

**MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL BANCO DE PRUEBAS
AIDCO 900C EN EL TALLER DE RECONSTRUCCIÓN HIDRÁULICA DE
CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED, BASADO EN LA METODOLOGÍA DE
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM**

**JHON CARLOS MORALES CALDERÓN
CAMILO ANDRÉS GIRALDO VILLAMIZAR**

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

2017

**MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL BANCO DE PRUEBAS
AIDCO 900C EN EL TALLER DE RECONSTRUCCIÓN HIDRÁULICA DE
CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED, BASADO EN LA METODOLOGÍA DE
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM**

**JHON CARLOS MORALES CALDERÓN
CAMILO ANDRÉS GIRALDO VILLAMIZAR**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: Daniel Ortiz
Esp. Gerencia de Mantenimiento**

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

2017

DEDICATORIA.

*Este nuevo logro obtenido en mi vida, al igual que todos los anteriores se los dedico con todo el amor de mi alma a mis padres **NANCY CALDERÓN y EVARISTO MORALES**, y a mis hijas **SAMARA y SARY** porque son lo más valioso que tengo en mi vida, espero que se sientan orgullosos de todo el esfuerzo realizado para alcanzar este logro, porque sin ustedes no lo hubiera logrado.*

Que Dios los bendiga.

**JHON CARLOS MORALES
CALDERÓN**

AGRADECIMIENTOS

Este nuevo e importante paso en mi vida tiene todos los agradecimientos en cinco letras MADRE, si pudiera cambiar el nombre de este proyecto tendría tu nombre "María Fernanda Villamizar Ardila", infinitas gracias por tu apoyo y calidad humana.

A mi hijo Mathias, a mi amor Paola y mi Abuelita Ana, son muy importante para mi vida, gracias por la comprensión y el amor brindado.

A la Universidad Industrial de Santander por permitirme avanzar en mi proyecto académico y profesional.

Camilo Andrés Giraldo Villamizar

AGRADECIMIENTOS.

Doy gracias a Dios Padre todo poderoso y eterno, a la Virgen María por haberme dado la maravillosa familia que tengo, mis padres **NANCY** y **EVARISTO** a quienes amo con toda mi alma, a ustedes les debo todo lo que soy y todo lo que tengo, gracias por su apoyo y amor incondicional, ustedes son lo mejor que tengo.

A esas dos personitas especiales que hacen que un día difícil se transforme en un día de oportunidades y retos a superar, que cuando por algún momento siento que las cosas no se están dando de la mejor manera, hacen que saque las fuerzas de donde no las tengo para salir adelante, a ellas que son mi eterno amor, la mejor bendición que dios me ha dado, mis hijas **SAMARA** y **SARY**. Todo este esfuerzo ha sido por ustedes.

A la compañía Carbones del Cerrejón LCC por permitirme desarrollar la presente monografía de grado como requisito para la obtención del título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento con gran éxito y satisfacción.

Por último, agradezco a la Universidad Industrial de Santander y a la planta profesores que con su valioso esfuerzo y dedicación durante el desarrollo de cada uno de los módulos, a través de los cuales aportaron su grano de arena para obtener este gran logro que es muy importante para mi vida.

Jhon Carlos Morales Calderón

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1 MARCO CONTEXTUAL.....	19
1.1 VISIÓN.	19
1.2 MISIÓN.....	19
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA COMPAÑÍA.....	19
1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	22
1.5 MINERÍA A CIELO ABIERTO:.....	23
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	27
3 OBJETIVOS.....	30
3.1 OBJETIVO GENERAL:.....	30
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	30
4 JUSTIFICACIÓN.....	31
5 MARCO TEÓRICO.....	33
5.1 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO.....	33
5.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM.....	35
5.2.1 Funciones.....	39
5.2.2 Fallas funcionales.....	40
5.2.3 Modos de falla.....	40
5.2.4 Efectos de falla.....	41
6 BANCO DE PRUEBAS HIDRÁULICO AIDCO 900C.....	43
6.1 PARTES PRINCIPALES DEL BANCO HIDRÁULICO.....	43

6.1.1	Panel de instrumentos.....	43
6.1.2	Panel de conexiones y acoples de prueba.	44
6.1.3	Plataforma de montaje de componentes a prueba.....	45
6.1.4	Cuarto de máquina.....	46
6.2	SISTEMAS Y CIRCUITOS DEL BANCO HIDRÁULICO.....	46
6.3	SISTEMA DE PROPULSIÓN HIDROSTÁTICO.....	47
6.4	SISTEMAS DE SUMINISTRO DE ACEITE.....	50
6.4.1	Sistema de suministro de la bomba auxiliar.	50
6.4.2	Sistema de suministro de supercarga.....	53
6.4.3	Sistema de suministro de lubricación.....	56
6.4.4	Sistema de suministro del motor de alta presión.	58
6.4.5	Succión de bomba.....	61
6.5	SISTEMAS DE RETORNO A TANQUE PRINCIPAL.....	63
6.5.1	Circuitos de retorno a tanque.....	63
6.5.2	Sistema de bomba de sumidero.	64
6.6	CIRCUITOS DE DIAGNÓSTICO DE RECIRCULACIÓN.....	66
6.6.1	Circuito de recirculación FM3.....	66
6.6.2	Circuito de recirculación FM4.....	68
6.7	SISTEMA DE DIÁLISIS.....	69
6.8	SISTEMA DE ELEVACIÓN DE EJE CARDÁN.....	70
6.9	CIRCUITO DEL ENFRIADOR DE ACEITE OPCIONAL.....	73
6.10	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL BANCO HIDRÁULICO.....	74
6.11	INDICADORES DE PRESIÓN DE COMPONENTES EN PRUEBA.....	76
6.12	ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEL BANCO HIDRÁULICO AIDCO 900C....	78

6.12.1	Resultado del análisis de criticidad.....	82
7	TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	85
7.1	Definición de taxonomía y fronteras.....	85
7.2	DEFINICIÓN DE FUNCIONES.....	89
7.3	ANÁLISIS DE FALLAS FUNCIONALES.....	90
7.4	ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA.....	95
7.5	ANÁLISIS DE RIESGOS.....	107
7.6	SELECCIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO Y FRECUENCIA.....	114
8	CONCLUSIONES.....	127
	BIBLIOGRAFÍA.....	128

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. MTTO tradicional vs RCM.....	37
Tabla 2. Ponderación del factor (frecuencia de falla).....	79
Tabla 3. Ponderación del factor (tiempo promedio de reparación).	79
Tabla 4. Ponderación del factor (impacto sobre la producción).	80
Tabla 5. Ponderación del factor (costos de reparación).....	80
Tabla 6. Ponderación del factor (impacto en seguridad, ambiente e higiene).	80
Tabla 7. Datos estadísticos del análisis de criticidad.	82
Tabla 8. Resultados del análisis de criticidad.	83
Tabla 9. Resultados del análisis de criticidad de mayor a menor.	83
Tabla 10. Funciones del Sistema de suministro de la bomba auxiliar.....	89
Tabla 11. Funciones del Sistema de propulsión hidrostático.	89
Tabla 12. Funciones del sistema de bomba sumidero.....	89
Tabla 13. Funciones del sistema de Diálisis.	90
Tabla 14. Funciones del sistema de enfriamiento.....	90
Tabla 15. Fallas funcionales del Sistema de Suministro Auxiliar.	90
Tabla 16. Fallas funcionales del Sistema de Propulsión Hidrostático.	92
Tabla 17. Fallas funcionales del Sistema de Sumidero.	93
Tabla 18. Fallas funcionales del Sistema De Diálisis.....	94
Tabla 19. Fallas funcionales del Sistema de Enfriamiento.....	94
Tabla 20. Modos de falla Sistema Suministro Auxiliar	95
Tabla 21. Modos de falla Sistema de Propulsión Hidrostático.	99
Tabla 22. Modos de falla Sistema de Sumidero.....	102
Tabla 23. Modos de falla sistema de diálisis.....	104
Tabla 24. Modos de falla Sistema de Enfriamiento.....	105
Tabla 25. Matriz de riesgos.....	108
Tabla 26. Análisis de riesgo sistema suministro auxiliar.	108

Tabla 27. Análisis de riesgo sistema propulsión hidrostático.....	110
Tabla 28. Análisis de riesgo sistema de Bomba Sumidero.	112
Tabla 29. Análisis de riesgos Sistema de Diálisis.....	112
Tabla 30. Análisis de riesgos sistema de enfriamiento.	113
Tabla 31. Tareas de Mantenimiento Suministro Auxiliar.....	115
Tabla 32. Tareas de Mantenimiento sistema de propulsión hidrostático.	117
Tabla 33. Tareas de Mantenimiento Sistema de Bomba Sumidero.	120
Tabla 34. Tareas de Mantenimiento Sistema De Diálisis.....	122
Tabla 35. Tareas de Mantenimiento Sistema De Enfriamiento.....	123

LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1. Esquema del proceso de extracción del carbón.	22
Figura 2. Esquema del manejo del carbón hasta su embarque en buques.	22
Figura 3. Ubicación geográfica.	23
Figura 4. Banco de Pruebas AIDCO 900C.	31
Figura 5. Evolución de las técnicas de mantenimiento.	35
Figura 6. Estructura y conceptualización del RCM.	39
Figura 7. Panel de instrumentos del banco hidráulico AIDCO 900C.....	44
Figura 8. Panel de conexiones y acoples de pruebas.....	44
Figura 9. Plataforma de pruebas del banco hidráulico.....	45
Figura 10. Cuarto de máquina del banco hidráulico.....	46
Figura 11. Diagrama del sistema de propulsión hidrostático.	48
Figura 12. Instrumentación del sistema de propulsión hidrostático.....	49
Figura 13. Instrumentación del sistema de suministro de la bomba auxiliar.	52
Figura 14. Diagrama del sistema de suministro de la bomba auxiliar.	52
Figura 15. Acoples del sistema de suministro de la bomba auxiliar.....	52
Figura 16. Diagrama del sistema de suministro de supercarga.	54
Figura 17. Panel de instrumentos del sistema de supercarga.	54
Figura 18. Puerto de suministro de supercarga S6.....	55
Figura 19. Panel de instrumentos del sistema de suministro de lubricación.....	56
Figura 20. Acople del circuito Piloto/Levante.	57
Figura 21. Panel de instrumentos del circuito de alta presión.....	59
Figura 22. Acople del circuito de alta presión.	59
Figura 23. Panel de instrumentos del circuito Piloto/Levante.....	60
Figura 24. Acople del circuito Piloto/Levante.	61
Figura 25. Acoples de succión de 3" y 4" desde tanque principal.	62
Figura 26. Circuito de succión de 3" y 4" desde tanque principal.....	62

Figura 27. Puertos de retorno a tanque principal I5 y I9.	63
Figura 28. Sistema de bomba de sumidero.	65
Figura 29. Acoples del circuito de recirculación FM3.	66
Figura 30. Panel de instrumentos del circuito de recirculación FM3.	67
Figura 31. Acoples del circuito de recirculación FM4.	68
Figura 32. Panel de instrumentos del circuito de recirculación FM4.	69
Figura 33. Sistema de diálisis.	70
Figura 34. Panel de instrumentos del circuito Piloto/Levante.	72
Figura 35. Componentes del sistema de elevación del eje cardán.	72
Figura 36. Circuito del sistema de suministro de la bomba de alta presión.	73
Figura 37. Circuito del enfriador de aceite opcional.	74
Figura 38. Diagrama del sistema de enfriamiento.	76
Figura 39. Localización de puertos de toma de presión.	77
Figura 40. Localización de los manómetros de componentes en prueba.	77
Figura 41. Categorías y niveles de criticidad.	82
Figura 42. Diagrama de jerarquía del banco hidráulico AIDCO 900C.	85
Figura 43. Diagrama de jerarquía de sistemas críticos del equipo.	85
Figura 44. Diagrama de jerarquía sistema de suministro bomba auxiliar.	86
Figura 45. Diagrama de jerarquía del sistema de propulsión hidrostático.	87
Figura 46. Diagrama de jerarquía del sistema de sumidero.	87
Figura 47. Diagrama de jerarquía sistema de enfriamiento.	88
Figura 48. Diagrama de jerarquía del sistema de diálisis.	88

RESUMEN

TITULO: MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL BANCO DE PRUEBAS AIDCO 900C EN EL TALLER DE RECONSTRUCCIÓN HIDRÁULICA DE CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED, BASADO EN LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM*

AUTORES: Jhon Carlos Morales Calderón**

Camilo Andrés Giraldo Villamizar**

PALABRAS CLAVES: Análisis de criticidad, plan de mantenimiento, confiabilidad, modos de falla, efectos de falla, disponibilidad

DESCRIPCIÓN:

El principal objetivo de este trabajo de grado ha sido la elaboración de una plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar los indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del equipo AIDCO 900C.

Partiendo desde un estudio técnico al equipo, donde se investiga catálogos, fichas técnicas y comerciales. Teniendo definidos los sistemas críticos del equipo mediante un análisis de criticidad se realiza la descripción de todas las funciones presentes en él, para posteriormente encontrar los modos y efectos de falla de cada función. Precedente a todo el análisis anterior se estipulan la importancia en el impacto sobre el medio ambiente, riesgo humano, costos y la imagen de la empresa que generarían cada una de las fallas. Finalmente, se especifican los tipos de decisión que se deben tomar, la descripción de la tarea a realizar, con qué frecuencia se debe actuar y quién las debe ejecutar.

Como conclusión para realizar este plan de mantenimiento se sugiere la instauración de formatos en los cuales esté estipuladas el estudio final de este trabajo que consta de los tipos de decisión y como se llevaran a cabo, así como llevar un registro de fallas el cual está obsoleto actualmente.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Esp. Daniel Ortiz Plata.

SUMMARY

TITLE: MAINTENANCE PLAN MODEL FOR THE AIDCO 900C TEST BANK IN THE HYDRAULIC RECONSTRUCTION OF COALS WORKSHOP OF EL CERREJON LIMITED. BASED ON THE RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE METHODOLOGY (RCM)*

AUTHORS: Jhon Carlos Morales Calderón**

Camilo Andrés Giraldo Villamizar**

KEYWORDS: Criticality analysis, Maintenance plan, Reliability, Failure mode, Failure Effect, Availability.

The main objective of this degree work has been the development of a maintenance plan focused on reliability, in order to improve the reliability, availability and maintainability indicators of the AIDCO 900C test bank.

Starting from a technical study of the equipment, where catalogs, technical and commercial datasheets are investigated; and having defined the critical systems of the equipment through a criticality analysis, in which the description of all the functions present in it is made, as to be able to find the modes and effects of the failure of each of these functions. Previous to the said analysis, the importance of the impact on the environment, human risk, costs and company's image, which would generate each one of the failures, is assessed. Finally, the type of decisions and description of the tasks to be made, how often they should be performed and who should execute them are specified.

As a conclusion, to implement this maintenance plan it is suggested to establish monitoring sheets in which the final study of this work is stipulated, which consists of the type of decisions to be taken and how they will be executed; as well as keeping a failures record, which at the moment, is obsolete.

** Faculty of Physics Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Esp. Daniel Ortiz Plata.

INTRODUCCIÓN.

El siglo XXI la importancia de la competitividad empresarial, ha obligado a las industrias mundiales realizar inversiones en tecnología, innovación y talento humano especializado, con el fin de tener una afinidad positiva con la globalización.

Como logra una empresa competir con sus similares ante este auge de tecnología y afán por vender sus productos, pues es una alternativa ofrecer disponibilidad en el menor tiempo. Para garantizar este importante factor es indispensable tener una funcionabilidad correcta de los activos de la empresa y he aquí donde una decisión correcta en el tipo de mantenimiento y buena ejecución, se aumenta la eficiencia de la empresa, disminuye tiempos muertos, mejora los resultados en la línea de producción, todo lo contrario sucede con un tipo de mantenimiento correctivo donde no podemos garantizar la función de los activos de la empresa.

Por esta razón, en la actualidad, se práctica en la Superintendencia de Reconstrucción de Carbones del Cerrejón Limited, un Mantenimiento Correctivo a la maquinaria en general. Por este motivo se está desarrollando una investigación con supervisores, consultores y analistas de mantenimiento para aumentar la confiabilidad de todos los activos en general. Inicialmente se va a implementar el Plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad en la máquina AIDCO 900C definida como la raíz de su producción diaria.

En este trabajo, mediante un análisis de criticidad para definir los sistemas críticos, una descripción a fondo de las funciones de cada sistema y un estudio minucioso en los modos y efectos de falla, se pretende controlar y mejorar los indicadores de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad, elaborando un plan de trabajo donde se especifique cada una de las tareas de mantenimiento y el tipo de intervención, que se debe realizar en el equipo.

Finalmente con la implementación del Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, se aumenta la calidad del equipo, se alarga la vida útil del mismo y permite una integración en los grupos de mantenimiento tanto un sentido de pertenencia con la máquina AIDCO 900C.

1 MARCO CONTEXTUAL.

Carrejón es una de las operaciones mineras de exportación de carbón a cielo abierto más grandes del mundo, un importante actor de la economía en Colombia y motor de La Guajira, región en la que concentra su actividad productiva. Integra la exploración, extracción, transporte, embarque y exportación de carbón de diversas calidades.

1.1 VISIÓN.

Ser el productor y exportador de carbón líder a nivel mundial y un aliado clave para el progreso y desarrollo sostenible de La Guajira.

1.2 MISIÓN.

Producir y exportar carbón de manera eficiente, confiable y rentable, cumpliendo con los más altos estándares en seguridad, salud, medio ambiente y ética empresarial, contribuyendo al progreso de nuestra gente, las comunidades vecinas y La Guajira.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA COMPAÑÍA.

Actualmente, Carbones del Cerrejón LLC., pertenece a un consorcio de tres importantes compañías que respaldan nuestras operaciones de las Zonas Norte y Central del Cerrejón (Glencore, Anglo American y BHP Billiton), filiales de estas empresas compraron la participación de ExxonMobil en el Cerrejón Zona Norte (año 2002).

La empresa Carbones del Cerrejón LCC es una compañía exportadora de carbón desde Colombia a más de 20 países en todo el mundo. Cuenta con una fuerza

laboral aproximada de 8.000 trabajadores, entre empleados directos y contratistas.

Cerrejón se destaca igualmente por la preservación y control del medio ambiente y por su compromiso en apoyar el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades vecinas y el progreso de La Guajira, la región y el país.

Hay diversas teorías acerca de la formación del carbón en la región y la más aproximada es que hace decenas de millones de años se inició una gran acumulación de pilas de sedimentos arrancados de las cordilleras y transportados por los ríos que poco a poco fueron quitando espacio al mar, permitiendo la expansión del continente.

Todos estos sedimentos se acomodaron en forma de capas horizontales, llamadas estratos que se fueron compactando por efecto de la presión de las capas superiores sobre las inferiores y que con el paso del tiempo se fueron endureciendo.

Cuando el fondo del mar se llenó de sedimentos, las aguas se retiraron y se formaron terrenos en el océano los cuales fueron colonizados por vegetación formándose grandes bosques que luego se hundieron bajo las aguas del mar y a su vez recibieron nuevos sedimentos que cubrieron el bosque protegiéndolo de su degradación y quedando atrapado entre dos pilas de sedimento una arriba y otra abajo y este bosque se empezó a descomponer lentamente, generando calor y se convirtió en un horno natural que ahora, millones de años después se convirtió en carbón.

El carbón mineral es una roca sedimentaria compuesta por diferentes sustancias, todas de color negro cuyo componente es el carbono con pequeñas cantidades de agua y gases formados por la descomposición de los bosques. Este carbón tiene tendencia natural para acumular calor y al ir aumentando su temperatura, puede alcanzar el punto de ignición y generar espontáneamente fuego, que puede quemar

el carbón, quedando una roca calcinada, que se conoce como Clinker. En el Cerrejón éste proceso se repitió más de 40 veces formando un gran depósito de rocas sedimentarias intercaladas con gran cantidad de carbón gigantesco.

