireccionar señales a nuevo medio
4169029	360.902	04/11/2016	Limpiar filtros NIR L14"
4182271	24.276.735	13/01/2017	NIR Redireccionar señales a nuevo medio
4512101	16.328.120	05/09/2017	ELECTROVALVULA SV-0580N EN FALLA
4512102	16.328.120	05/09/2017	ELECTROVALVULA SV-0581N EN FALLA
TOTAL	172.515.334	BSERVACION: Desde octubre de 2017 el NIR se encuentra Fuera Servicio	

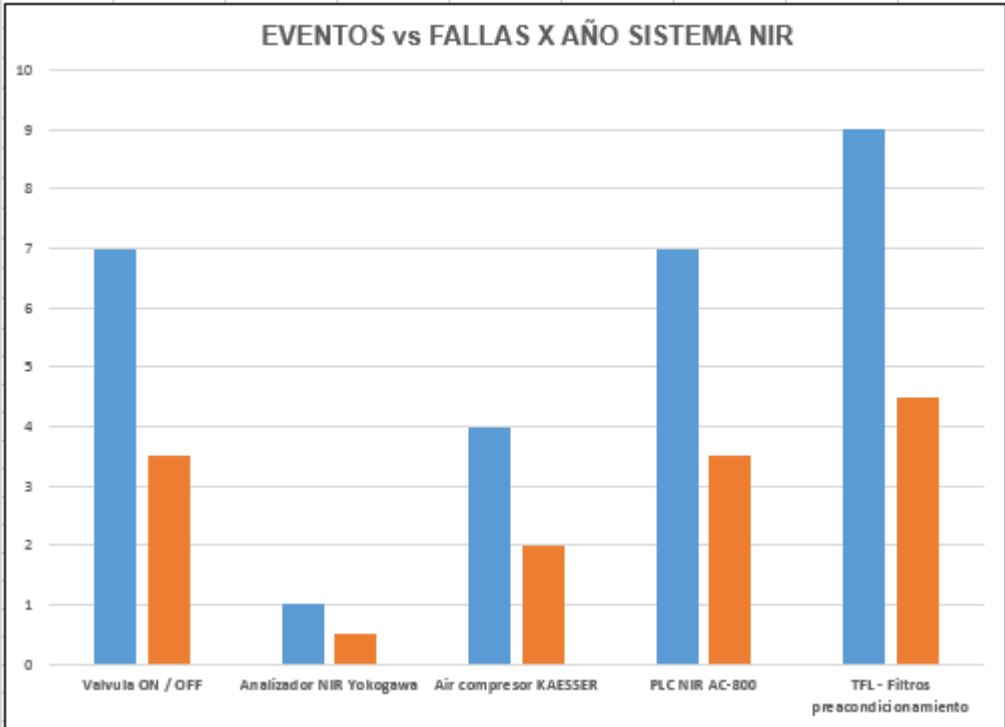
Eventos o Fallas evaluados por año

A continuación, se referencian los datos de eventos o fallas que afectaron la operación del sistema NIR entre las fechas de octubre 2015 a octubre 2017.

Tabla 5. Cálculo de fallas x año

Numero de semanas evaluadas	104	
Numero de años evaluados	2	
Numero de Eventos	28	
EQUIPO	N°Eventos	Fallas X Año
Valvula ON / OFF	7	3,5
Analizador NIR Yokogawa	1	0,5
Unidad Secado KAESSER	0	0
TFL filtros unidad secado	0	0
FCV valvula control	0	0
LIT Transmisor nivel	0	0
Air compresor KAESSER	4	2
BCE - motor electrico	0	0
PDIT - Transmisor presion	0	0
PIT - Transmisor presion	0	0
PLC NIR AC-800	7	3,5
IPAC-Tablero regulada	0	0
ECTD-Tablero auxiliares	0	0
ECCE - Tablero potencia y control	0	0
TIT - Transmisor temperatura	0	0
BCE - Bomba centrifuga	0	0
TFL - Filtros succion	0	0
FIT - Transmisor de flujo	0	0
Aire acondicionado minisplit	0	0
TFL - Filtros preacondicionamiento	9	4,5
TFL - Filtros acondicionamiento	0	0
TOTAL	28	