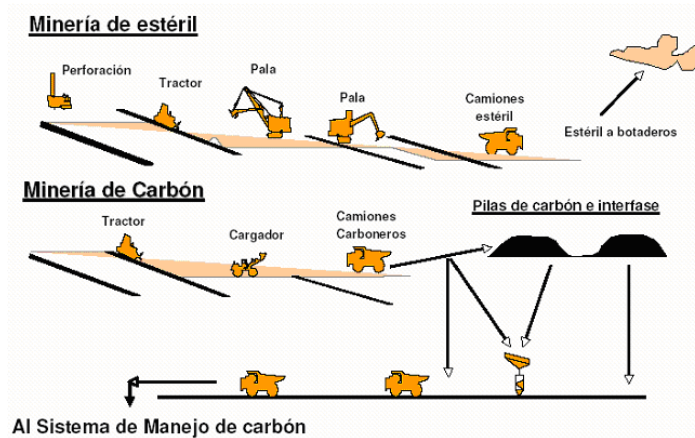
Geológicamente el depósito carbonífero regional está definido por la placa Suramericana, con la placa Caribe hacia el norte, con la placa de los Cocos situada hacia el occidente y el choque de estas placas da origen a los elementos estructurales que limitan la formación del Carbón. Estos elementos confirman que la zona ha estado sometida a grandes compresiones y por estos elementos se encuentran en nuestra mina fallas inversas que producen el levantamiento de un bloque con relación a otro.

Las características del carbón y el yacimiento de Cerrejón son:

Tipo de Carbón: Térmico sub bituminoso (formado hace 60 millones de años en el periodo terciario).

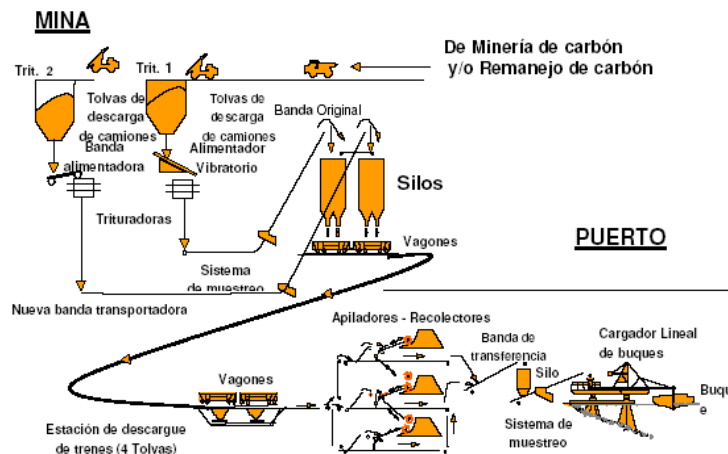
- Potencia calorífica: 11.500 BTU por libra en promedio.
- Bajo contenido de azufre: 0.65% en promedio
- Bajo contenido de cenizas: 7.5% en promedio (4% en estado natural).
- Humedad: 10.5%. Materias volátiles: Bajo
- Profundidad de explotación: - Tajo La Puente: 140 metros, - Tajo EWP: 260metros.
- Altura entre mantos para Explotación: 10 metros.
- Relación de Descapote: 6.5 a 1 (6.5 Ton de estéril por 1 de Carbón).
- Reservas Totales (MTons): 2000 (probadas 318, probables 449).

Figura 1. Esquema del proceso de extracción del carbón.



Fuente: CERREJÓN, Proceso de producción de minería de carbón a cielo abierto [En línea].
 Disponible en Internet: <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa/calidad-del-producto.aspx>.

Figura 2. Esquema del manejo del carbón hasta su embarque en buques.

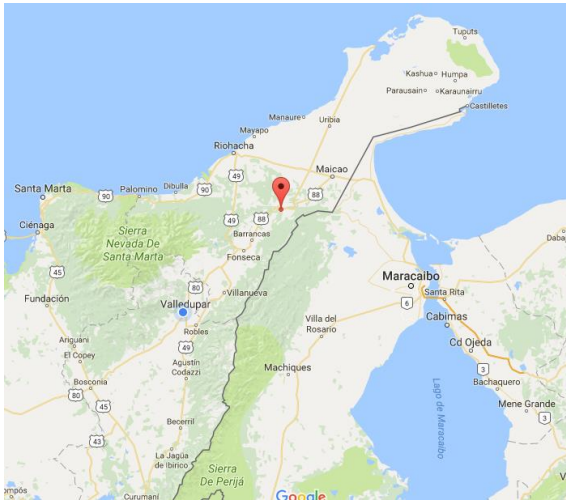


Fuente: CERREJÓN, Calidad del producto [En línea]. Disponible en Internet:
<http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa/calidad-del-producto.aspx>.

1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

La presente monografía se llevó a cabo en una de las empresas más grandes de Colombia como es: Carbones del Cerrejón LCC, la cual está ubicada en el departamento de La Guajira.

Figura 3. Ubicación geográfica.



Fuente: Google Maps. Disponible en Internet:

<https://www.google.es/maps/place/Carrejon,+Barrancas,+La+Guajira/@11.0333597,-72.6587048,15z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e8ba638256a7e41:0x841b5c2916dd2914!8m2!3d11.03336!4d-72.64995>

1.5 MINERÍA A CIELO ABIERTO:

A diferencia de otras operaciones de minería, esta no requiere de elaboración de túneles especiales, pues la extracción de éste mineral se lleva a cabo desde la superficie, para esto se cumplen las siguientes etapas:

Preparación de la superficie:

Se retira cuidadosamente la capa vegetal y se remueve la capa de suelo, la cual se almacena en pilas para la rehabilitación futura de áreas intervenidas en la explotación.

Perforación:

Es la labor que se efectúa con taladros luego de que el área a volar há sido arreglada y estacada con el objetivo de alojar en los barrenos o pozos, el explosivo para una determinada voladura.

Voladura:

La técnica de voladura bajo manto permite volar la roca sin volar el carbón por medio de la colocación de las cargas explosivas en los intervalos de roca y solamente material de retacado (triturado) en los mantos de carbón que se resquebrajan por el impacto. Se usa como explosivo el nitrato de amonio combinado con fuel oil (anfo), gelatina explosiva.

Remoción de Material Estéril:

Para extraer el carbón, las capas de roca que cubren los mantos, son removidas en bancos de 10 metros de altura. El material estéril extraído se crac en camiones y es depositado en botaderos de superficie o en áreas de retrollenado de tajos.

Extracción de carbón:

Cuando el manto de carbón está totalmente limpio es escarificado y empujado con los mismos tractores o bajado por las retroexcavadoras hasta el piso del nivel, donde es apilado y cargado por medio de cargadores frontales.

Transporte de material en camiones:

El material estéril extraído, es cargado en camiones con capacidad y transportado hasta los botaderos de superficie o en áreas de retrollenado de tajos. El carbón es

cargado en camiones carboneros que lo transportan hasta las plantas trituradoras o a los patios de almacenamiento temporal.

Instalaciones de Manejo de Carbón:

Pilas de Almacenamiento: El carbón proveniente de la mina es transportado en camiones hasta las instalaciones de manejo de carbón, donde es descargado en las tolvas que alimentan a las trituradoras o es almacenado en pilas, según su calidad.

Planta de Lavado: La planta de lavado de carbón fue construida para procesar el material de interface que queda después del proceso de limpieza y minado del carbón. También se procesan en esta planta, los carbones con alto contenido de cenizas que provienen de zonas con complejidades geológicas o dificultades operacionales.

Trituración: Es la reducción de tamaño por medio de trituradoras de rodillos, las cuales producen un tamaño máximo de salida de 50 mm. Las instalaciones de trituración constan de dos plantas trituradoras con capacidades de 3000 ton/h y 1500 Ton/h respectivamente. El proceso de trituración de carbón cuenta con sistemas para el control de la dispersión del material particulado por medio de agua y colectores de polvo.

Silos: Cada trituradora tiene regulación del tamaño de salida (tamaño de carbón de 2 pulgadas carbón estándar, 6 pulgadas carbón para atender pedidos especiales) y está conectada por una banda transportadora que lleva el carbón triturado hasta los silos de almacenamiento, donde se carga posteriormente el tren. Usando un sistema de transferencia, cada trituradora puede alimentar ambos silos, lo cual aumenta la flexibilidad del sistema. Los silos tienen 21,3 m de diámetro y 69,7 m de altura.

Transporte en tren hasta el Puerto

El carbón es transportado hacia el Puerto en trenes de tres locomotoras de 3600 HP y aproximadamente 115 vagones con descarga de fondo. La capacidad de cada vagón es de 100 Ton y la carga promedio por tren es de 11.000 toneladas. El ciclo de operación de cada tren es de 11.5 horas, en las cuales se carga el tren, recorre el trayecto de 150 kilómetros, descarga en el Puerto y regresa a La Mina, para continuar la misma operación. Las instalaciones de cargue y descargue de trenes cuentan con sistemas para el control de polvo por medio de agua, compactación de la capa superior en los vagones y colectores de polvo en el Puerto.

Cargue de Buques

Una vez el tren llega a Puerto Bolívar, pasa por la estación de descarga donde el carbón es descargado a través de las compuertas centrales de cada vagón, accionadas por un sistema automático, hacia una tolva situada en la parte inferior de la línea férrea, desde donde es enviado a través de una banda transportadora a las pilas de almacenamiento o al cargador de buques. Para el almacenamiento del carbón en El Puerto y alimentación del cargador lineal de buques, se emplea un sistema combinado de apiladores-recolectores. El cargador lineal tiene una capacidad nominal de manejo de 11.000 Ton/h, el cual se encuentra ubicado sobre el muelle y se utiliza para depositar el carbón en las bodegas de los barcos.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Carbones del Cerrejón Limited es una empresa dedicada a la explotación y exportación de carbón a cielo abierto, considerada una de las más grandes del mundo, debido a la magnitud de sus operaciones. La empresa está localizada en el departamento de la Guajira, en donde lleva a cabo todas las operaciones con una variedad de maquinaria pesada compuesto por: camiones mecánicos, camiones eléctricos, tractores de orugas, tractores de llantas, motoniveladoras, traíllas, palas eléctricas, palas hidráulicas, cargadores, entre otros.

Debido a la criticidad de las operaciones de explotación de carbón, la compañía cuenta con un departamento de mantenimiento estructurado y unas instalaciones con todos los requerimientos para realizar la manutención de cada uno de los diferentes equipos de la operación, el cual está dividido por superintendencias.

Una de las divisiones del departamento de mantenimiento de Carbones del Cerrejón Limited es la Superintendencia de Reconstrucción, la cual tiene como misión de proveer de manera confiable los diferentes componentes de los equipos mineros, cumpliendo con los requerimientos especificados por fabricantes y/o clientes, para mantener las condiciones de operación de los equipos, plantas, y activos, en forma costo efectiva, mejorando continuamente los procesos, cumpliendo con los estándares de calidad, seguridad, salud, medio ambiente, y desarrollo sostenible.

La Superintendencia de Reconstrucción, para el desarrollo de sus actividades de mantenimiento, está conformada por varios talleres como son:

Reconstrucción de motores diésel.

Reconstrucción eléctrica.

Reconstrucción electrónica.

Reconstrucción de soldadura y rodaje.

Reconstrucción máquinas herramientas.

Reconstrucción hidráulica.

El taller de reconstrucción hidráulica, es el encargado de realizar el proceso de reparación de una gran variedad de componentes de los equipos mineros, que hacen parte de la operación de la compañía. Dentro de los componentes que se reparan en este taller incluyen: Cilindros hidráulicos, suspensiones frontales, suspensiones traseras, frenos de discos húmedos, mandos finales, servo transmisiones, convertidores de torque, diferenciales, cajas de engranajes, entre otros.

Algunos de los componentes de los equipos mineros que son reparados en el taller de reconstrucción hidráulica, son probados en el banco de pruebas hidráulico AIDCO 900C. Dicha prueba es de gran importancia para el proceso de reconstrucción, porque a través de esta, se pueden simular las condiciones operacionales bajo las cuales va a trabajar el componente, durante el funcionamiento de los diferentes equipos que hacen parte de las operaciones mineras, y de esta forma verificar la calidad de los trabajos ejecutados, realizar los ajustes o calibraciones finales, y garantizar que estos cumplan con la función para la cual están diseñados.

Además, con la realización de estas pruebas funcionales con el banco hidráulico AIDCO 900C, podemos encontrar fallas durante el proceso de reparación del componente, las cuales pueden ser corregidas antes de que los componentes sean entregados a las flotas de cada uno de los equipos donde van instalados. Algunas de las fallas más comunes que se pueden presentar en los componentes son:

Fugas hidráulicas en algunas de las partes.

Ruido excesivo durante el movimiento de las partes.

Partes desajustadas.
Válvulas sin calibrar.
Conexiones hidráulicas incorrectas.
Conductos hidráulicos obstruidos.
Sellos maltratados.

El banco de pruebas AIDCO 900C se encuentra en operación desde principios del año 2011, y hasta la fecha no cuenta con un plan de mantenimiento, lo cual ha tenido una afectación en la disponibilidad y confiabilidad del equipo, haciendo que la productividad se reduzca debido a las paradas inesperadas de máquina por averías, y la seguridad del personal que opera el equipo se vea en riesgo.

La falta del plan de mantenimiento en este equipo hace que su operación sea impredecible y poco fiable, ocasionando riesgos económicos que pueden ser importantes, reduciéndose la vida útil del equipo, sumándole a esto, que con el tiempo el estado de la maquina impide la realización de un diagnóstico confiable de las causas de las fallas, haciendo que estas se vuelvan repetitivas.

Alguna de las fallas que se han presentado en el banco de pruebas hidráulico AIDCO 900C son las siguientes:

Taponamientos de filtros de los diferentes sistemas y circuitos de funcionamiento del equipo.
Fugas hidráulicas en los circuitos.
Presencia de ruidos extraños durante el funcionamiento de motores eléctricos.
Contaminación del sumidero de aceite de la plataforma de prueba.
Desajuste de manómetros.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un Modelo de Plan de mantenimiento para el banco de pruebas AIDCO 900C en el taller de reconstrucción hidráulica de Carbones del Cerrejón Limited, basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Definir las funciones del equipo a través de la identificación de los diferentes sistemas, circuitos, y componentes que conforman el banco de pruebas AIDCO 900C.
- ✓ Describir las fallas funcionales de los diferentes sistemas, circuitos, y componentes que conforman el banco de pruebas AIDCO 900C.
- ✓ Realizar un análisis de los modos de fallas, sus efectos, y la criticidad de los diferentes componentes que hacen parte de los sistemas y circuitos que conforman el banco de pruebas AIDCO 900C
- ✓ Elaborar un plan de trabajo donde se especifique cada una de las tareas de mantenimiento y el tipo de intervención, que se debe realizar en el equipo.

4 JUSTIFICACIÓN.

La elaboración del modelo del Plan de mantenimiento para el banco de pruebas hidráulico AIDCO 900C por medio de la metodología RCM, tendría un impacto positivo en el desempeño operacional del equipo, ya que este permitirá asegurar que el activo continúe realizando las funciones deseadas en su contexto operacional, lo que permitiría obtener los siguientes beneficios:

Mejoramiento de la confiabilidad del equipo, debido a que por medio de la metodología RCM, se realizará un análisis estructurado y detallado de las fallas funcionales, y sus consecuencias, que permitirán justificar la aplicación de las distintas estrategias, para tener definido el modelo del plan de mantenimiento con cada una de las actividades y frecuencias necesarias para preservar las funciones de los componentes que hacen parte de los diferentes sistemas del banco de pruebas hidráulico AIDCO 900C, buscando de esta manera evitar, reducir o eliminar las consecuencias de que se presente una falla funcional de alguno de estos, permitiendo que el equipo desarrolle su función de acuerdo al contexto operacional, y cumpliendo con los aspectos de seguridad, medio ambiente, costos y productividad.

Figura 4. Banco de Pruebas AIDCO 900C.



La disponibilidad del banco de pruebas AIDCO 900C también se verá incrementada con la estrategia, ya que al momento de presentarse una falla en alguno de los componentes que hacen parte de los sistemas del banco de pruebas AIDCO 900C, el diagnóstico de la falla se realizará más rápido, debido a que al tener la referencia de los modos de falla relacionados con la función y a los análisis de sus efectos por la metodología del RCM, los tiempos para realizar las intervenciones de mantenimiento se reducirán, haciendo que el equipo entre en operación en un lapso de tiempo más corto.

La productividad también tendrá un impacto directo, ya que esta aumentará en la medida de que las fallas disminuyan de una forma sustentable en el tiempo, debido a que por medio la estrategia del RCM ayudará a que el equipo cumpla con la función para la cual está destinado dentro del contexto operacional, y también al tener definidas las tareas de mantenimiento costo efectivas, los tiempos muertos del equipo se reducirán haciéndolo más productivo.

5 MARCO TEÓRICO.

Desde el inicio del mantenimiento industrial en el año 1945, las empresas consideraban que la reparación e inspección de los equipos se realizaban solo después de la falla, debido a la poca tecnología y complicidad de los equipos en esa época. El concepto de mantenimiento preventivo prevalecía en la segunda generación del mantenimiento (años 50's a 70's). En esta década de los 70's mediante el RCM que compone uno de los procesos de desarrollo con el objetivo de identificar, mejorar las funciones de los activos físicos y manejar la consecuencia de sus fallas, este componente forma parte primordial de la necesidad del mejorar las prácticas de mantenimiento de los equipos de aviación civil en Estados Unidos.

Posteriormente en los años 90's en adelante se inició un compromiso entre los departamentos dentro de una empresa y se inicia la participación del operador-jefe en los planes de mantenimientos, adicionalmente, se inicia la práctica del RBM (mantenimiento basado en el riesgo).

5.1 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO.

Desde el principio de los tiempos, el ser humano ha sentido la necesidad de mantener su equipo, con el fin de ahorrar gastos, prolongar la vida útil de sus activos y disminuir accidentes laborales.

Para llegar a estos ítems esenciales en un buen mantenimiento, fue necesario transitar por grandes cambios y avances que se explican a continuación mediante las tres generaciones del mantenimiento.

Primera generación: Cubre desde el inicio hasta la II Guerra Mundial. En esta generación la industria no era muy mecanizada y los periodos de paradas largos no eran importantes. Las maquinas se diseñaban con un propósito determinado, eran

sencillas de fabricar y reparar, debido a esto no era necesario personal calificado, ni sistemas de mantenimiento¹.

Segunda generación: Cubre desde la II Guerra Mundial hasta la década de los sesenta. Debido a la guerra, fue necesario crear maquinas más complejas por lo que la industria dependía de ellas. Y al aumentar esta dependencia los paros largos o tiempo improductivo se hizo más evidente, lo que produjo la idea de que las fallas en la maquinaria se debían prevenir, lo que se denominó **MANTENIMIENTO PREVENTIVO** que se enfocaba esencialmente en la revisión a intervalos fijos. Con esta implementación de mantenimiento se vio reflejada negativamente en la economía en relación con otros costes de funcionamiento, como solución se comenzó a implantar sistemas de control y a planificar el mantenimiento.

Tercera generación: Cubre desde los setenta hasta la actualidad. El crecimiento incesante de la mecanización significa que los periodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente.

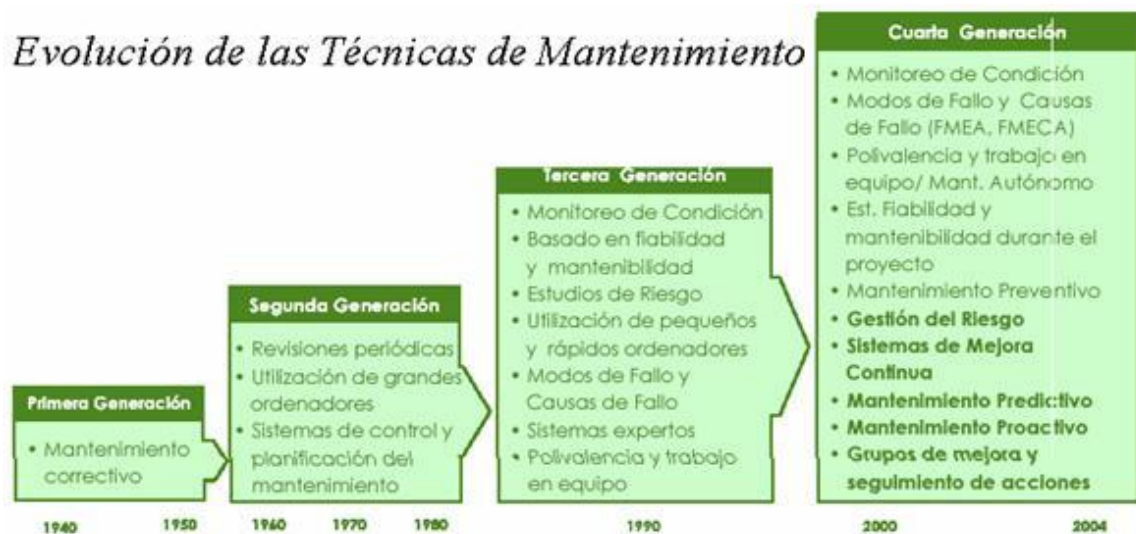
Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la maquinaria y la calidad del producto. Al mismo tiempo, se están elevando continuamente los estándares de calidad. Esto crea mayores demandas en la función del mantenimiento.

Otra característica en el aumento de la mecanización es que cada vez son más serias las consecuencias de los fallos de una planta para la seguridad y/o el medio ambiente. Al mismo tiempo los estándares en estos dos campos también están mejorando en respuesta a un mayor interés del personal, gerente, los sindicatos, los medios de información y el gobierno.

¹ AMENDOLA, Luis. [En línea]. Disponible en internet: <http://www.mailxmail.com/cursos-confiabilidad-operacional/evolucion-mantenimiento-centrado-confiabilidad>

Finalmente, el coste del mantenimiento todavía está en aumento, en términos absolutos y en proporción a los gastos totales. En algunas industrias, es ahora el segundo gasto operativo de coste más alto y en algunos casos incluso el primero. Como resultado de esto, en solo treinta años lo que antes no suponía casi ningún gasto se ha convertido en la prioridad de control de coste más importante.

Figura 5. Evolución de las técnicas de mantenimiento.



Fuente: GONZALEZ yrmeric. Mantemiento 1, La evolución del mantenimiento [En línea], 28 Octubre 2011. Disponible en Internet: <http://ugmamantenimiento12011.blogspot.com.co/2011/10/evolucion-del-mantenimiento.html>

5.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM.

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) tiene sus principios básicos en los años setenta para la industria aeronáutica norteamericana, debido a que habían encontrado que sus filosofías de mantenimiento eran costosas.

Entre 1985 y 1995, se llevan los análisis RCM a las centrales termoeléctricas, extendiéndose la aplicación de esta metodología a otros sectores industriales tan dispares como son el sector ferroviario (donde la Unión Europea obliga a que todos

los trenes de alta velocidad circulando en el espacio comunitario tengan su mantenimiento estudiado bajo RCM), la industria química o las redes eléctricas.

Como consecuencia de un creciente reconocimiento a nivel mundial de la importancia del RCM en la formulación de estrategias de gestión de activos físicos – y luego de la necesidad de aplicar RCM correctamente – la SAE (American Society of Automotive Engineers) publicó la norma JA1011: Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (RCM) (Evaluation Criteria for Reliability-Centred Maintenance (RCM) Processes)².

➤ **Que es RCM.**

Existen varias definiciones para RCM, citaremos tres significados y una comparación respecto otro tipo de mantenimiento³.

- I. Es un medio para documentar las bases de un plan de mantenimiento para futuras referencias.
- II. Es un método organizado y lógico para construir o modificar un plan de mantenimiento conservando un óptimo costo.
- III. Es una filosofía para conservar un balance óptimo entre el costo del mantenimiento de rutina y la confiabilidad del servicio.

² SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers Inc, 1999. 30 p.

³ NOWLAN. Stanley. Reliability-Centered Maintenance. San Francisco: U.S. Department of Commerce, 1978. 2-30 p.

Tabla 1. MTTO tradicional vs RCM.

MANTENIMIENTO TRADICIONAL	RCM
Cuidar el equipo	Preservar las funciones
Prevenir fallas	Evitar, reducir o eliminar las consecuencias
Ejecutar tareas necesarias para evitar fallas a todo costo	Construir defensas costo-efectivas razonables contra fallas y aceptar la ocurrencia de algunas fallas
Priorizar tareas preventivas	Priorizar técnicas predictivas y de condición
Mantener el equipo funcionando	Extender el ciclo de vida del equipo
Preventivo, predictivo y correctivo	Preventivo, predictivo, correctivo y detectivo.
Disponer de amplia información sobre frecuencia de fallas para elaborar el plan de mantenimiento	Disponer de personas e información que permitan identificar los modos de falla de los equipos
Los equipos fallan más cuando envejecen	Los equipos modernos tienen múltiples formas de probabilidad de falla

➤ **Para qué RCM.**

- Balancear los costos de mantenimiento con la confiabilidad del servicio.
- Apremiar el costo-efectividad de las alternativas del mantenimiento.
- Mejorar la habilidad para planear mantenimiento.
- Administración más efectiva de los recursos limitados.
- Definir y priorizar el tipo de tareas de mantenimiento necesarias según la función del equipo en el sistema.

- Enfocar el mantenimiento en escenarios de alta consecuencia de falla de equipo.
- Sentido de pertenencia y mayor motivación del personal.
- Lenguaje técnico apropiado para analizar los problemas y tomar decisiones.
- Propicia el trabajo en equipo al interior de los grupos de mantenimiento y su relación con los otros procesos.

➤ **Las siete preguntas básicas del RCM.**

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de ejecución asociados con el activo, en su actual contexto operacional?
2. ¿En qué forma falla el equipo, con respecto a la función que cumple en el contexto operacional?
3. ¿Qué causa la falla funcional?
4. ¿Qué sucede (efectos) cuando falla?
5. ¿Qué ocurre (consecuencias) si falla?
6. ¿Qué puede hacerse para evitar la falla?
7. ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea para evitar la falla?

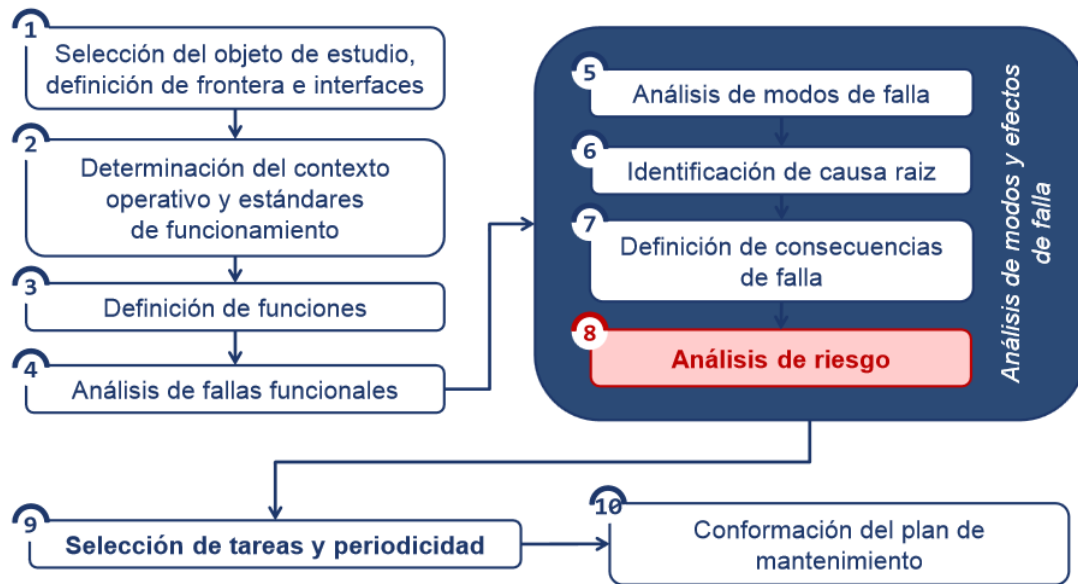
➤ **Pasos para implementar RCM.**

- I. Identificar los principales sistemas de la planta o campo e identificar sus funciones.
- II. Identificar las fallas funcionales en los equipos.
- III. Identificar los modos de falla que pueden producir una falla en la función.
- IV. Jerarquizar las necesidades funcionales en los equipos.
- V. Determinar la criticidad de los efectos de las fallas funcionales.
- VI. Emplear la estrategia de árbol lógico para establecer las tareas de mantenimiento.
- VII. Seleccionar las actividades preventivas u otras que conserven la

funcionalidad del sistema.

➤ **Estructura y conceptualización del RCM.**

Figura 6. Estructura y conceptualización del RCM.



Fuente: Curso RCM – instructor Daniel Ortiz Plata.

5.2.1 Funciones. Cada activo de la planta tiene un propósito determinado, lo que conlleva a su correcto funcionamiento para las condiciones dadas, una dismunción en la función se vera afectada en la productividad total o parcial de la empresa, que simplemente se convierte en perdida de dinero. Estas funciones pueden ser primarias o secundarias⁴:

⁴ ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO. Bucaramanga: UIS 2010

➤ **Funciones primarias**

Es el por que o para que implementamos nuestro equipo en la planta o la principal función en la cadena sistemática del proceso. Por ejemplo, cual es la función primaria de una bomba determinada: Bombear agua u otro fluido a una temperatura y presión específicas.

➤ **Funciones secundarias**

Estas funciones son las que nos ayudan a cumplir la función primaria, podemos decir que sus fallas pueden conllevar a consecuencias graves, por ejemplo, generar parada de un equipo.

5.2.2 Fallas funcionales. Incapacidad de un activo o elemento para satisfacer un correcto funcionamiento.

Las fallas o fallas funcionales pueden ocurrir por baja capacidad inicial o deterioro de la capacidad y pueden ser : total, parcial, intermitente, permanente, de desgaste, de degradación, entre otras. Por ejemplo, la temperatura interna es menor a 60 °C.

5.2.3 Modos de falla. Es la descripción del evento que causa la falla funcional. Para lograr establecer los modos y efectos se utiliza la herramienta: análisis de los modos y efectos de las fallas.

Los modos de falla se pueden dar por problemas desde el diseño, desde la fabricación, pero también por fatiga, por sobrepresión, fugas vibración, entre otras

posibles causas⁵.

5.2.4 Efectos de falla. Como su nombre lo indica, cuales son los efectos de nuestro modo de falla. Pueden tener mas de un efecto de falla. Nos permite definir la importancia de cada fallo que tipo de mantenimiento sería necesario.

En esta etapa debemos especificar el grado de impacto ambiental, seguridad, operacional y de costos, de nuestro modo de falla.

➤ **Categoría de los efectos de falla.**

Los efectos de falla se pueden clasificar en 5 categorías:

1. Fallas ocultas o visibles por el operador
2. Efectos en la seguridad
3. Efectos en el medio ambiente
4. Efectos operacionales
5. Efectos en la imagen corporativa

Falla oculta: Es aquella que no es detectable por los operarios en condiciones normales de operación, si se produce por si sola. La consecuencia es que aumenta la probabilidad de un fallo múltiple, que tienen un gran impacto en los aspectos de seguridad, medio ambiente y costos.

Efectos de seguridad y medio ambiente: Nos preguntamos y evaluamos si el modo de falla puede llegar a afectar negativamente la salud del personal, o si puede conducir a una infracción de cualquier normal relacionada con el medio ambiente.

Efectos operacionales: Es aquel en el cual el modo de falla afecta directamente la

⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Mexico: Aladon, 2004.

capacidad operacional.

Efectos en la imagen corporativa: Evaluamos si el modo de falla tiene un impacto negativo en la sociedad corporativa en general.

Selección de tareas: Las tareas que se pueden tomar para tratar las fallas, se dividen en dos categorías:

- Tareas proactivas
- Actividades correctivas

6 BANCO DE PRUEBAS HIDRÁULICO AIDCO 900C.

El banco de pruebas hidráulico AIDCO 900C, es un equipo que está diseñado para la prueba de muchos de los componentes utilizados en los equipos mineros que hacen parte de las operaciones en Carbones del Cerrejón. El banco permite realizar la simulación de condiciones de operación reales de los componentes de los equipos, para verificar que después de realizar los diferentes trabajos de reparación, estos realicen la función para la cual están diseñados.

Los componentes que se pueden probar con este equipo son los siguientes:

- Transmisiones Automáticas.
- Transmisiones Powershift.
- Bombas Hidráulicas.
- Motores Hidráulicos.
- Cilindros Hidráulicos.
- Válvulas Hidráulicas.
- Convertidores de Torque.

6.1 PARTES PRINCIPALES DEL BANCO HIDRÁULICO.

6.1.1 Panel de instrumentos. El panel de instrumento del banco hidráulico AIDCO, es donde se encuentran disponibles y en forma ordenada los interruptores de encendido y apagado principal del equipo, del motor del sistema de alta presión, del motor principal, del sistema de diálisis, de parada de emergencia, de selección de giro del eje cardan, de modo de operación auto/manual. También podemos encontrar los indicadores y controladores de temperatura del tanque principal, tanque del sistema hidrostático, y enfriador de aceite. Los diferentes manómetros de cada uno de los sistemas y circuitos hidráulicos del equipo, así como los flujómetros y algunas válvulas de regulación de presión de los mismos.

Figura 7. Panel de instrumentos del banco hidráulico AIDCO 900C.



6.1.2 Panel de conexiones y acoples de prueba. En esta parte del banco hidráulico es donde se pueden hacer las diferentes conexiones entre los componentes que se van a probar y los diferentes circuitos hidráulicos del equipo. Las conexiones se realizan a través de mangueras, las cuales en sus extremos están provistas de acoples rápidos para facilitar la instalación en el banco.

En el panel de conexiones y acoples también se encuentran las perillas de accionamiento de dos válvulas de ajuste de caudal de dos circuitos del banco hidráulico. Así mismo, podemos encontrar el eje cardan para proporcionarle movimiento a los componentes en prueba, y la válvula direccional para el ajuste de la altura de ubicación del eje cardán.

Figura 8. Panel de conexiones y acoples de pruebas.



6.1.3 Plataforma de montaje de componentes a prueba. La plataforma de prueba es el elemento del banco hidráulico donde se puede realizar el montaje de los componentes que se desean probar, la cual dispone de mecanismos de sujeción para estos, y además, la parte inferior de la plataforma es un depósito que sirve de sumidero para el aceite que se suministra a los componentes en prueba y que se drena de estos durante la operación del equipo.

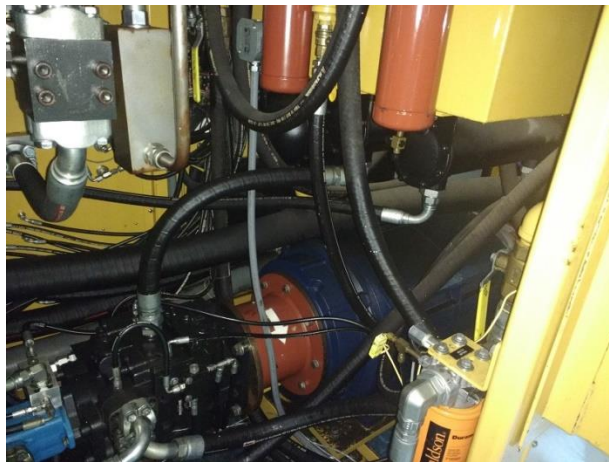
Toda la plataforma tiene un sistema de rejillas para que el operador del equipo pueda desplazarse sobre la plataforma con seguridad, además, estas rejillas evitan que objetos extraños o partes de los componentes en prueba, caigan al sumidero de aceite de la plataforma de prueba.

Figura 9. Plataforma de pruebas del banco hidráulico.



6.1.4 Cuarto de máquina. El cuarto de máquinas del banco hidráulico es la estructura donde se encuentran alojados cada uno de los componentes que conforman los diferentes sistemas y circuitos usados para la prueba de los componentes de los equipos mineros.

Figura 10. Cuarto de máquina del banco hidráulico.



6.2 SISTEMAS Y CIRCUITOS DEL BANCO HIDRÁULICO.

El banco de pruebas AIDCO 900C cuenta con los siguientes sistemas y circuitos para probar los diferentes componentes.

- Sistema de propulsión hidrostático.
- Sistemas de suministro de aceite.
 - ✓ Sistema de suministro auxiliar.
 - ✓ Sistema de suministro de supercarga.
 - ✓ Sistema de suministro de lubricación.
 - ✓ Sistema de suministro de alta presión.
 - Circuito de alta presión.
 - Circuito piloto/levante.
 - ✓ Succión de bomba.
- Sistemas de retorno a tanque principal.
 - ✓ Circuitos de retorno a tanque.
 - ✓ Sistema de bomba de sumidero.
- Circuitos de diagnóstico de recirculación.
 - ✓ Circuito de recirculación FM4.
 - ✓ Circuito de recirculación FM3.
- Sistema de diálisis.
- Sistema de elevación de eje cardan.
- Circuito del enfriador de aceite.
- Sistema de enfriamiento del banco hidráulico.
- Indicadores de presión de componentes en prueba.

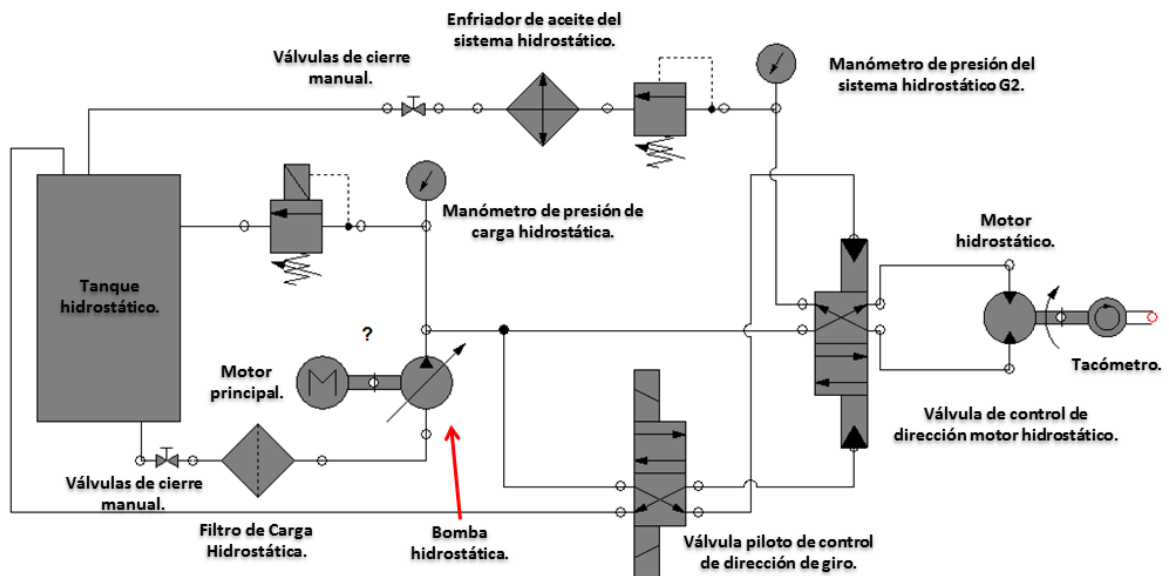
6.3 SISTEMA DE PROPULSIÓN HIDROSTÁTICO.

El circuito hidrostático es el que sirve para proporcionarle el movimiento en sentido horario o anti horario al eje cardán, el cual con la ayuda de accesorios mecánicos se acopla a los componentes en prueba para que se muevan a la velocidad deseada del operador del equipo.

El sistema de propulsión hidrostático cuenta con un depósito de aceite independiente, destinado solamente al movimiento del eje cardan, ya que este aceite no entra en contacto con los componentes que se van a probar.

Cuenta con una bomba hidráulica de pistones de plato oscilante la cual es impulsada por el motor principal del banco, el flujo de aceite suministrado por la bomba impulsa un motor hidráulico en el cual va acoplado el eje cardan que le da movimiento a los componente que para realizar su prueba necesitan un movimiento de entrada. Ej. Transmisiones y bombas hidráulicas.

Figura 11. Diagrama del sistema de propulsión hidrostático.

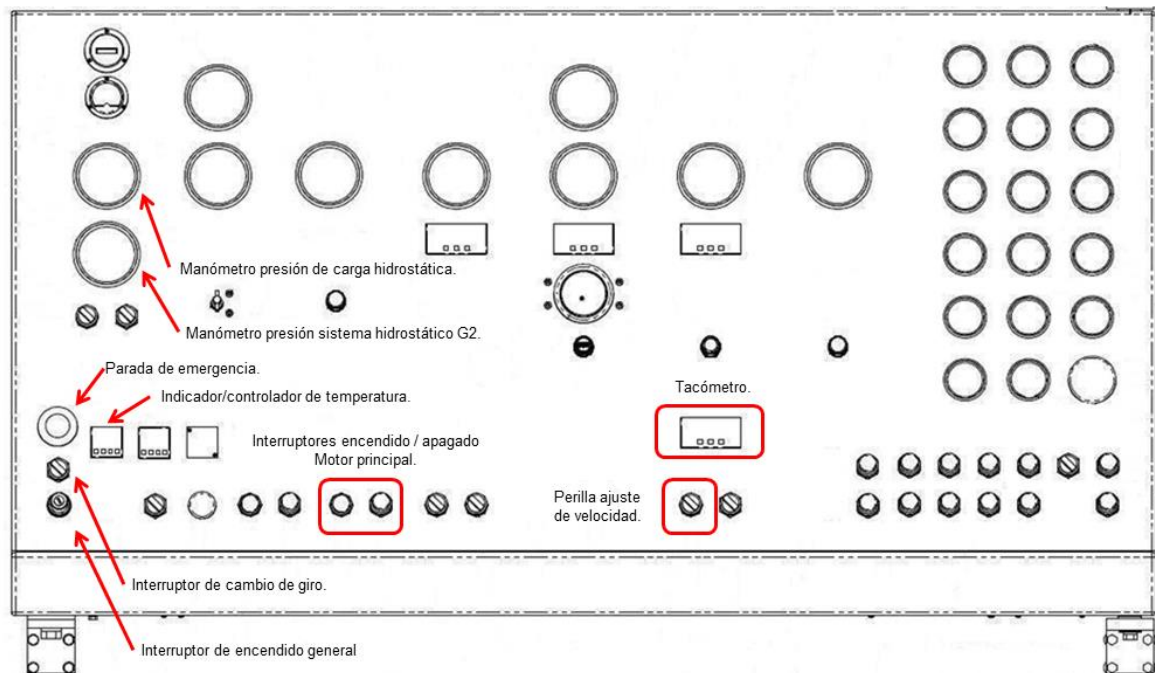


Los componentes que hacen parte del sistema de propulsión hidrostático son los siguientes:

- Tanque hidrostático.
- Motor principal.
- Bomba hidrostática.