Figura 16. Fallas equipos NIR



**15. TABLAS DE RESULTADOS DE FACTORES EVALUADOS PARA LA
CRITICIDAD DEL SISTEMA NIR**

1. Frecuencia de Fallas

Tabla 6. Frecuencia de Fallas

EQUIPO	VALOR
Valvula ON / OFF	3
Analizador NIR Yokogawa	1
Air compresor KAESSER	2
PLC NIR AC-800	3
TFL filtros preacondicionamiento	4

2. Impacto Operacional

Tabla 7. Impacto Operacional

EQUIPO	VALOR
Valvula ON / OFF	6
Analizador NIR Yokogawa	6
Air compresor KAESSER	6
PLC NIR AC-800	6
TFL filtros preacondicionamiento	6

3. Flexibilidad Operacional

Tabla 8. Flexibilidad Operacional

EQUIPO	VALOR
Valvula ON / OFF	4
Analizador NIR Yokogawa	4
Air compresor KAESSER	4
PLC NIR AC-800	4
TFL filtros preacondicionamiento	4

4. Costos de Mantenimiento

Tabla 9. Costos de Mantenimiento

EQUIPO	VALOR
Valvula ON / OFF	5
Analizador NIR Yokogawa	1
Air compresor KAESSER	1
PLC NIR AC-800	5
TFL filtros preacondicionamiento	5

5. Seguridad y Medio Ambiente

Tabla 10. Seguridad y Medio Ambiente

EQUIPO	VALOR
Valvula ON / OFF	10
Analizador NIR Yokogawa	0
Air compresor KAESSER	10
PLC NIR AC-800	0
TFL filtros preacondicionamiento	10

Ya realizado el análisis, aplicamos la fórmula definida para hallar la criticidad de los equipos.

Criticidad = Frecuencia x **Consecuencia** = Frecuencia x [(Impacto Operacional X Flexibilidad Operacional) + Costo de mantenimiento + Impacto y Seguridad y Medio Ambiente.].

Luego de hacer los respectivos cálculos de criticidad, se presenta la tabla final de resultados para la determinación de los equipos más críticos del sistema NIR.

Tabla 11. Resultado del Análisis de Criticidad NIR

ANALISIS DE CRITICIDAD				
EQUIPO	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	VALOR DE CRITICIDAD	NIVEL
Valvula ON / OFF	3	39	117	C
Analizador NIR Yokogawa	1	25	25	NC
Air compresor KAESSER	2	35	70	C
PLC NIR AC-800	3	29	87	C
TFL filtros precondition	4	39	156	C

16. ANÁLISIS RCM DEL MODO DE FALLA PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL SISTEMA NIR.

Dando continuidad al análisis del modo de falla de los cuatro equipos críticos resultantes del sistema NIR, se definirán los modos específicos de falla, la función de cada equipo y las características específicas de cada equipo. Para esto se darán algunas definiciones y algunos datos serán abreviados en las siguientes tablas anexas.

16.1 FUNCIÓN DE UN EQUIPO

Una máquina debe estar diseñada para cumplir un propósito o una función principal y/o funciones secundarias.

- Función primaria: Acción principal del equipo para lo cual fue adquirido.
- Función secundaria: Acciones agregadas a las principales.

16.2 FALLAS FUNCIONALES DEL EQUIPO

Las fallas funcionales hacen que un equipo no cumpla su operación normal o su función, es decir, es incapaz de cumplir su función de acuerdo a sus parámetros de operación programado.

16.3 MODO DE FALLA

Un modo de falla es una causa de falla o una posible manera en la que un sistema puede fallar, para lo cual es importante determinar la causa raíz de la falla.