- Motor hidrostático.
- Interruptor de control de dirección de giro.
- Perilla de ajuste de velocidad.
- Tacómetro.
- Enfriador de aceite del sistema hidrostático.
- Interruptor de encendido del motor principal.
- Interruptor de apagado del motor principal.
- Manómetro de presión de carga hidrostática.
- Manómetro de presión del sistema hidrostático G2.
- Indicador controlador de temperatura del tanque hidrostático.
- Indicador de bajo nivel del tanque hidrostático.
- Indicador de obstrucción de filtro del sistema hidrostático.
- Interruptor de parada de emergencia.
- Filtro de carga hidrostática.
- Válvulas de cierre manual.
- Válvula de control de dirección motor hidrostático.
- Válvula piloto de control de dirección de giro.

Figura 12. Instrumentación del sistema de propulsión hidrostático.



6.4 SISTEMAS DE SUMINISTRO DE ACEITE.

El banco de pruebas hidráulico AIDCO 900C cuenta con siete sistemas para el suministro de aceite hacia los diferentes a los componentes sometidos a prueba, los cuales se describen a continuación.

6.4.1 Sistema de suministro de la bomba auxiliar. Este sistema a pesar de que es llamado como sistema de suministro de la bomba auxiliar, en realidad es el sistema de suministro de aceite utilizado para la mayoría de los componentes que se pueden probar en el banco hidráulico AIDCO 900C.

Los componentes que hacen parte del sistema de suministro de la bomba principal son los siguientes:

- Tanque principal.
- Motor principal.

- Bomba auxiliar.
- Manómetro G4.
- Flujómetro FM2.
- Perilla de ajuste de caudal.
- Perilla de ajuste de presión.
- Electroválvula de control de caudal.
- Electroválvula de control de presión.
- Indicador de bajo nivel del tanque principal.
- Indicador de alto nivel del tanque principal.

Este sistema cuenta con una bomba hidráulica de pistones de circuito abierto de desplazamiento variable que proporciona un caudal aproximadamente de 0 – 84 GPM a una presión de suministro de hasta 6.090 PSI a los componentes sometidos a prueba. La bomba va acoplada al motor principal del banco hidráulico, es decir, que al momento de encender el motor principal del equipo, el sistema está disponible para proporcionar aceite a los componentes en prueba.

Para realizar el ajuste del caudal y de presión de suministro de aceite para los componentes en prueba, el sistema cuenta con unas perillas de ajuste de caudal y otra de ajuste de presión localizadas en el panel de instrumentos. Al momento de activar las perillas, son accionadas una solenoide de control de caudal y una de control de presión ubicadas en la bomba del sistema, para de este modo el operador pueda realizar los ajustes según las especificaciones de prueba de los diferentes componentes.

El sistema de suministro de la bomba auxiliar cuenta con un manómetro G4 y un flujómetro FM2, para el monitoreo del caudal y la presión del aceite que se proporciona a los componentes en prueba. Estos dos medidores están localizados en el panel de instrumentos del equipo.

Figura 13. Instrumentación del sistema de suministro de la bomba auxiliar.

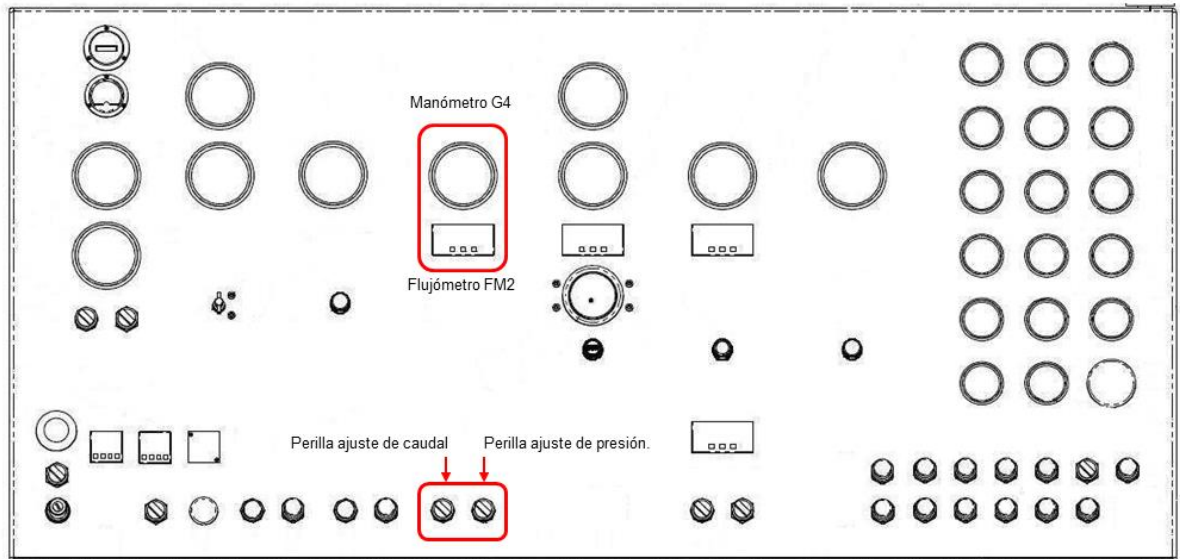


Figura 14. Diagrama del sistema de suministro de la bomba auxiliar.

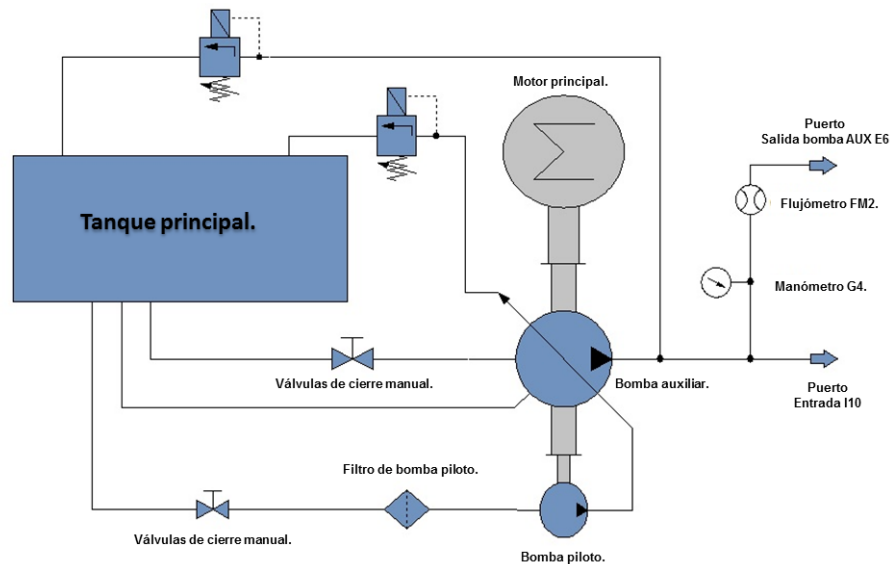
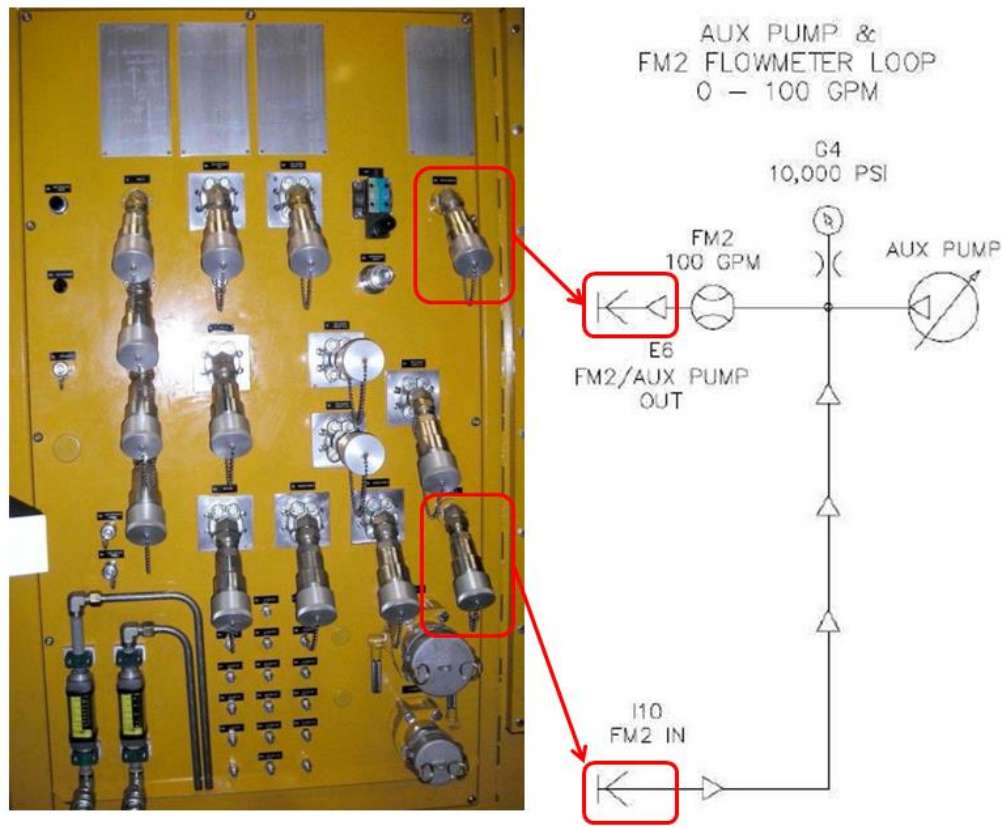


Figura 15. Acoples del sistema de suministro de la bomba auxiliar.



6.4.2 Sistema de suministro de supercarga. Este circuito sirve para suministrarle aceite a componentes en los cuales el caudal necesario para la prueba no sea controlada, pero por otro lado la presión del suministro de aceite si necesita ser controlado. Básicamente este circuito sirve para probar algunos de los tipos de válvula de transmisiones Caterpillar en las que para probarlas solamente es necesaria la presión de suministro más no la del caudal.

Este circuito cuenta con una bomba hidráulica, la cual va acoplada al motor principal del banco, es decir, al momento de encender el motor principal inmediatamente esta bomba entra en funcionamiento. El circuito cuenta con una válvula reguladora de presión y un manómetro para poder visualizar la presión del circuito durante la prueba. Estos dos componentes del circuito de supercarga están ubicados en el panel de instrumento del banco hidráulico.

Los componentes que hacen parte del sistema de propulsión hidrostático son los siguientes:

- Tanque principal.
- Motor principal.
- Bomba de supercarga.
- Manómetro de presión de bomba de supercarga.
- Válvula de ajuste de carga C5.
- Puerto de suministro de supercarga S6.

Figura 16. Diagrama del sistema de suministro de supercarga.

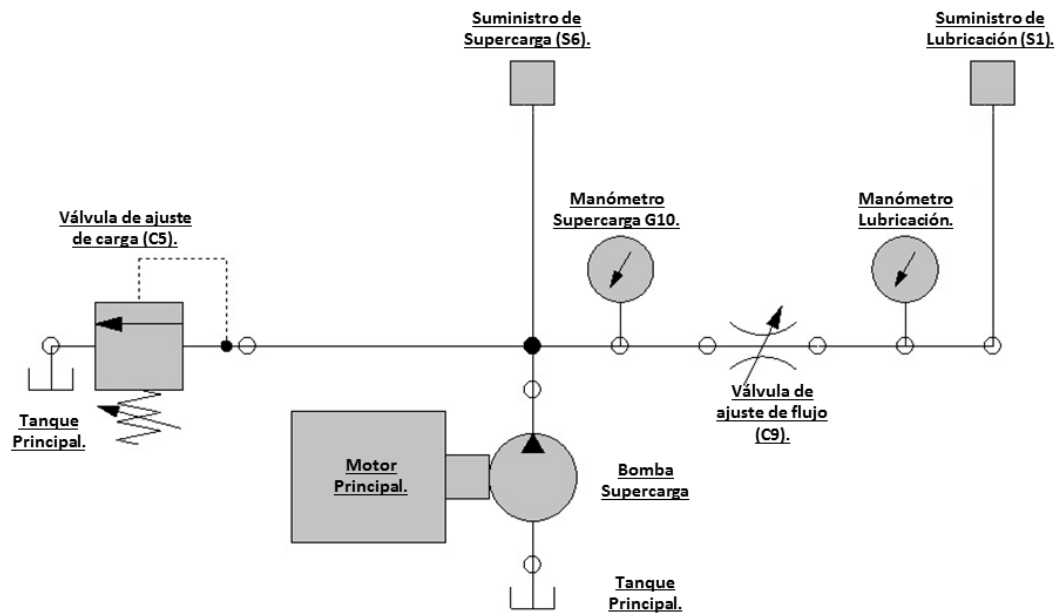
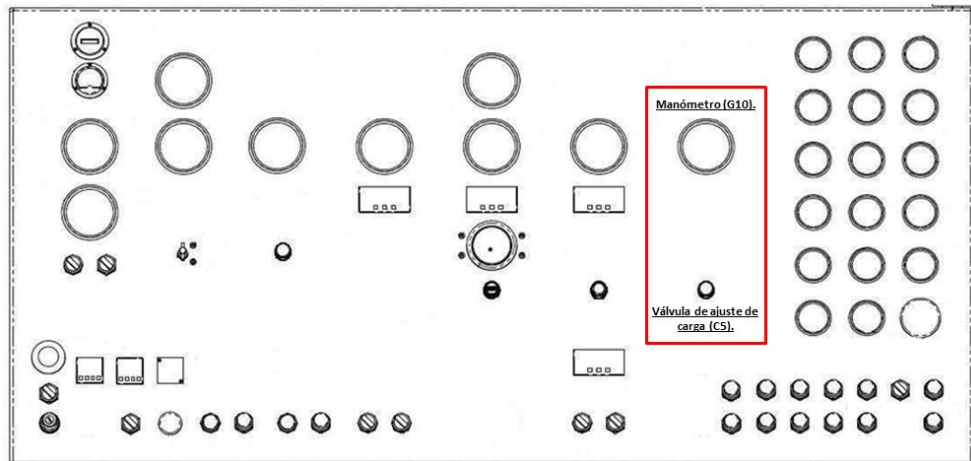


Figura 17. Panel de instrumentos del sistema de supercarga.



En el panel de conexiones y acoples de prueba se encuentra un puerto de salida de aceite por el cual la bomba de supercarga suministra el caudal al componente en prueba (Suministro Supercarga S6).

Figura 18. Puerto de suministro de supercarga S6.



6.4.3 Sistema de suministro de lubricación. El sistema de suministro de lubricación del banco de pruebas, es una derivación del sistema de supercarga debido a que comparten la misma bomba. El sistema es utilizado para lubricar las partes móviles de los componentes en prueba donde es necesario evitar el desgaste de partes por ausencia de un sistema de lubricación interno.

El sistema utiliza una derivación de la bomba de supercarga, la cual proporciona un suministro de aceite con un caudal de 0-8 GPM (30 L/min) a una presión de trabajo de 0-65 psi (4 bar) a los componentes sometidos a prueba.

La presión suministro puede ser regulada usando la válvula de ajuste de carga C5 localizada en el panel de instrumentos. La presión del circuito puede ser leída en el manómetro de presión de lubricación localizado dentro del grupo de indicadores de presión de componentes en prueba.

En el panel de acoples y conexiones del banco hidráulico se localizan la válvula de ajuste de flujo C9 y el puerto de suministro de lubricación S1.

Los componentes que hacen parte del sistema son los siguientes:

- Tanque principal.
- Motor principal.
- Bomba de supercarga.
- Manómetro de presión de lubricación.
- Válvula de ajuste de carga C5.
- Válvula de ajuste de flujo C9.
- Puerto de suministro de lubricación S1.

Figura 19. Panel de instrumentos del sistema de suministro de lubricación.

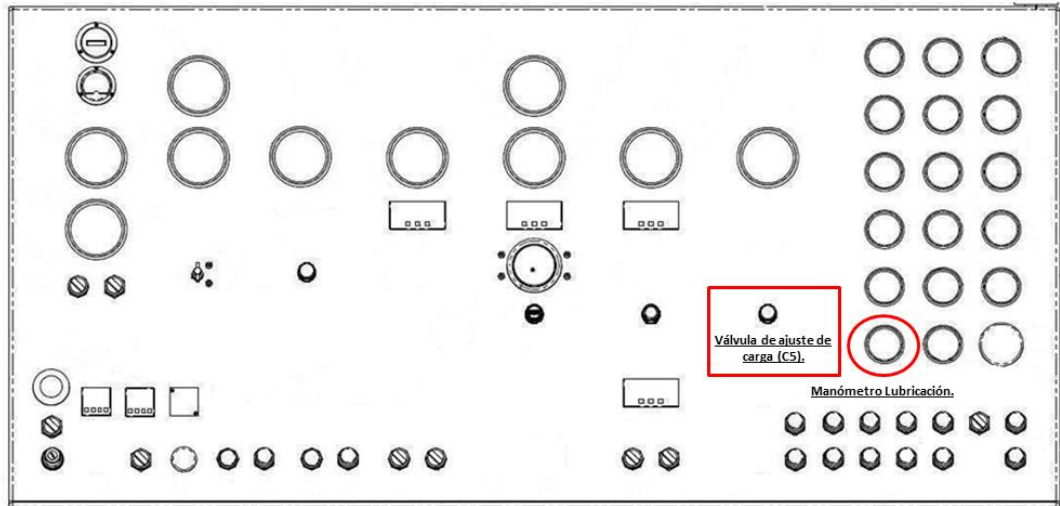


Figura 20. Acople del circuito Piloto/Levante.



6.4.4 Sistema de suministro del motor de alta presión. El banco hidráulico cuenta con una bomba de alta presión la cual es impulsada por un motor eléctrico independiente, ubicado en la parte trasera del motor principal del banco hidráulico. El sistema de suministro de alta presión cumple las siguientes funciones.

- **Circuito de alta presión.**

El circuito de alta presión cuenta con una bomba de caudal fijo que proporciona aproximadamente 0–3.6 GPM a una presión de trabajo hasta de 7.200 PSI, utilizada para pruebas de cilindros hidráulicos pequeños o válvulas de alivio.

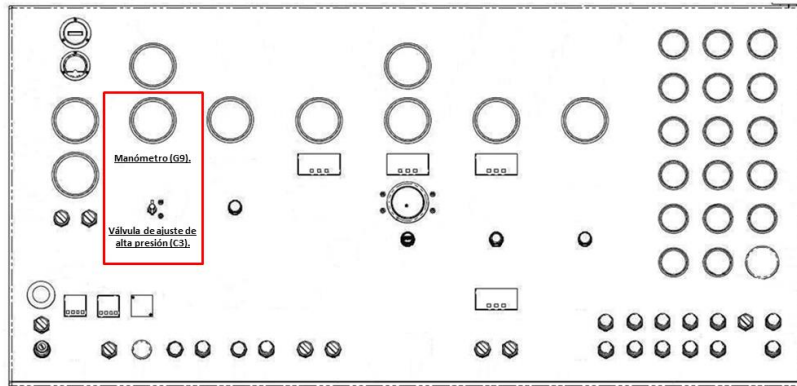
El circuito tiene un motor eléctrico independiente para su funcionamiento, el cual no requiere que el motor principal del banco de pruebas este encendido para que funcione.

Este circuito no tiene un método de control de flujo o medición de flujo para la prueba de los componentes. Pero por otro lado, la presión de suministro puede ser ajustada utilizando la válvula de ajuste de alta presión C3 ubicada en el panel de instrumentos del equipo y puede ser leída en el manómetro de alta presión G9.

Los componentes que hacen parte del sistema son los siguientes:

- Tanque principal.
- Motor de alta presión.
- Bomba de alta presión.
- Interruptor de encendido del motor de alta presión.
- Interruptor de apagado del motor de alta presión.
- Válvula de ajuste de alta presión C3.
- Manómetro de alta presión G9.
- Puerto de suministro de alta presión S2.

Figura 21. Panel de instrumentos del circuito de alta presión.



El puerto de suministro de aceite del circuito de alta presión del canco de pruebas es el identificado como Suministro de Alta Presión S2.

Figura 22. Acople del circuito de alta presión.

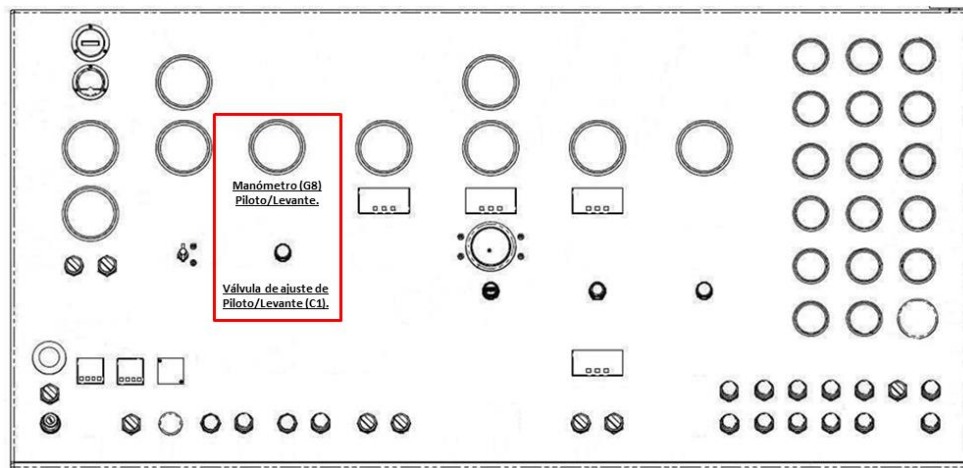


- **Circuito Piloto/Levante.**

Este circuito es una derivación del circuito de alta presión, ya que para su funcionamiento utiliza el flujo de la bomba de Alta Presión, la cual proporciona un suministro de aceite con un caudal de 0–3.6 GPM a una presión de hasta 800 PSI a los componentes sometidos a prueba.

El circuito Piloto/Levante no tiene un método para el control ni medición del flujo de aceite que se le suministra a los componentes en prueba. La presión suministro puede ser regulada usando la válvula de ajuste Piloto/Levante C1 localizada en el panel de instrumentos. La presión del circuito puede ser leída en el manómetro de presión Piloto/Elevación G8.

Figura 23. Panel de instrumentos del circuito Piloto/Levante.



Los componentes que hacen parte del sistema son los siguientes:

- Tanque principal.
- Motor de alta presión.
- Bomba de alta presión.
- Interruptor de encendido del motor de alta presión.
- Interruptor de apagado del motor de alta presión.
- Válvula de ajuste de alta presión C3.

- Manómetro de alta presión G9.
- Válvula de ajuste Piloto/Levante C1.
- Manómetro de presión Piloto/Elevación G8.
- Puerto de suministro piloto/levante S3.

El puerto de suministro de aceite para los componentes que se pueden probar con el circuito Piloto/Levante está identificado en el panel de acoples y conexiones como Suministro de Bomba S3.

Figura 24. Acople del circuito Piloto/Levante.



6.4.5 Succión de bomba. El banco de pruebas cuenta con dos puertos de succión de aceite desde el tanque principal, los cuales pueden ser utilizados para la

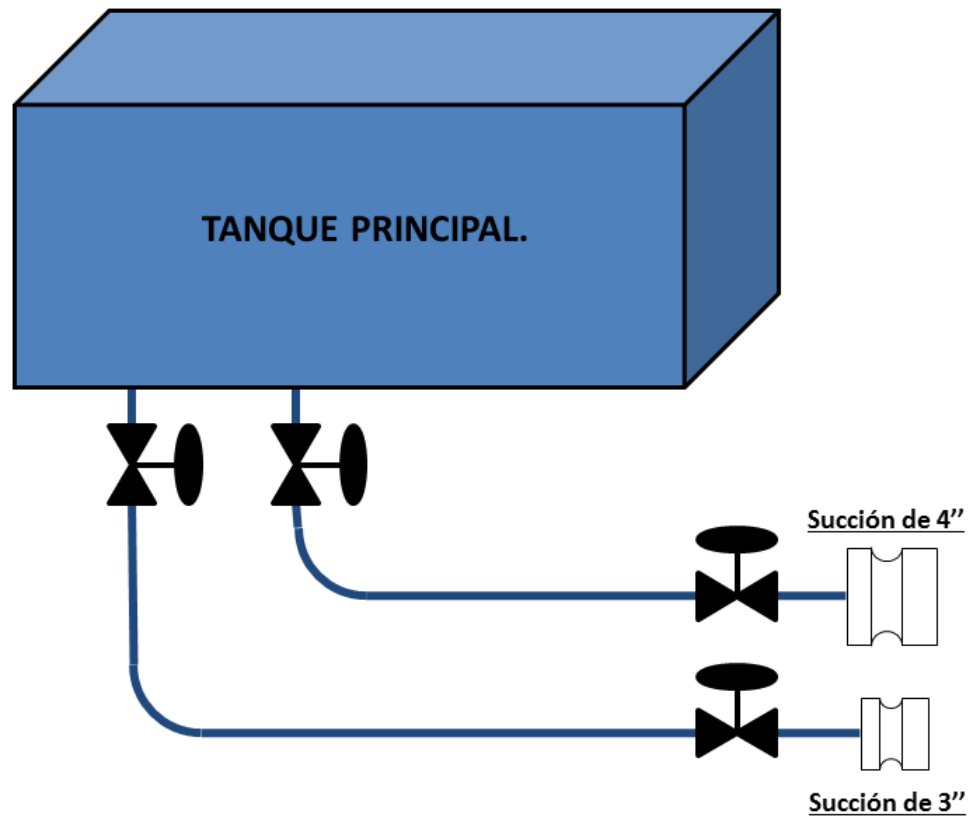
prueba de componentes que necesitan una fuente de suministro directamente desde tanque.

Un ejemplo de componentes que necesitan de este tipo de puertos son las bombas hidráulicas, ya que para la realización de una prueba hidráulica de desempeño, necesitan de un punto de succión desde tanque (succión 3" y succión 4") más un movimiento de entrada (proporcionado por el sistema de propulsión hidrostático), para la bomba pueda colocarse en funcionamiento.

Figura 25. Acoples de succión de 3" y 4" desde tanque principal.



Figura 26. Circuito de succión de 3" y 4" desde tanque principal.

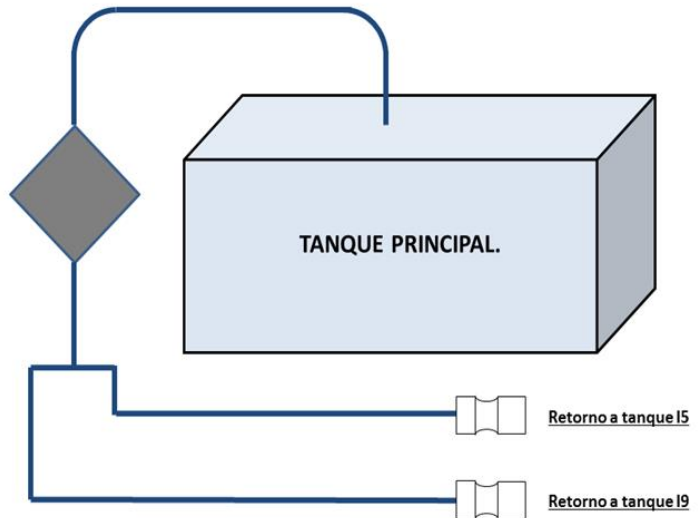


6.5 SISTEMAS DE RETORNO A TANQUE PRINCIPAL.

6.5.1 Circuitos de retorno a tanque. El banco de pruebas hidráulico tiene dos puertos localizados en el panel de acoples y conexiones, que pueden ser utilizados como retornos a tanque principal.

A través de estos puertos (I5 y I9) el flujo de aceite que sale de los componentes sometidos a pruebas es devuelto al tanque de almacenamiento principal pasando primero por una malla de filtrado para prevenir la contaminación del depósito.

Figura 27. Puertos de retorno a tanque principal I5 y I9.



6.5.2 Sistema de bomba de sumidero. Este sistema es el encargado de retornar el aceite que durante la prueba de los diferentes componentes en el banco hidráulico, es drenado y depositado en el sumidero de la plataforma de prueba.

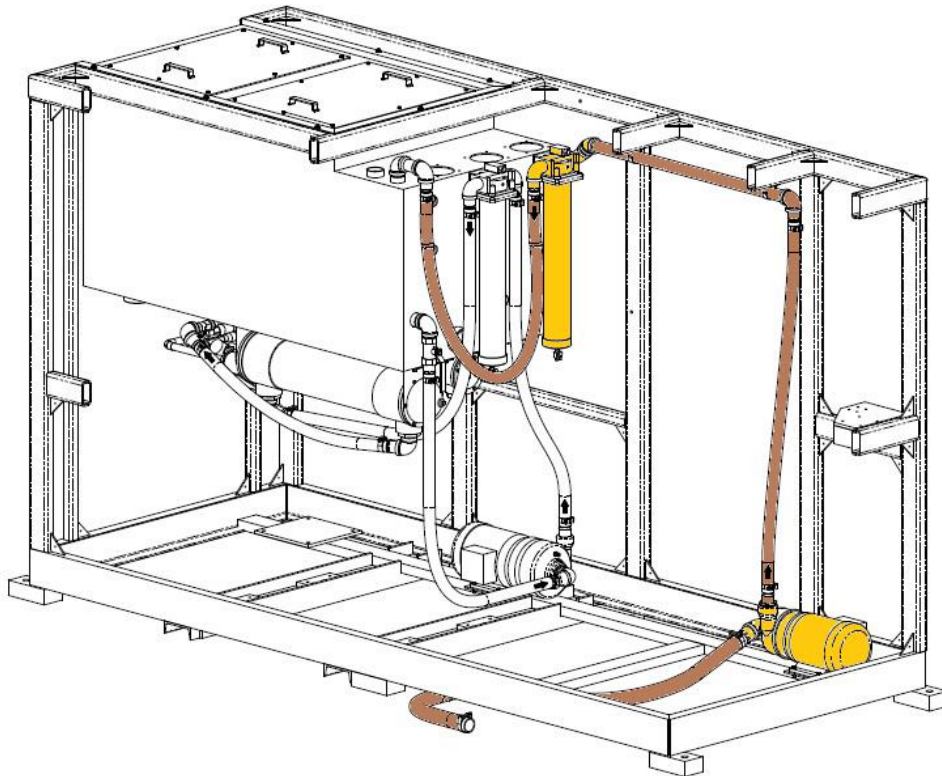
El sumidero de la plataforma de prueba cuenta con un interruptor de bajo nivel y uno de alto nivel de aceite. Cuando el nivel de aceite que es drenado en el sumidero alcanza su nivel máximo, automáticamente se enciende el motor de la bomba del sumidero para enviar el aceite al tanque principal del banco hidráulico, pasando primero por el filtro del sumidero, para de esta manera retener las partículas contaminantes.

Luego de que el aceite drenado en el sumidero de la plataforma de prueba del banco hidráulico ha llegado al nivel mínimo, el motor de la bomba de sumidero se apaga automáticamente.

El ciclo de trabajo de la bomba de sumidero se repite en forma cíclica durante la operación del banco, para evitar que se produzca un derrame de aceite por un

exceso de nivel. Este sistema opera también mientras el banco de pruebas está apagado, ya que es posible que alguna de las válvulas de los otros sistemas del equipo quede abierta ocasionando una fuga de aceite, y como medida de seguridad la bomba de sumidero se acciona de forma automática para prevenir un derrame.

Figura 28. Sistema de bomba de sumidero.



Los componentes que hacen parte del sistema de bomba de sumidero son los siguientes:

- Tanque principal.
- Motor de sumidero.
- Bomba de sumidero.
- Filtro de aceite sistema de sumidero.
- Indicador de obstrucción del filtro del sistema de sumidero.

- Depósito de aceite de la plataforma de prueba.
- Interruptor de bajo nivel de aceite.
- Interruptor de alto nivel de aceite.
- Interruptor/indicador de encendido del motor de sumidero.

6.6 CIRCUITOS DE DIAGNÓSTICO DE RECIRCULACIÓN.

El banco hidráulico cuenta con dos circuitos los cuales son usados para que circule el aceite que proviene de los componentes en prueba y de este modo simular restricciones hidráulicas a través de válvulas de ajuste de presión, realizar ajustes de caudal, monitorear las presiones del circuito, monitorear el caudal del circuito.

6.6.1 Circuito de recirculación FM3. Los componentes que hacen parte del circuito de recirculación FM3 son los siguientes:

- Puerto de entrada FM3 (I1).
- Puerto de presión de margen (I4).
- Puerto de entrada válvula de flujo (I2).
- Manómetro (G5).
- Válvula de ajuste de flujo (C8).
- Flujómetro FM3.
- Manómetro (G11).
- Manómetro (G6).
- Válvula de ajuste de carga (C6).
- Puerto de salida válvula de carga (E1).
- Puerto de salida FM3 (E2).

Figura 29. Acoples del circuito de recirculación FM3.

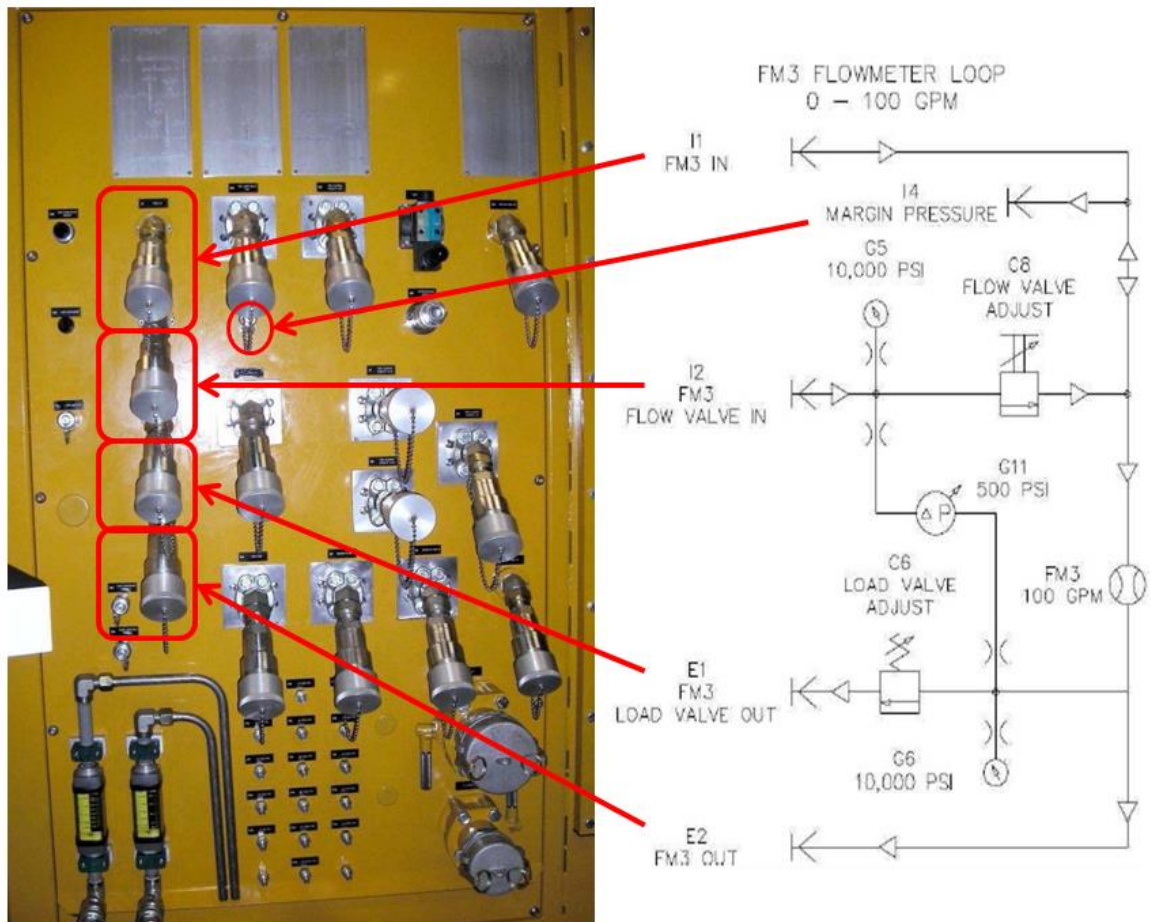
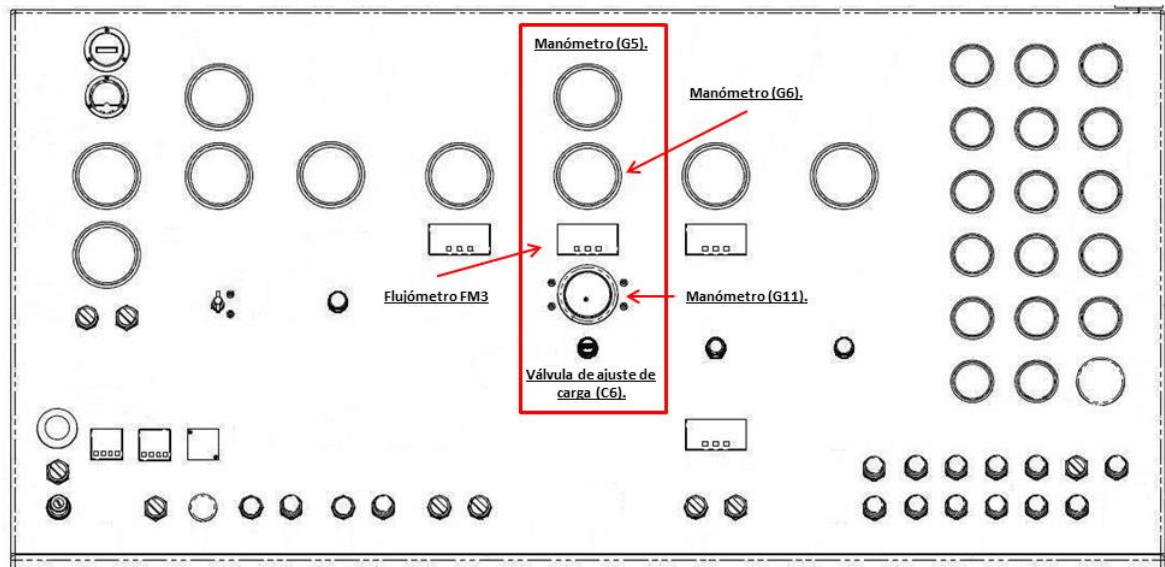


Figura 30. Panel de instrumentos del circuito de recirculación FM3.



6.6.2 Circuito de recirculación FM4. Los componentes que hacen parte del circuito de recirculación FM4 son los siguientes:

- Puerto de entrada FM4 (I3).
- Manómetro (G7).
- Flujómetro FM4.
- Válvula de ajuste de carga (C7).
- Puerto de salida válvula de carga (E3).
- Puerto de salida FM4 (E4).

Figura 31. Acoples del circuito de recirculación FM4.