16.4 EFECTOS DE FALLA

Son aquellas consecuencias potenciales del modo de falla, se debe asumir que los efectos se producen siempre que ocurra el modo de falla.

16.5 CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS

Las fallas pueden afectar la operación, la calidad del producto, la seguridad o medio ambiente, las personas, etc. y pueden tomar tiempo y requerir presupuesto para su atención.

El RCM reconoce cuatro tipos de falla que a continuación se describen:

- Consecuencia de fallas ocultas.

No tiene impacto directo, pero puede derivar en fallas múltiples serias y a veces catastróficas. La mayoría está asociada a dispositivos de seguridad.

- Consecuenciales ambientales y para la seguridad.

Seguridad: puede matar o herir personas.

Medio ambiente: alusivo a la contaminación.

- Consecuencias operacionales

Afectan la producción, la calidad, el servicio al cliente, los costos operativos.

- Consecuencias no-operacionales

Son fallas no ocultas que generan costos directos de reparación pero que no afectan la seguridad, ni el medio ambiente ni la operatividad.

17. VALIDACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL RCM

17.1 VÁLVULA ON / OFF

Son válvulas de ¼ de vuelta eléctricas a 110 vac herméticamente selladas bajo la norma IP66. Funcionan solo en la posición de abierto (ON) y cerrado (OFF).

Figura 17. Actuador de ¼ de vuelta ON/OFF



Tabla 12. Modos de falla actuador ¼ de vuelta ON/OFF

CLASE EQUIPO	V5 - COMP-VÁLVULA	No. PARTE
TIPO EQUIPO	CVV	ESPECIALIDAD IC
FABRICANTE / MARCA	ROTORK	
MODELO	REDMAX-45.90-SF-A	POPULAR 1 TAG
NUMERO DE SERIE		POPULAR 2 # INV.
AÑO FABRICACIÓN	2015	

DATOS TÉCNICOS ADICIONALES O COMPLEMENTARIOS DE PLACA		
VOLTAJE	24 A 240 VCD	
FRECUENCIA	60 HZ	
NEMA	4X / IP66	
TEMPERATURA OPE	MENOS 40°F A 104°F	
FABRICANTE	REDMAX-ROTORK	
MODOS DE FALLA		
EQUIPO	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
Válvula ON / OFF	ATASCAMIENTO	Bloqueo del movimiento
	SOBRECALENTAMIENTO	Alto consumo corriente
	RUIDO	Resorte averiado
	VIBRACIÓN	Desajuste de engranaje
	ALTO VOLTAJE	Consumo corriente alto
	BAJO VOLTAJE	Consumo corriente bajo
	DESCALIBRACIÓN DE LIMITE	Motor desajustado

17.2 AIR COMPRESOR KAESER.

Producen aire comprimido con un consumo de energía mínimo, cumplen todas las exigencias de versatilidad operativa y facilidad de manejo y de mantenimiento.

Figura 18. Compresor de aire KAESER



Tabla 13. Modos de falla compresor de aire de tornillo

CLASE EQUIPO	CA - COMPRESIÓN DE AIRE	No. PARTE
TIPO EQUIPO	DES	ESPECIALIDAD
FABRICANTE / MARCA	KAESER	
MODELO	SM7.5	POPULAR 1 TAG
NUMERO DE SERIE	1109	POPULAR 2 # INV.
AÑO FABRICACIÓN	2012	
DATOS TÉCNICOS ADICIONALES O COMPLEMENTARIOS DE PLACA		
TIPO	SM 7.5	
AÑO	2012	
PSIG	125	
VOLTAJE	208 / 120 Vac	
FASES	3	
HZ	60	
RPM	3530	