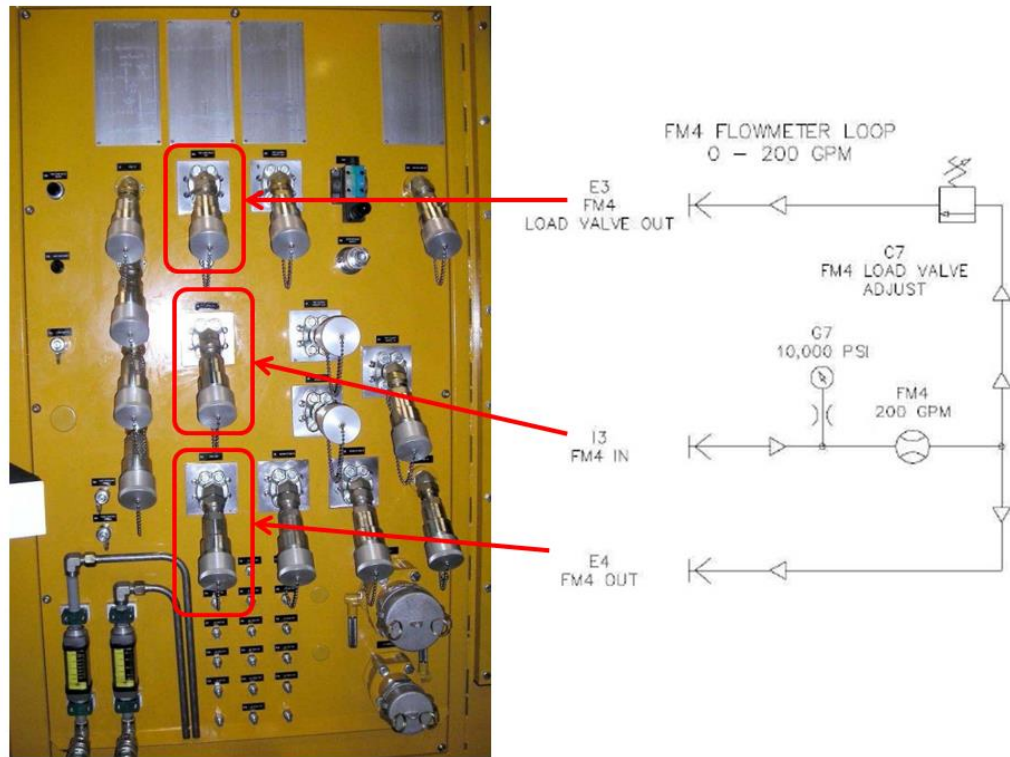
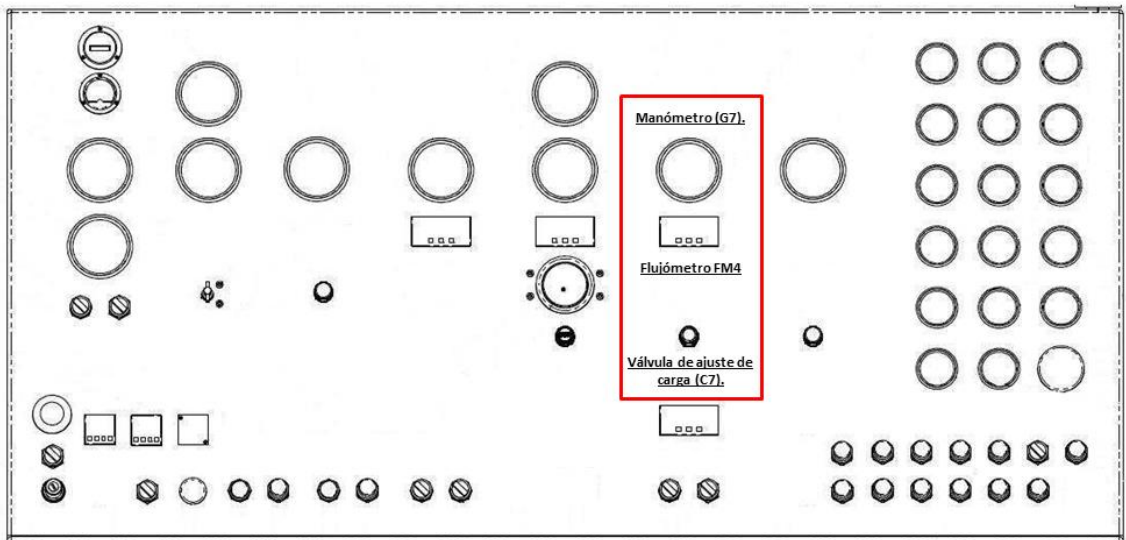


Figura 32. Panel de instrumentos del circuito de recirculación FM4.



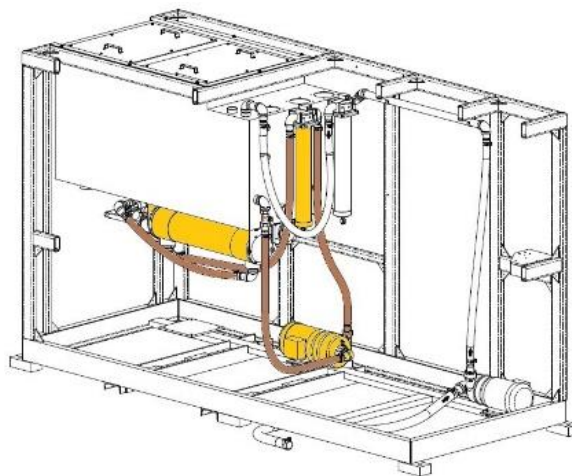
6.7 SISTEMA DE DIÁLISIS.

Este circuito es utilizado para limpiar el aceite que está depositado en el tanque principal del banco hidráulico, es decir, toma el aceite del tanque la bombea hacia el filtro para limpiarlo luego lo pasa por un enfriador de aceite y lo retorna al tanque principal. Para poder encender el motor principal del banco hidráulico es necesario que el circuito de diálisis se encienda de lo contrario el motor principal no enciende.

Los componentes que hacen parte del sistema de diálisis son los siguientes:

- Tanque principal.
- Motor de diálisis.
- Bomba de diálisis.
- Filtro de aceite sistema de diálisis.
- Indicador luminoso de obstrucción de filtro del sistema.
- Enfriador de aceite del sistema de diálisis.
- Interruptor de encendido del motor de diálisis.
- Indicador luminoso de encendido del motor de diálisis.

Figura 33. Sistema de diálisis.



6.8 SISTEMA DE ELEVACIÓN DE EJE CARDÁN.

El cambio de posición del eje cardán del sistema de propulsión hidrostática del banco de pruebas hidráulico, hace parte del sistema de suministro de la bomba de alta presión. Este sistema es una derivación del circuito piloto quien a su vez también es una derivación del circuito de alta presión, ya que para su funcionamiento utiliza el flujo de la bomba de Alta Presión, la cual proporciona un suministro de aceite con un caudal de 0–3.6 GPM a una presión de hasta 800 PSI, que sirve para suministrar aceite al motor hidráulico que acciona el mecanismo de poleas y guaya, por medio del cual se cambia de posición la altura del eje cardán de salida de movimiento de los componentes en prueba.

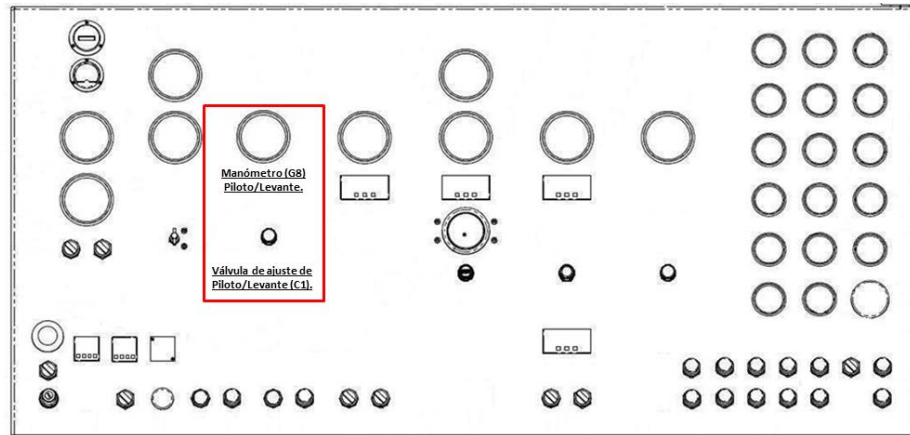
Los componentes que hacen parte del sistema son los siguientes:

- Tanque principal.
- Motor de alta presión.
- Bomba de alta presión.
- Interruptor de encendido del motor de alta presión.
- Interruptor de apagado del motor de alta presión.
- Válvula de ajuste de alta presión C3.
- Manómetro de alta presión G9.
- Válvula de ajuste Piloto/Levante C1.
- Manómetro de presión Piloto/Elevación G8.
- Válvula direccional de elevación eje cardán.
- Motor hidráulico de elevación del motor hidrostático.
- Guaya de elevación.
- Poleas sistema de elevación.
- Soporte de motor hidráulico del sistema hidrostático.

La presión de suministro del circuito de levante puede ser regulada usando la

válvula de ajuste Piloto/Levante C1, y la presión de trabajo del circuito puede ser leída en el manómetro de presión Piloto/Elevación G8. Ambos elementos de este circuito se encuentran localizados en el panel de instrumentos del banco de pruebas.

Figura 34. Panel de instrumentos del circuito Piloto/Levante.



El accionamiento del motor hidráulico del mecanismo de cambio de posición del eje cardán del sistema de propulsión hidrostático, se realiza moviendo la palanca de la válvula direccional de elevación, localizada en el panel de acoples y conexiones del banco de pruebas hidráulico.

Figura 35. Componentes del sistema de elevación del eje cardán.

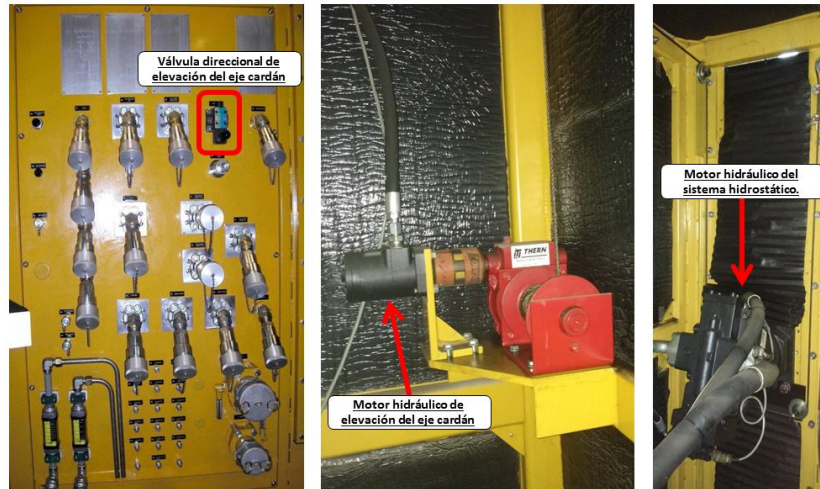
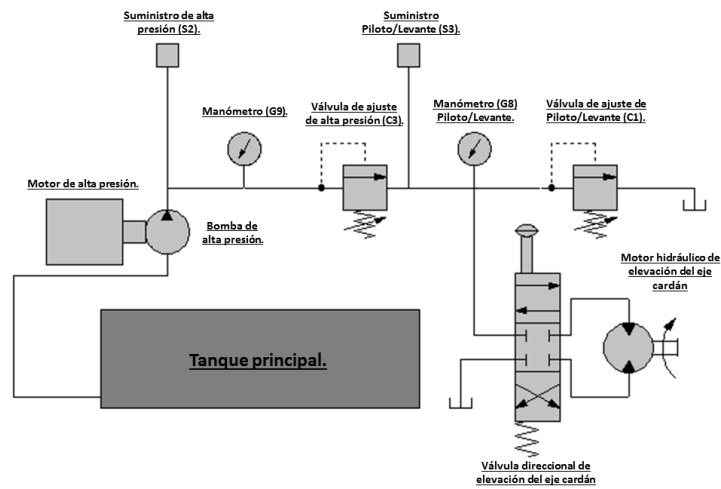


Figura 36. Circuito del sistema de suministro de la bomba de alta presión.



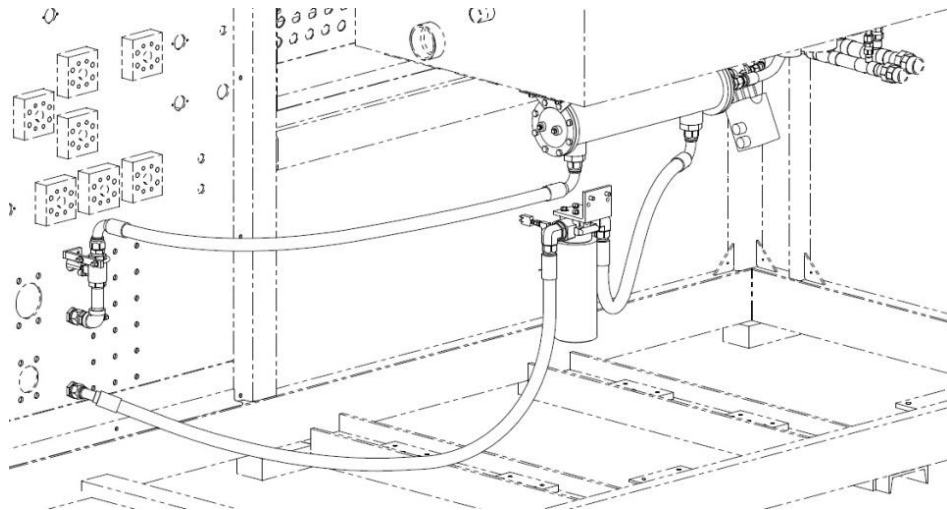
6.9 CIRCUITO DEL ENFRIADOR DE ACEITE OPCIONAL.

Este circuito se puede utilizar en el caso de que alguno de los componentes en prueba requiera de bajar la temperatura de trabajo del aceite que se está utilizando para esta. Para usar el circuito simplemente se debe hacer la conexión del componente en prueba al puerto de entrada y salida de este para que el aceite circule por el enfriador de aceite opcional.

Los componentes que hacen parte del circuito del enfriador de aceite opcional son los siguientes:

- Puertos de conexión.
- Filtro del enfriador de aceite.
- Enfriador de aceite opcional.
- Válvula de cierre.
- Control / Indicador de temperatura.

Figura 37. Circuito del enfriador de aceite opcional.



6.10 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL BANCO HIDRÁULICO.

El banco de pruebas cuenta con un sistema de enfriamiento destinado a evitar el recalentamiento de los diferentes componentes del equipo, manteniendo bajo condiciones óptimas de operación la temperatura del aceite del tanque principal, el tanque hidrostático, y el circuito del enfriador de aceite.

Básicamente el sistema consiste en hacer circular un flujo de refrigerante a través de tres enfriadores de aceite localizados en la parte inferior del tanque principal del

banco de pruebas. Cada uno de los enfriadores tiene una electroválvula de cierre que es accionada por el controlador/indicador de temperatura correspondiente al circuito donde va instalado el enfriador de aceite.

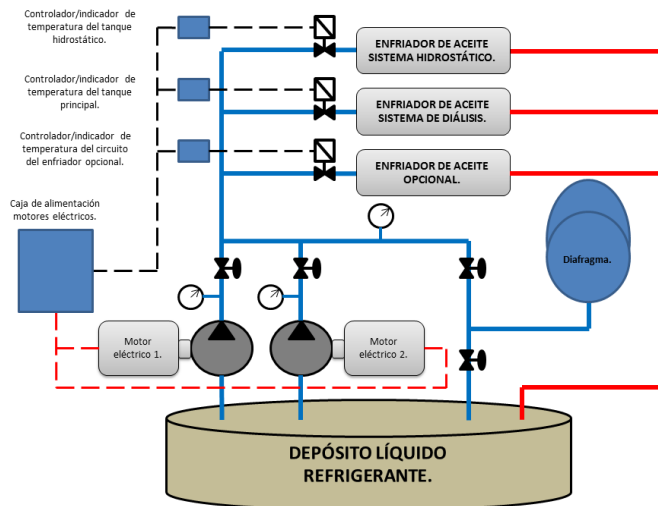
Cuando la temperatura de operación del aceite de los diferentes circuitos que hacen parte del sistema de enfriamiento, llega al valor de ajuste para la protección por temperatura del equipo, el controlador/indicador de temperatura enciende de forma automática los motores del sistema de enfriamiento, y además, envía una señal eléctrica a la electroválvula de cierre que corresponde al enfriador de aceite del circuito que presenta la condición de alta temperatura de aceite. De esta manera el refrigerante va a circular por el enfriador o enfriadores que presentan la condición de alta temperatura de aceite.

Los componentes que hacen parte del sistema de enfriamiento del banco de pruebas hidráulico son los siguientes:

- Controlador/indicador de temperatura del tanque principal.
- Controlador/indicador de temperatura del tanque hidrostático.
- Controlador/indicador de temperatura del circuito del enfriador opcional.
- Enfriador de aceite del sistema de diálisis.
- Enfriador de aceite del sistema de propulsión hidrostático.
- Enfriador de aceite del circuito del enfriador opcional.
- Electroválvula de cierre del enfriador de aceite del sistema de diálisis.
- Electroválvula de cierre del enfriador de aceite del sistema de propulsión hidrostático.
- Electroválvula de cierre del enfriador de aceite del circuito del enfriador opcional.
- Depósito de refrigerante.
- Motor eléctrico 1.

- Motor eléctrico 2.
- Bomba centrífuga 1.
- Bomba centrífuga 2.
- Manómetro presión bomba 1.
- Manómetro presión bomba 2.
- Manómetro presión línea.
- Diafragma.
- Válvulas de cierre.

Figura 38. Diagrama del sistema de enfriamiento.



6.11 INDICADORES DE PRESIÓN DE COMPONENTES EN PRUEBA.

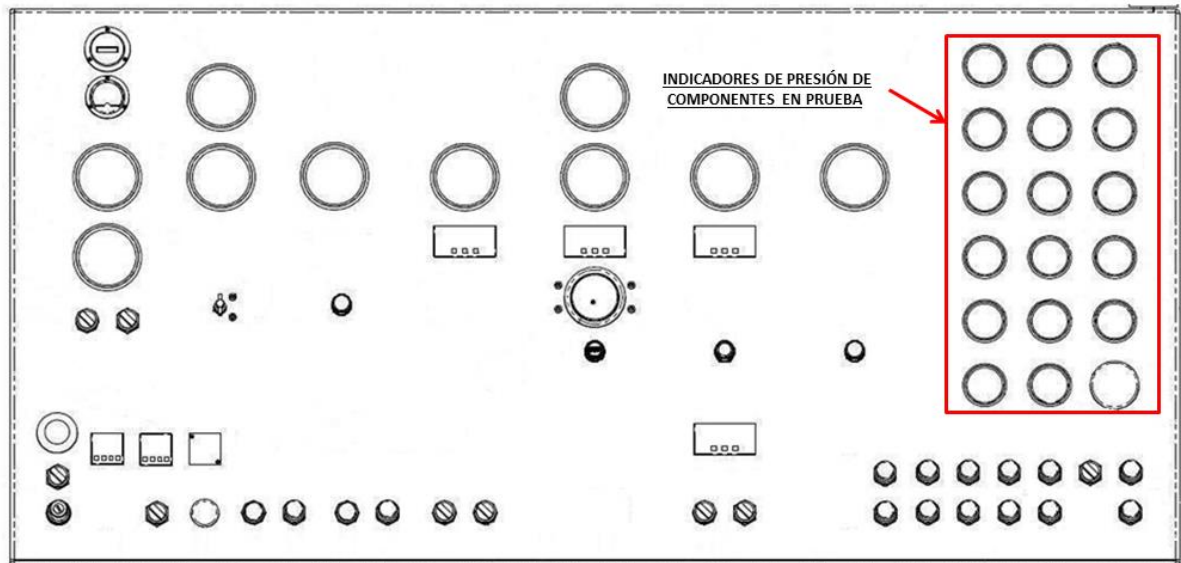
El banco de pruebas tiene manómetros para la medición de presiones de trabajo de los diferentes componentes de equipos mineros, los cuales tienen acoples rápidos de toma de presión, localizados en la parte inferior del panel de acoples y conexiones del equipo. Cada uno de los puntos de toma de presión está etiquetado para que sean diferenciados unos entre otros, y cuentan con su manómetro análogo etiquetado en el mismo orden en el panel de instrumentos.

Los manómetros tienen rangos de medición diferentes para que puedan ser utilizados de acuerdo con las especificaciones de las presiones de trabajo del componente que se desea probar.

Figura 39. Localización de puertos de toma de presión.



Figura 40. Localización de los manómetros de componentes en prueba.



6.12 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEL BANCO HIDRÁULICO AIDCO 900C.

Para realizar el estudio del análisis de criticidad del banco de pruebas hidráulico AIDCO 900C, se utilizó el modelo de factores ponderados basado en el concepto del riesgo. Un modelo bastante preciso y sencillo que permite identificar los sistemas o equipos de criticidad alta, media o baja. Debido a su diversidad de criterios durante su desarrollo es perfecto para empresas que se están fundamentando en mejorar la calidad, producción y seguridad industrial.

El sistema del análisis de criticidad cuantifica la frecuencia de falla y la criticidad, teniendo en cuenta unos criterios de estudio que permiten identificar el impacto de las fallas en los equipos y la frecuencia con la que se evidencian, todo esto con el fin de intervenir para establecer rutinas, tareas o planes de mantenimiento en las áreas que más se ven afectadas o que generan mayor repercusión en los objetivos de confiabilidad o funcionabilidad de los sistemas.