MODOS DE FALLA		
EQUIPO	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
Compresor de Aire	ARRANQUE INUNDADO	Compresor no arranca
	CALOR EXCESIVO	Falta de refrigerante
	RETORNO DEL LIQUIDO	Remoción película lubricante
	VIBRACIÓN	Desajuste de piezas móviles
	ALTO VOLTAJE	Consumo corriente alto
	BAJO VOLTAJE	Consumo corriente bajo
	GOLPE DE LIQUIDO	Refrigerante contaminado
	DESGASTE PARTES MÓVILES	Partes no lubricadas
	CONTAMINANTES	Compresor se quema
	FALTA DE VENTILACIÓN	Baja presión de succión

17.3 PLC NIR AC-800

Es un dispositivo electrónico, PLC, cuya función es controlar la lógica de funcionamiento del sistema NIR, procesando y recibiendo señales digitales y analógicas a través de la aplicación de estrategias de control.

Figura 19. PLC ABB AC-800



Tabla 14. Modos de falla PLC de comunicación

CLASE EQUIPO	CS - SISTEMA DE CONTROL	3BSE055485R1
TIPO EQUIPO	PLC	IC ESPEC. CONTROLES
FABRICANTE / MARCA	ABB	02/02/2015
MODELO	AC-800M	PLC-NIR-0506
NUMERO DE SERIE	1250031X	POPULAR 2 # INV.
AÑO FABRICACIÓN	N/A	
DATOS TÉCNICOS ADICIONALES O COMPLEMENTARIOS DE PLACA		
MODOS DE FALLA		
EQUIPO	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
PLC DE COMUNICACIÓN	SOBRECALENTAMIENTO	ALTA TEMPERATURA
	BLOQUEO LÓGICO	SATURACIÓN TARJETA
	SOBREVOLTAJE	ALTA CORRIENTE
	SUBVOLTAJE	BAJO VOLTAJE
	POLO TIERRA DEFECTUOSO	BAJA PROTECCIÓN
	AISLAMIENTO DEFECTUOSO	CORTO CIRCUITO
	CORRIENTES PARASITAS	TARJETA NO COMUNICA

17.4 TFL FILTROS PRE ACONDICIONAMIENTO

Su función es atrapar o detener partículas pequeñas en la etapa de preacondicionamiento y acondicionamiento de la muestra.

Figura 20. PLC ABB AC-800



Tabla 15. Modos de falla Filtro de micro-partículas

CLASE EQUIPO	TUBERÍA PROCESO GRC	No. PARTE
TIPO EQUIPO	FILTRO	ESPECIALIDAD IC
FABRICANTE / MARCA	SWAGELOK	
MODELO	SERIE F	POPULAR 1 TAG
NUMERO DE SERIE		POPULAR 2 # INV.
AÑO FABRICACIÓN	N/A	
DATOS TÉCNICOS ADICIONALES O COMPLEMENTARIOS DE PLACA		
PRESIÓN SERVICIO	3000 PSIG	
PRESIÓN DIFERENC.	1000 PSIG	
TEMPERATURA	-20 a 900°F	
TAMAÑO DEL PORO	0,5 a 440 µm	
MATERIAL	Acero inoxidable 316 y latón	
FABRICANTE	SWAGELOK	

MODOS DE FALLA		
EQUIPO	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
FILTRO DE PARTÍCULAS	TAPONAMIENTO	Alta sedimentación
	FILTRO COLAPSADO	Alta diferencial de presión
	ALTA VIBRACIÓN	Desajuste de tornillos sujeción
	ROTURA DEL SELLO	Sobrepresión
	ROTURA DEL FILTRO	Alta diferencial de presión

18. RESULTADO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO AJUSTADO

Luego de revisar y analizar la criticidad de los equipos del sistema NIR, sus efectos y sus modos de falla, pasamos a la etapa de estructuración y mejoramiento del plan de mantenimiento, que lo vamos a resumir en las siguientes actividades de mantenimiento:

18.1 TAREA DE MANTENIMIENTO N°1

Tabla 16. Tareas de mantenimiento para la SV-válvula ON/OFF

Plan de mantenimiento de Equipos - NIR - Planta Galán					
Tipo de Equipo	Tarea	Tipo de Componente	Duración Total (Horas) Llave mano	Especialidad	Periodicidad (Horas o Días)
Sv-Válvula On/Off	Revisión parámetros de configuración	PV	1 h	IC	30 Días
	Verificación límites de OPEN-CLOSE	PV	1 h	IC	30 Días
	Limpieza externa de la carcasa	PV	1 h	IC	30 Días
	Medición de parámetros de Voltaje y Corriente	PV	1 h	ELE	30 Días
	Calibración de límites con llave de configuración	PV	1 h	IC	30 Días

18.2 TAREA DE MANTENIMIENTO N°2

Tabla 17. Tareas de mantenimiento para el Air Compresor KAESER

Plan de mantenimiento de Equipos - NIR - Planta Galán					
Tipo de Equipo	Tarea	Tipo de Componente	Duración Total (Horas) Llave mano	Especialidad	Periodicidad (Horas o Días)
Air-Compresor KAESER	Revisión parámetros de presión	PV	2 h	MEC	30 Días
	Medición de parámetros de Voltaje y Corriente	PV	2h	ELE	30 Días
	Limpieza interna y externa de filtros secadores y trampas de aire	PV	2h	MEC	30 Días
	Verificación de sensores de presión y temperatura	PV	2h	ELE	30 Días
	Prueba de arranque y cargue de presión	PV	2h	MEC	30 Días

18.3 TAREA DE MANTENIMIENTO N°3

Tabla 18. Tareas de mantenimiento para el PLC comunicaciones NIR

Plan de mantenimiento de Equipos - NIR - Planta Galan					
Tipo de Equipo	Tarea	Tipo de Componente	Duración Total (Horas) Llave mano	Especialidad	Periodicidad (Horas o Días)
Plc comuni-Nir	Medición de parámetros de voltaje y corriente	PV	2 h	ELE	30 Días

Plan de mantenimiento de Equipos - NIR - Planta Galan					
Tipo de Equipo	Tarea	Tipo de Componente	Duración Total (Horas) Llave mano	Especialidad	Periodicidad (Horas o Días)
	Verificación de comunicación y Backus de aplicación	PV	h	IC	30 Días
	Verificación con antivirus para detección de posibles virus y malware	PV	2h	IC	30 Días
	Limpieza de tarjetas con sopladora de aire caliente	PV	2h	IC	30 Días
	Verificación conexión de cables y tarjetas en modulo	PV	2h	IC	30 Días

18.4 TAREA DE MANTENIMIENTO N°4

Tabla 19. Tareas de mantenimiento para los Filtros de micro - partículas

Plan de mantenimiento de Equipos - NIR - Planta Galan					
Tipo de Componente	Tarea	Tipo de Mtto	Duración Total (Horas) Llave mano	Especialidad	Periodicidad (Horas o Días)
Filtros de partículas	Limpieza de canastillas de filtración	PV	2 h	IC	30 Días
	Verificación de ajuste de tornillos	PV	1 h	IC	30 Días
	Prueba de presión diferencial	PV	2 h	IC	30 Días

Plan de mantenimiento de Equipos - NIR - Planta Galan					
Tipo de Componente	Tarea	Tipo de Mtto	Duración Total (Horas) Llave mano	Especialidad	Periodicidad (Horas o Días)
	Verificación de empaque y/o cambio	PV	2 h	IC	30 Días
	Detección y corrección de fugas en accesorios	PV	2 h	IC	30 Días

Se ha concluido el ejercicio de RCM para el sistema NIR de la planta Galán, se espera que con la revisión y ajuste de los planes de mantenimiento se conserve de manera adecuada la infraestructura del sistema y se disponga de una operación segura, continua y confiable, capaz de garantizar la cantidad y calidad de los productos que se reciben y se despachan en la Planta Galán.

19. CONCLUSIONES

- Se logró recopilar, revisar y ajustar la información básica necesaria de los planes de mantenimiento de los equipos de medición de calidad actuales de la Planta, este ajuste se enmarco dentro del análisis de criticidad de los equipos en operación de recibo y despacho de Planta.
- Los repuestos críticos fueron definidos por su criticidad en aspectos como la operación, mantenimiento, impacto ambiental, costos asociados, etc. logrando establecer condiciones de cuidado básico integral y funcionamiento en operación segura y continua.
- Las fallas sistemáticas de los equipos y componentes dejaron una huella que permitieron la observación del comportamiento de la falla y trabajar en pro de adecuar las tareas necesarias que permitieran tener una disponibilidad del sistema NIR en el corto plazo.
- Se lograron crear los planes de mantenimiento mejorados y articulados con la operación de los sistemas de transporte de la Planta Galán.
- Se estableció la respectiva metodología RCM, logrando maximizar la confiabilidad y disponibilidad del sistema NIR de medición de calidad.

20. RECOMENDACIONES

1. Clases de protección IP

Protección contra el contacto y la penetración de agua y suciedad

Los equipos electrónicos son utilizados en diversas aplicaciones y tienen que trabajar de una manera segura durante un largo período de tiempo y bajo condiciones ambientales adversas. El polvo y la humedad no se pueden evitar siempre, así como la presencia de cuerpos extraños. Las distintas clases de protección fijan, en qué medida se puede exponer un aparato eléctrico en seguridad o para la salud.

Tabla 20. Clases de protección IP: IP54, IP64, IP65, IP68

IP	Nº. reconocimiento 1 para protección contra el contacto	Nº. reconocimiento 2 para protección contra el agua
0	sin protección contra el contacto, sin protección contra cuerpos extraños	sin protección contra agua
1	Protección contra cuerpos extraños con diámetro >50mm	Protegido contra gotas de agua que caen verticalmente
2	Protección contra cuerpos extraños con diámetro >12mm	Protegido contra gotas de agua que caen inclinado (15° respecto de la vertical)
3	Protección contra cuerpos extraños con diámetro >2,5mm	Protegido contra agua pulverizada (hasta 60° respecto de la vertical)
4	Protección contra cuerpos extraños con diámetro >1mm	Protegido contra agua pulverizada
5	Protección completa contra contacto, protección contra sedimentaciones de polvos en el interior	Protegido contra los chorros de agua (desde todas las direcciones)
6	Protección completa contra contacto, protección contra penetración de polvo	Protegido contra la penetración de agua en caso de inyección pasajera
7		Protegido contra la penetración de agua sumergiéndolo
8		Protegido contra la penetración de agua sumergiéndolo por un período indefinido
9		Protegido contra la penetración de agua de todas direcciones también en caso de una presión alta contra el chasis. (limpiadora de alta presión o de chorro de vapor, 80-100 bar)

Revisión de la válvula ON/OFF actuador eléctrico Schischek - Rotork

Descripción de las labores realizadas

Se realiza revisión del siguiente equipo:

- Actuador de ¼ de vuelta
- Marca: Schischek – Rotork
- Modelo: RedMax-45.90-SF-A
- Serial: 092.1135 15070266

Se le suministra alimentación eléctrica al actuador, pero este no responde, debido a esto se intenta realizar movimiento manual, pero se encuentra muy atorado y no realiza ningún movimiento. Ya que el actuador no responde manual ni eléctricamente se procede a destapararlo para poder realizarle revisión interna.

En la revisión interna se encuentra lo siguiente:

- Existe presencia de agua interna en todo el actuador.

Figura 21. Revisión y estado de válvula ON/OFF



El resorte se encuentra totalmente reventado y los engranajes mecánicos sucios por el ingreso del agua.