Para alcanzar la criticidad de los sistemas en el equipo AIDCO 900C, es necesario realizar el estudio de los siguientes factores:

FRECUENCIA DE FALLAS (FF): Es la frecuencia a la cual falla el equipo, es decir cuando ocurre una parada total del sistema y es imposible seguir operando. Es medida en número de fallas por año. Los criterios para la ponderación de este factor se muestran en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 2. Ponderación del factor (frecuencia de falla).

CRITERIOS	PUNTAJE
No más de 1 por año	1
Entre 2 y 5 por año	2
Entre 6 y 10 fallas por año	3
Entre 11 y 15 fallas por años	4
Más de 15 por año	5

TIEMPO PROMEDIO DE REPARACIÓN (TPR): Lapso de tiempo que ocurre desde que el equipo falla hasta que recupere su función operacional. Este tiempo esta medido en HORAS. Los criterios para la ponderación de este factor se muestran en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 3. Ponderación del factor (tiempo promedio de reparación).

CRITERIOS	PUNTAJE
Menos de 4 horas	1
Entre 4 y 8 horas	2
Entre 8 y 24 horas	3
Entre 24 y 28 horas	4
Más de 48 horas	5

IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN (IP): Hace referencia a la importancia que tiene el sistema o el equipo con respecto a la producción si se perdiera parcial o totalmente la capacidad de su función. Este factor se mide porcentualmente dependiendo de que tanto pueda ser afectada la producción. Los criterios para la ponderación de este factor se muestran en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 4. Ponderación del factor (impacto sobre la producción).

CRITERIOS	PUNTAJE
No afecta la producción	0,05
25% de impacto	0,3
50% de impacto	0,5
75% de impacto	0,8
La afecta totalmente	1

COSTOS DE REPARACIÓN (CR): Es el costo aproximado que se requiere para que el sistema o equipo vuelva a su función operativa después de que este falle. La valoración del costo esta desde 1 millón hasta más de 30 millones. Los criterios para la ponderación de este factor se muestran en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 5. Ponderación del factor (costos de reparación).

CRITERIOS	PUNTAJE
Entre 1 y 10 millones	3
Entre 10 y 20 millones	5
Entre 20 y 30 millones	10
Más de 30 millones	20

IMPACTO EN SEGURIDAD, AMBIENTE E HIGIENE (ISAH): Incorpora todas las posibilidades en las cuales se afecte la infraestructura, la seguridad humana o el medio ambiente, dependiendo de qué tan alto sea la importancia de su impacto se le asigna una puntuación que va desde el 1 hasta el 8, siendo el número 8 la más grave. Los criterios para la ponderación de este factor se muestran en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 6. Ponderación del factor (impacto en seguridad, ambiente e higiene).

CRITERIOS	PUNTAJE
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Afecta ambiente/instalaciones	7
Afecta instalación causando daños severos	5
Provoca daños menores (ambiente y seguridad)	3

No provoca ningún tipo de daño personas, instalaciones o ambiente

1

Los factores descritos se evalúan siguiendo las tablas anteriores, donde cada uno de ellos se divide en varios criterios, a través de los cuales se obtiene la puntuación final del análisis. El resultado obtenido al final del ejercicio, permite realizar la valoración de los diferentes sistemas del banco hidráulico mediante un método cuantitativo, para que por medio de este resultado, se definan con claridad cuáles son los sistemas críticos del equipo.

$$\text{CRITICIDAD} = \text{FRECUENCIA FALLA} \times \text{CONSECUENCIA}$$

Donde

$$\text{CONSECUENCIA} = \text{A} + \text{B}$$

$$\text{A} = \text{COSTO REPARACIÓN} + \text{IMPACTO SEGURIDAD, AMBIENTE E HIGIENE}$$

$$\text{B} = \text{IMPACTO PRODUCCIÓN} \times \text{TIEMPO PROMEDIO REPARACIÓN}$$

Teniendo en cuenta que el valor de CRITICIDAD MÁXIMA que se puede obtener de acuerdo con la valoración establecida para los diferentes criterios de los factores es de 165, la criticidad de los diferentes sistemas del banco hidráulico se divide en tres categorías:

- **Sistemas no críticos:** No repercuten de manera importante en el proceso de producción en el momento de la falla.
- **Sistemas medianamente críticos:** Generalmente tienen una importancia media en el proceso de producción y al momento de fallar habitualmente no son necesarios tiempos cortos de reparación, por lo que afecta levemente la calidad de la producción.

- **Sistemas críticos:** Son aquellos que generan una gran pérdida en la producción al momento de fallar, que ocasionan una parada de planta por lo que es de carácter urgente intervenir para recuperar su función principal en la cadena productiva.

6.12.1 Resultado del análisis de criticidad. La figura que se muestra a continuación muestra las tres categorías o niveles de criticidad que se fijaron mediante el procedimiento, mientras la tabla siguiente se observan los resultados obtenidos mediante los factores ponderados del análisis de criticidad.

Figura 41. Categorías y niveles de criticidad.

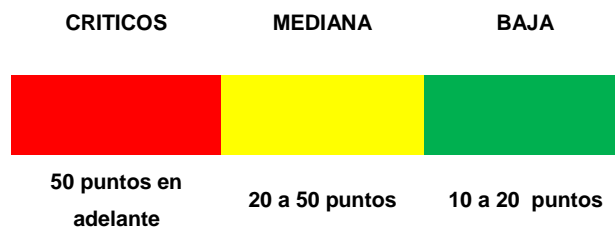


Tabla 7. Datos estadísticos del análisis de criticidad.

ITEM	SISTEMA	FF	TPR	IP	CR	ISAH
1	Sistema de propulsión hidrostático.	3	5	1	10	8
2,1	Sistema de suministro auxiliar.	4	4	1	10	8
2,2	Sistema de suministro de supercarga.	2	2	0,3	5	5
2,3	Sistema de suministro de lubricación.	2	2	0,3	5	5
2,4	Circuito de alta presión.	3	2	0,3	3	5
2,5	Circuito piloto/levante.	2	2	0,3	5	5
2,6	Succión de bomba.	3	1	0,05	5	1
3,1	Circuitos de retorno a tanque.	2	1	0,05	5	1
3,2	Sistema de bomba de sumidero.	6	2	0,5	5	5
4,1	Circuito de recirculación FM4.	3	1	0,05	5	3
4,2	Circuito de recirculación FM3.	3	1	0,05	5	3

5	Sistema de diálisis.	5	1	1	5	5
6	Sistema de elevación de eje cardan.	4	1	0,05	3	3
7	Circuito del enfriador de aceite.	2	3	0,05	5	3
8	Sistema de enfriamiento del banco hidráulico.	4	3	0,5	10	5
9	Indicadores de presión de componentes en prueba.	2	1	0,05	5	3

Tabla 8. Resultados del análisis de criticidad.

ITEM	SISTEMA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
1	Sistema de propulsión hidrostático.	23	69
2,1	Sistema de suministro auxiliar.	22	88
2,2	Sistema de suministro de supercarga.	10,6	21,2
2,3	Sistema de suministro de lubricación.	10,6	21,2
2,4	Circuito de alta presión.	8,6	25,8
2,5	Circuito piloto/levante.	10,6	21,2
2,6	Succión de bomba.	6,05	18,15
3,1	Circuitos de retorno a tanque.	6,05	12,1
3,2	Sistema de bomba de sumidero.	11	66
4,1	Circuito de recirculación FM4.	8,05	24,15
4,2	Circuito de recirculación FM3.	8,05	24,15
5	Sistema de diálisis.	11	55
6	Sistema de elevación de eje cardan.	6,05	24,2
7	Circuito del enfriador de aceite.	8,15	16,3
8	Sistema de enfriamiento del banco hidráulico.	16,5	66
9	Indicadores de presión de componentes en prueba.	8,05	16,1

De la tabla anterior podemos observar los resultados del análisis de criticidad, son cinco los sistemas críticos del banco de pruebas hidráulico AIDCO 900C, cuatro sistemas medianamente críticos e igualmente cuatro sistemas no críticos.

De acuerdo a los resultados obtenidos por el análisis de criticidad, se debe aplicar la metodología del RCM a los sistemas críticos del banco de pruebas, para de esta manera obtener el modelo del plan de mantenimiento del equipo. En la tabla que se muestra a continuación, se pueden observar ordenadamente desde el más crítico hasta el menos crítico, cada uno de los sistemas que conforman el equipo.

Tabla 9. Resultados del análisis de criticidad de mayor a menor.

ITEM	SISTEMA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
2,1	Sistema de suministro bomba auxiliar.	22	88

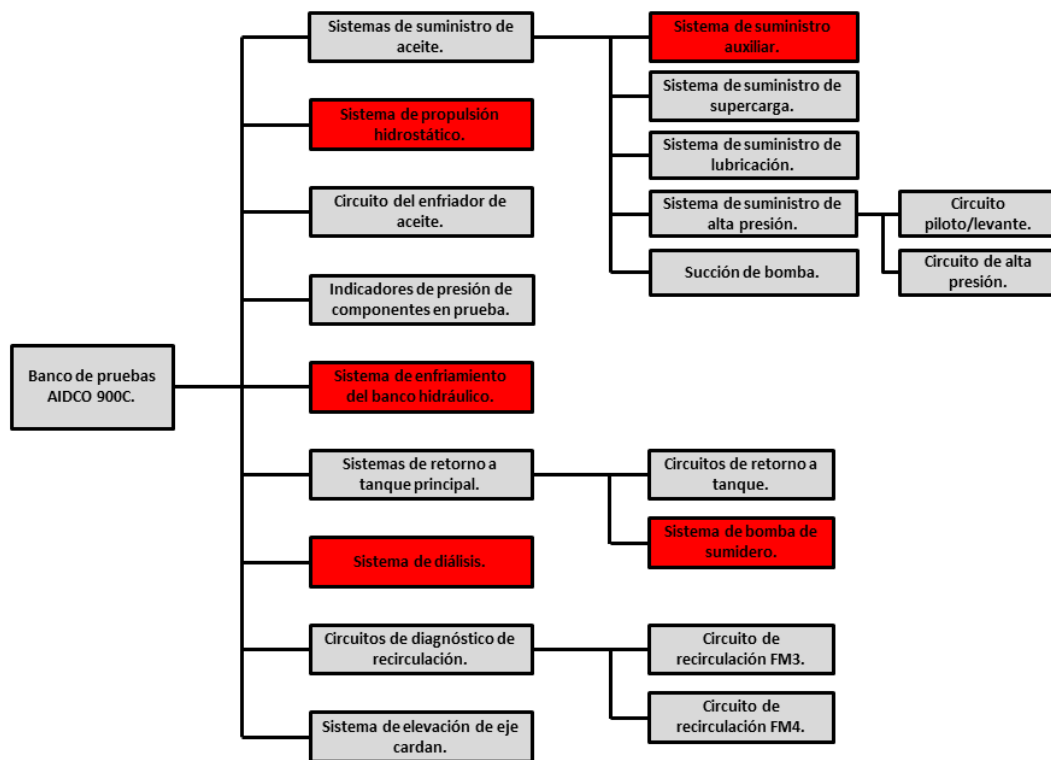
1	Sistema de propulsión hidrostático.	23	69
3,2	Sistema de bomba de sumidero.	11	66
8	Sistema de enfriamiento del banco hidráulico.	16,5	66
5	Sistema de diálisis.	11	55
2,4	Circuito de alta presión.	8,6	25,8
6	Sistema de elevación de eje cardan.	6,05	24,2
4,1	Circuito de recirculación FM4.	8,05	24,15
4,2	Circuito de recirculación FM3.	8,05	24,15
2,2	Sistema de suministro de supercarga.	10,6	21,2
2,3	Sistema de suministro de lubricación.	10,6	21,2
2,5	Circuito piloto/levante.	10,6	21,2
2,6	Succión de bomba.	6,05	18,15
7	Circuito del enfriador de aceite.	8,15	16,3
9	Indicadores de presión de componentes en prueba.	8,05	16,1
3,1	Circuitos de retorno a tanque.	6,05	12,1

7 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

7.1 Definición de taxonomía y fronteras.

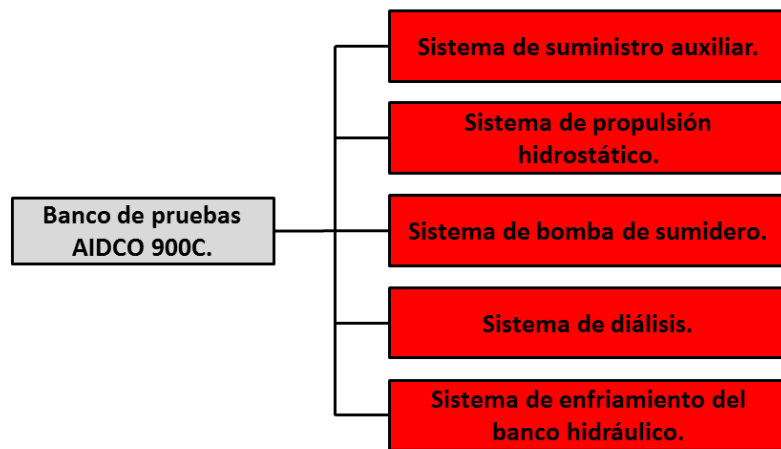
La figura que se muestra a continuación es una representación de los sistemas que conforman el banco de pruebas hidráulico AIDCO 900C.

Figura 42. Diagrama de jerarquía del banco hidráulico AIDCO 900C.



Teniendo en cuenta el análisis de criticidad de los sistemas que conforman el banco hidráulico, la metodología del RCM será aplicada a los sistemas críticos del equipo. La imagen que se muestra a continuación es una representación de los diferentes sistemas valorados como críticos, los cuales serán objeto de estudio para la determinación del modelo del plan de mantenimiento del equipo.

Figura 43. Diagrama de jerarquía de sistemas críticos del equipo.



En las siguientes figuras se representan los diagramas de jerarquía de los sistemas críticos del banco de pruebas AIDCO 900C.

Figura 44. Diagrama de jerarquía sistema de suministro bomba auxiliar.

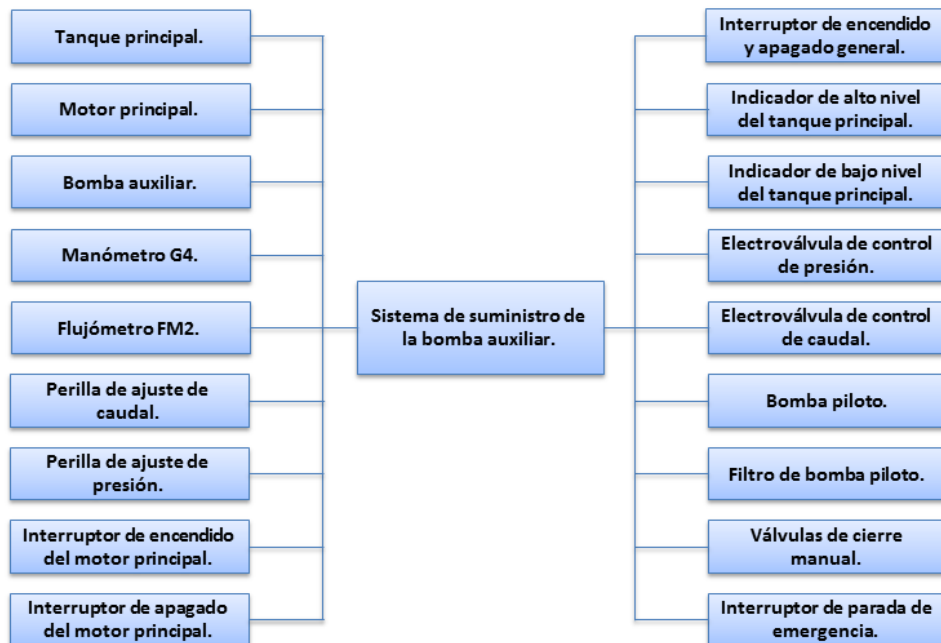


Figura 45. Diagrama de jerarquía del sistema de propulsión hidrostático.

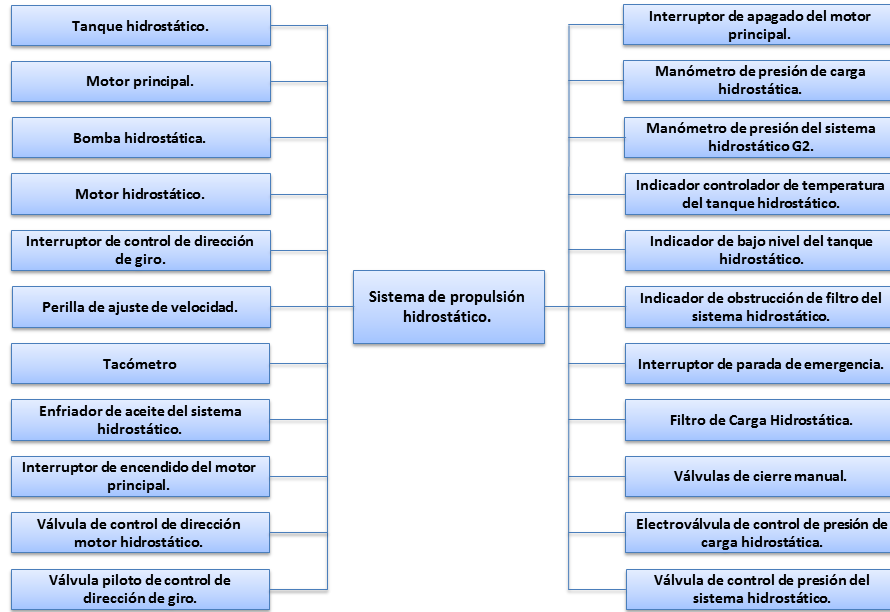


Figura 46. Diagrama de jerarquía del sistema de sumidero.

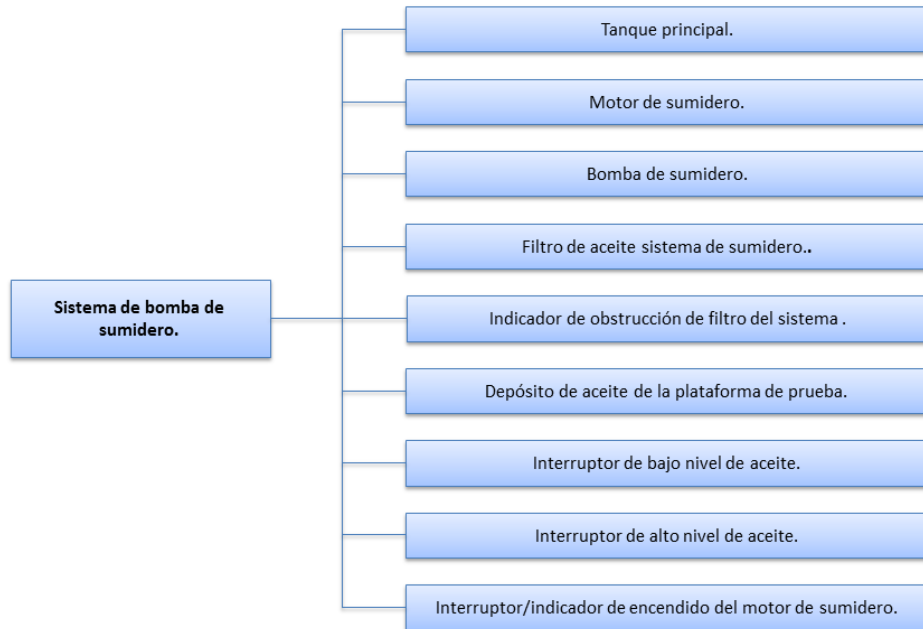


Figura 47. Diagrama de jerarquía sistema de enfriamiento.