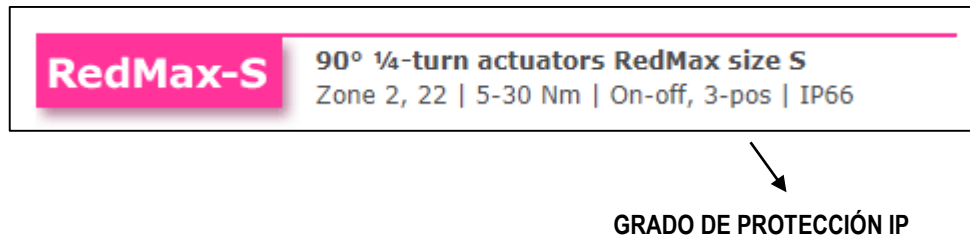
Figura 22. Revisión y estado de válvula ON/OFF



El motor no responde y la parte mecánica se encuentra en muy mal estado, el actuador no es operativo, por lo que la recomendación es el cambio del actuador.

De acuerdo al siguiente dato de la ficha técnica de la válvula Red Max-S, donde se especifica que el grado de protección de la válvula es de IP 66 y que de acuerdo a la revisión y diagnóstico de falla de la válvula ON/OFF que se describe en el listado de fallas del sistema NIR, da como resultado que las cuatro (4) válvulas que han quedado deterioradas por la continua entrada de agua cuando se generan las precipitaciones sobre el área de la Planta Galán y que han dejado el sistema de lavado fuera de funcionamiento, se hace necesario que se adopte un cambio puntual en el tipo de protección IP de las válvulas que quedan sometidas a la intemperie, por lo que un grado IP 67 o 68 podría ofrecer una solución perentoria al problema.

Figura 23. Ficha técnica válvula / grado IP



2. Métodos para la separación de micro partículas del proceso.

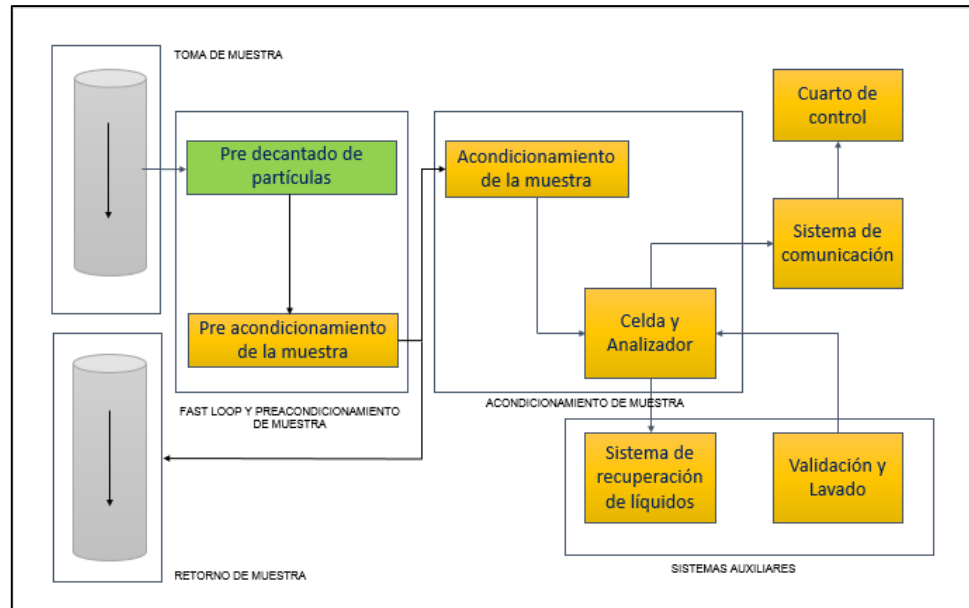
Revisando la tabla de registro de fallas del sistema NIR, se encuentra que el taponamiento de filtros en el sistema de preacondicionamiento de la muestra es el primer mayor dato acumulado de falla, por lo que y sin conocer muy a fondo técnicamente el problema, se puede proponer la implementación de una etapa adicional de pre-decantado de las micro partículas, con lo cual se esperaría que la muestra del flujo de partículas por los filtros fuera de alguna manera más limpia y

trasparente y de esta forma evitar que se colapse y se detenga el proceso de calidad del sistema NIR.

Algunos métodos de separación de partículas propuestos podrían ser:

- **Sedimentación:** La sedimentación en las técnicas de separación deposita gases o líquidos bajo la influencia de fuerzas, como por ejemplo la gravedad (centrifugación).
- **Separación magnética:** Aquí puede separar mezclas de elementos magnéticos y no magnéticos. Se consigue separar los elementos magnéticos con la ayuda de un imán.

Figura 24. Bloques “sugerido” genérico del sistema NIR



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. RCM II, ALADON LTD, United Kingdom..., Edición en Español 2014.

[2] SAE Internacional, Criterios de Evaluación del proceso del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, (Releability Center Maintenance, RCM), Normas SAE JA 1012, USA. 2002.

[3] SAE Internacional, Guía para Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Normas SAE JA1012, USA. 2002.

[4] M. Blanco and I. Villarroya, NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool, Trends in Analytical Chemistry 21(4). 2002. 240–250.

[5] B.H. Stuart, Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications, John Wiley & Sons, New York, USA. 2004.

[6] Ecopetrol, ECP-VST-P-INS-ET-018: Estándar de ingeniería para la medición dinámica de cantidad y calidad de hidrocarburos líquidos. 2016

[6] SAE Internacional, Guía para Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Normas SAE JA1011. USA. 2002.

BIBLIOGRAFÍA

B.H. Stuart, Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications, John Wiley & Sons, New York, USA. 2004.

BARROS, David; VALENCIA, Guillermo; VARGAS, Henríquez. Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo, Scientia et Technica Año XIX, Vol.19, Junio de 2014. [Universidad Tecnológica de Pereira. No. 2], ISSN 0122-1701

BLANCO, M. and VILLARROYA, I. NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool, Trends in Analytical Chemistry 21(4). 2002. 240–250.

Ecopetrol, ECP-VST-P-INS-ET-018: Estándar de ingeniería para la medición dinámica de cantidad y calidad de hidrocarburos líquidos. 2016

GÓMEZ CARRASCAL, Jairo Manuel. Información acerca de la Revisión PM NIR Galán (L10-L12-L14-L16). Mensaje enviado a: Enrique Ferreira MEJÍA, Francisco Alexander LATORRE. 17 de febrero de 2016 [citado el 19 de abril de 2018]. Comunicación personal.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. RCM II, ALADON LTD, United Kingdom..., Edición en Español 2014.

REIN MEDICAL. Clases de Protección IP [En Línea]. Disponible en: <http://www.reinmedical.com/es/conocimientos-tecnologia/clases-de-proteccion-ip.html> [citado el 12 de abril de 2018]

RENOVETEC. El objetivo del RCM y las fases del proceso [En Línea] Disponible en: <http://www.mantenimientopetroquimica.com/index.php/el-objetivo-del-rcm-y-las-fases-del-proceso> [citado el 15 de abril de 2018]

ROTORK SCHISCHEK. Products | Quarter turn damper actuators Redmax [En Línea]. Disponible en: http://www.schischek.com/ex-products-and-solutions/RedMax_quarterturn-actuators.html [citado el 15 de abril de 2018]

SAE Internacional, Guía para Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Normas SAE JA1012, USA. 2002.

_____. Criterios de Evaluación del proceso del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, (Reliability Center Maintenance, RCM), Normas SAE JA 1012, USA. 2002.

_____. Guía para Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Normas SAE JA1011. USA. 2002.

TEC ELECTRÓNICA. Boletín informativo. Estándares de protección “IP” y “NEMA” [En Línea]. Disponible en: https://www.tec-mex.com.mx/material/IP_Y_NEMA.pdf [citado el 12 de abril de 2018]