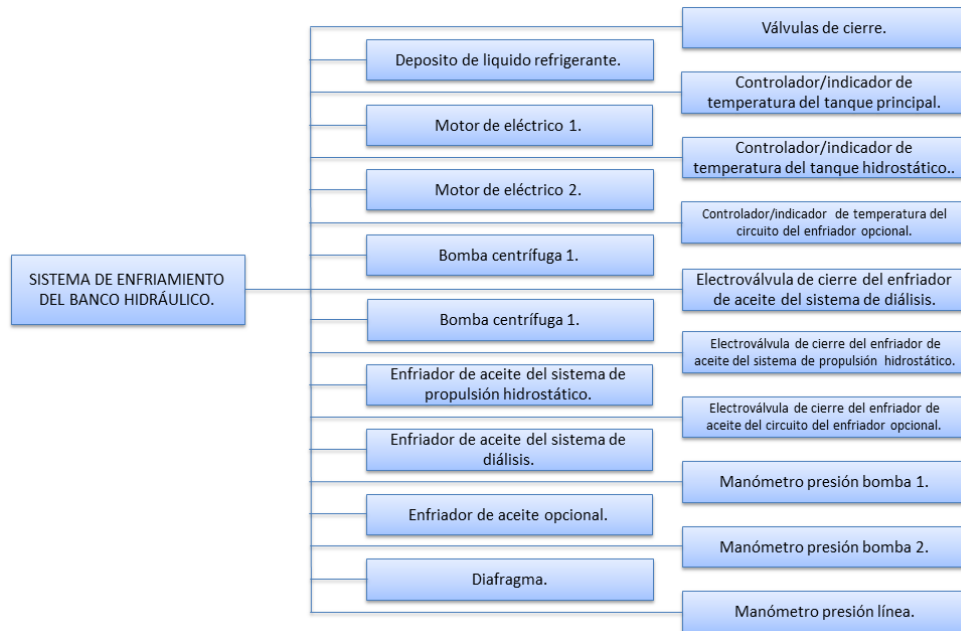
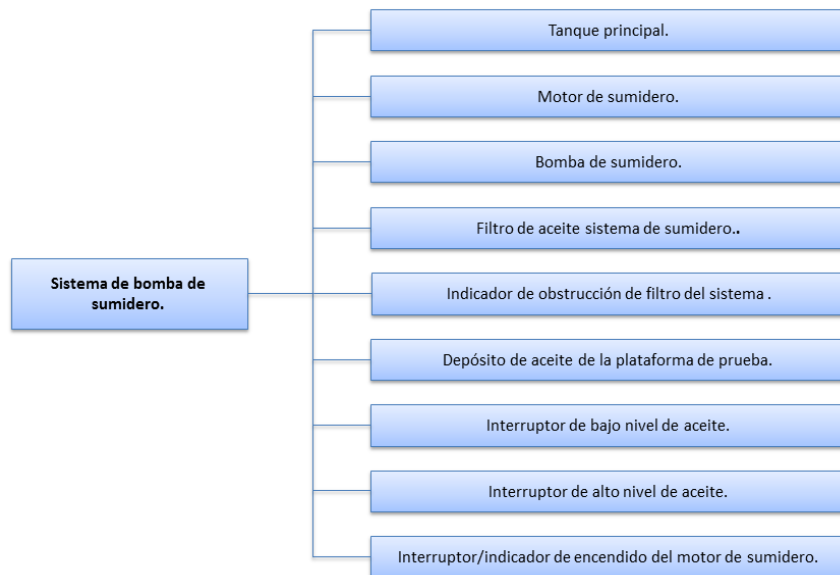


Figura 48. Diagrama de jerarquía del sistema de diálisis.



7.2 DEFINICIÓN DE FUNCIONES.

En este capítulo se definen las funciones de los 5 Sistemas Críticos:

Tabla 10. Funciones del Sistema de suministro de la bomba auxiliar..

Cód Fun.	FUNCIONES
AUX-F1	Bombear aceite para los componentes en prueba con caudal de 0 - 40 GPM con una precisión de hasta ± 1 GPM y una presión de suministro de 0 - 4000 PSI con una precisión de hasta ± 50 PSI según el requerimiento del operador.
AUX-F2	Medir el valor de presión de suministro de aceite al componente en prueba con un nivel de precisión del 99%.
AUX-F3	Medir el valor del caudal de suministro de aceite al componente en prueba con un nivel de precisión del 99%.
AUX-F4	Detener salida de flujo de aceite cuando se oprima botón de parada de emergencia.

Tabla 11. Funciones del Sistema de propulsión hidrostático.

Cód Fun.	FUNCIONES
SPH-F1	Proporcionar movimiento para los componentes en prueba con una velocidad de 0 - 2000 RPM con una precisión de hasta ± 10 RPM y un torque salida de hasta 1000 lb-pie según el requerimiento del operador.
SPH-F2	Medir el valor de la velocidad de suministro de movimiento para los componentes en prueba con un nivel de precisión del 99%.
SPH-F3	Seleccionar la salida de movimiento de los componentes en prueba en sentido horario y anti horario.
SPH-F4	Detener el suministro de movimiento de los componentes en prueba cuando se oprima botón de parada de emergencia.

Tabla 12. Funciones del sistema de bomba sumidero.

Cód Fun.	FUNCIONES
SBS-F1	Bombear el aceite desde el sumidero de la plataforma de prueba a un flujo de 150 gpm
SBS-F2	Filtrar partículas contaminantes y solidas
SBS-F3	Generar señal en el punto máximo del nivel de aceite para iniciar la descarga al tanque principal.
SBS-F4	Detener salida de flujo de aceite cuando se oprima el botón de parada de emergencia.
SBS-F5	Generar señal en el punto mínimo del nivel de aceite para detener la descarga al tanque principal.
SBS-F6	Indicar con una señal visual luminosa la obstrucción del filtro en el sistema

SBS-F7	Indicar con una señal visual luminosa el encendido del motor
SBS-F8	Contener herméticamente el fluido hasta un volumen de 100 galones

Tabla 13. Funciones del sistema de diálisis.

Cód Fun.	FUNCIONES
SD-F1	Limpia el aceite circulándolo por un filtro.
SD-F2	Enfría el aceite de una temperatura según el parámetro de ajuste de control realizado por el operador.
SD-F3	Indicar con una señal visual luminosa la obstrucción del filtro en el sistema
SD-F4	Indicar con una señal visual luminosa el encendido del motor
SD-F5	Depositar herméticamente el fluido hasta un volumen de 300 galones.

Tabla 14. Funciones del sistema de enfriamiento.

Cód Fun.	FUNCIONES
SE-F1	Encender el sistema de enfriamiento automáticamente cuando la temperatura del aceite sea igual o superior al parámetro de ajuste de control realizado por el operador.
SE-F2	Mantener apagado el sistema de enfriamiento cuando la temperatura del aceite sea inferior al parámetro de ajuste de control realizado por el operador.
SE-F3	Evacuar el calor del aceite que circula por los enfriadores según el parámetro de ajuste de control realizado por el operador.
SE-F4	Bombear líquido refrigerante en el sistema a un caudal 100 gal/min a una presión mínima de 25 PSI.

7.3 ANÁLISIS DE FALLAS FUNCIONALES.

En este capítulo se definen las fallas funcionales de cada función de los sistemas críticos del banco de pruebas.

Tabla 15. Fallas funcionales del Sistema de Suministro Auxiliar.

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
AUX-F1	Bombear aceite para los componentes en prueba con caudal de 0 - 40 GPM con una precisión de hasta ± 1 GPM y una presión de suministro de 0 - 4000 PSI con una precisión de hasta ± 50 PSI según el requerimiento del operador.	AUX-FF1	Incapacidad de bombear aceite a los componentes en prueba.

AUX-F1	Bombear aceite para los componentes en prueba con caudal de 0 - 40 GPM con una precisión de hasta ± 1 GPM y una presión de suministro de 0 - 4000 PSI con una precisión de hasta ± 50 PSI según el requerimiento del operador.	AUX-FF2	Bombear aceite para los componentes en prueba con caudal de 0 - 40 GPM con una precisión superior a ± 1 GPM según el requerimiento del operador.
AUX-F1	Bombear aceite para los componentes en prueba con caudal de 0 - 40 GPM con una precisión de hasta ± 1 GPM y una presión de suministro de 0 - 4000 PSI con una precisión de hasta ± 50 PSI según el requerimiento del operador.	AUX-FF3	Bombear aceite para los componentes en prueba a una presión de suministro de 0 - 4000 PSI con una precisión de superior a ± 50 PSI según el requerimiento del operador.
AUX-F2	Medir el valor de presión de suministro de aceite al componente en prueba con un nivel de precisión del 99%.	AUX-FF4	Incapacidad de medir valor de presión del aceite de suministro al componente en prueba con un nivel de precisión del 99%
AUX-F3	Medir el valor del caudal de suministro de aceite a los componentes en prueba con un nivel de precisión del 99%.	AUX-FF5	Incapacidad de medir valor de caudal del aceite de suministro al componente en prueba con un nivel de precisión del 99%
AUX-F4	Detener salida de flujo de aceite cuando se oprima botón de parada de emergencia.	AUX-FF6	Incapacidad de detener la salida de flujo de aceite cuando se oprima botón de parada de emergencia.

Tabla 16. Fallas funcionales del Sistema de Propulsión Hidrostático.

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
SPH-F1	Proporcionar movimiento para los componentes en prueba con una velocidad de 0 - 2000 RPM con una precisión de hasta ± 10 RPM y un torque salida de hasta 1000 lb-pie según el requerimiento del operador.	SPH-FF1	Incapacidad de transmitir movimiento a los componentes en prueba.
SPH-F1	Proporcionar movimiento para los componentes en prueba con una velocidad de 0 - 2000 RPM con una precisión de hasta ± 10 RPM y un torque salida de hasta 1000 lb-pie según el requerimiento del operador.	SPH-FF2	Proporcionar movimiento para los componentes en prueba con una velocidad de 0 - 2000 RPM con una precisión superior a ± 10 RPM y un torque salida de hasta 1000 lb-pie según el requerimiento del operador.
SPH-F2	Medir el valor de la velocidad de suministro de movimiento para los componentes en prueba con un nivel de precisión del 99%.	SPH-FF3	Incapacidad de medir la velocidad de salida de movimiento para los componentes en prueba con un nivel de precisión del 99%
SPH-F3	Seleccionar la salida de movimiento de los componentes en prueba en sentido horario y anti horario.	SPH-FF4	Incapacidad de realizar el cambio de sentido horario y anti horario de la salida de movimiento según el requerimiento del operador.
SPH-F4	Detener el suministro de movimiento de los componentes en prueba cuando se oprima botón de parada de emergencia.	SPH-FF5	Incapacidad de detener la salida de flujo de aceite cuando se oprima botón de parada de emergencia.

Tabla 17. Fallas funcionales del Sistema de Sumidero.

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
SBS-F1	Bompear el aceite desde el sumidero de la plataforma de prueba a un flujo de 150 gpm	SBS-AF1	No bombea
SBS-F1	Bompear el aceite desde el sumidero de la plataforma de prueba a un flujo de 150 gpm	SBS-AF2	Bombea con un flujo menor a xx
SBS-F2	Filtrar partículas contaminantes y solidas	SBS-BF1	No filtrar partículas
SBS-F3	Generar señal en el punto máximo del nivel de aceite para iniciar la descarga al tanque principal.	SBS-CF1	No generar señal
SBS-F4	Detener salida de flujo de aceite cuando se oprima el botón de parada de emergencia.	SBS-DF1	No detener la salida de flujo
SBS-F5	Generar señal en el punto mínimo del nivel de aceite para detener la descarga al tanque principal.	SBS-EF1	No generar señal
SBS-F6	Indicar con una señal visual luminosa la obstrucción del filtro en el sistema	SBS-FF1	No se visualiza la luminosidad
SBS-F7	Indicar con una señal visual luminosa el encendido del motor	SBS-GF1	No se visualiza la luminosidad
SBS-F8	Contener herméticamente el fluido hasta un volumen de 100 galones	SBS-HF1	No contener el fluido

Tabla 18. Fallas funcionales del Sistema De Diálisis.

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
SD-F1	Limpiar el aceite circulándolo por un filtro.	SD-AF1	No filtrar partículas
SD-F2	Enfriar el aceite de una temperatura según el parámetro de ajuste de control realizado por el operador.	SD-BF1	No generar señal para el encendido del sistema
SD-F3	Indicar con una señal visual luminosa la obstrucción del filtro en el sistema	SD-CF1	No se visualiza la luminosidad
SD-F4	Indicar con una señal visual luminosa el encendido del motor	SD-DF1	No se visualiza la luminosidad
SD-F5	Depositar herméticamente el fluido hasta un volumen de 300 galones.	SD-EF1	No contener el fluido

Tabla 19. Fallas funcionales del Sistema de Enfriamiento.

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
SE-F1	Encender el sistema de enfriamiento automáticamente cuando la temperatura del aceite sea igual o superior al parámetro de ajuste de control realizado por el operador.	SE-FF1	El sistema de enfriamiento no se enciende automáticamente cuando la temperatura del aceite es igual o superior al parámetro de ajuste de control realizado por el operador.
SE-F2	Mantener apagado el sistema de enfriamiento cuando la temperatura del aceite sea inferior al parámetro de ajuste de control realizado por el operador.	SE-FF2	El sistema de enfriamiento se enciende automáticamente cuando la temperatura del aceite es inferior al parámetro de ajuste de control realizado por el operador.
SE-F3	Bombear líquido refrigerante en el sistema a un caudal 100 gal/min a una presión mínima de 25 PSI para evacuar el calor del aceite que circula por los enfriadores según el parámetro de ajuste de control realizado por el operador.	SE-FF3	Bombee líquido refrigerante a menos de 100 gal/min.
SE-F4	Bombear líquido refrigerante en el sistema a un caudal 100 gal/min a una presión mínima de 25 PSI.	SE-FF4	Incapacidad de transferir líquido refrigerante en el sistema.

7.4 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA

En este capítulo se definen los modos de falla de las fallas funcionales de los sistemas.

Tabla 20. Modos de falla Sistema Suministro Auxiliar

Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA
AUX-MF1	Señal del interruptor de encendido/apagado general del banco de pruebas perdida.	Se coloca el interruptor de encendido general del banco hidráulico en posición ON, pero no se evidencia el encendido del equipo. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF2	Cableado de señal del interruptor general de encendido del banco hidráulico rotos.	Se coloca el interruptor de encendido general del banco hidráulico en posición ON, pero no se evidencia el encendido del equipo. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF3	Interruptor de parada de emergencia activado.	Se coloca el interruptor de encendido general del banco hidráulico en posición ON. El equipo enciende correctamente pero al encender el sistema de diálisis este no arranca. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF4	Interruptor encendido del sistema de diálisis del banco hidráulico en posición OFF.	El equipo enciende correctamente pero no hay respuesta del motor principal del banco hidráulico. Para encender el motor principal del banco de pruebas es obligatorio encender el sistema de diálisis. De lo contrario el motor principal no arranca. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF5	Señal del interruptor de encendido del motor principal pérdida.	No hay respuesta del motor principal del banco hidráulico. Si la señal del interruptor de encendido del motor principal se pierde, este no arranca. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF6	Cableado de señal del interruptor de encendido del motor principal rotos.	No hay respuesta del motor principal del banco hidráulico. La presencia de un circuito abierto de la alimentación del motor impide su encendido. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO

AUX-MF7	Perilla de ajuste de caudal en posición diferente de cero.	No hay respuesta del motor principal del banco hidráulico. Si la perilla de ajuste de caudal está en una posición diferente de cero el motor principal no arranca. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF8	Perilla de ajuste de presión en posición diferente de cero.	No hay respuesta del motor principal del banco hidráulico. Si la perilla de ajuste de presión está en una posición diferente de cero el motor principal no arranca. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF9	Cableado de alimentación del motor principal rotos.	El motor eléctrico principal no enciende. No le llega suministro de energía de alimentación. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF10	Motor principal quemado por sobre voltaje.	El motor eléctrico principal no enciende. Les llega energía de suministro para el encendido pero no se obtiene ninguna respuesta de arranque. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF11	Rodamientos del motor principal pegados.	EL motor eléctrico principal recibe suministro de energía pero no arrancan por problema mecánico en los rodamientos. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF12	Bajo nivel de aceite de tanque principal.	Se escuchan ruidos extraños en las partes interna de la bomba. La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF13	Válvula de cierre de la línea de succión de la bomba AUX cerrada.	Se escuchan ruidos extraños en las partes interna de la bomba. La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF14	Cámara de bombeo de la bomba con elementos rotos.	Se escuchan ruidos extraños en las partes interna de la bomba. La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF15	Válvula de cierre de la línea de succión de la bomba piloto de actuación del plato oscilante de la bomba AUX.	Se escuchan ruidos extraños en las partes interna de la bomba. La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO

AUX-MF16	Filtro de la línea de succión de la bomba piloto obstruido por partículas contaminantes.	La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF17	Bomba piloto con engranajes desgastados o rotos.	Se escuchan ruidos extraños en las partes interna de la bomba. La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF18	Mecanismo de cambio de inclinación de los pistones de la bomba AUX con partes rotas.	Se escuchan ruidos extraños en las partes interna de la bomba. La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF19	Electroválvula de ajuste de caudal de la bomba AUX obstruida por contaminación.	La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF20	Señal de accionamiento de electroválvula de ajuste de caudal perdida.	La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF21	Cableado de señal de accionamiento de electroválvula de ajuste de caudal roto.	La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF22	Potenciómetro de la perilla de ajuste de la señal de accionamiento de la electroválvula de control de caudal quemada por sobre voltaje.	La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF23	Electroválvula de ajuste de presión de suministro de la bomba AUX obstruida por contaminación.	La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones en el valor de la presión de ajuste, no se mantiene constante. Impide que se pueda realizar la prueba de los componentes bajo las especificaciones de pruebas ideales. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF24	Señal de accionamiento de electroválvula de ajuste de presión de suministro de la bomba AUX perdida.	La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones en el valor de la presión de ajuste, no se mantiene constante. Impide que se pueda realizar la prueba de los componentes bajo las especificaciones de pruebas ideales. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO

AUX-MF25	Cableado de señal de accionamiento de electroválvula de ajuste de caudal roto.	La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones en el valor de la presión de ajuste, no se mantiene constante. Impide que se pueda realizar la prueba de los componentes bajo las especificaciones de pruebas ideales. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF26	Potenciómetro de la perilla de ajuste de la señal de accionamiento de la electroválvula de control de presión quemada por sobre voltaje.	La salida de flujo para los componentes en prueba presenta oscilaciones en el valor de la presión de ajuste, no se mantiene constante. Impide que se pueda realizar la prueba de los componentes bajo las especificaciones de pruebas ideales. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
AUX-MF27	Manómetro descalibrado.	El valor de la presión no tiene la precisión del 99%	NO
AUX-MF28	Indicador de presión del manómetro sucio.	No se puede visualizar el valor de la presión.	NO
AUX-MF29	Conducto para toma de presión obstruido.	La aguja de indicación del valor de presión no se mueve.	NO
AUX-MF30	Caudalímetro descalibrado	El valor del caudal no tiene la precisión del 99%	NO
AUX-MF31	Display del medidor no enciende	No se puede visualizar el valor del caudal.	NO
AUX-MF32	Cableado del Caudalímetro rotos	No se puede visualizar el valor del caudal.	NO
AUX-MF33	Señal del interruptor de parada de emergencia perdida.	Cuando se acciona el interruptor de parada de emergencia del banco hidráulico no se detiene el sistema.	SI
AUX-MF34	Cableado de señal del interruptor de parada de emergencia rotos.	Cuando se acciona el interruptor de parada de emergencia del banco hidráulico no se detiene el sistema.	SI

Tabla 21. Modos de falla Sistema de Propulsión Hidrostático.

Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA
SPH-MF1	Señal del interruptor de encendido/apagado general del banco de pruebas perdida.	Se coloca el interruptor de encendido general del banco hidráulico en posición ON, pero no se evidencia el encendido del equipo. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF2	Cableado de señal del interruptor general de encendido del banco hidráulico rotos.	Se coloca el interruptor de encendido general del banco hidráulico en posición ON, pero no se evidencia el encendido del equipo. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF3	Interruptor de parada de emergencia activado.	Se coloca el interruptor de encendido general del banco hidráulico en posición ON. El equipo enciende correctamente pero al encender el sistema de diálisis este no arranca. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF4	Interruptor encendido del sistema de diálisis del banco hidráulico en posición OFF.	El equipo enciende correctamente pero no hay respuesta del motor principal del banco hidráulico. Para encender el motor principal del banco de pruebas es obligatorio encender el sistema de diálisis. De lo contrario el motor principal no arranca. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF5	Señal del interruptor de encendido del motor principal pérdida.	No hay respuesta del motor principal del banco hidráulico. Si la señal del interruptor de encendido del motor principal se pierde, este no arranca. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF6	Cableado de señal del interruptor de encendido del motor principal rotos.	No hay respuesta del motor principal del banco hidráulico. La presencia de un circuito abierto de la alimentación del motor impide su encendido. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF7	Perilla de ajuste de caudal en posición diferente de cero.	No hay respuesta del motor principal del banco hidráulico. Si la perilla de ajuste de caudal está en una posición diferente de cero el motor principal no arranca. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF8	Perilla de ajuste de presión en posición diferente de cero.	No hay respuesta del motor principal del banco hidráulico. Si la perilla de ajuste de presión está en una posición diferente de cero el motor principal no arranca. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF9	Cableado de alimentación del motor principal rotos.	El motor eléctrico principal no enciende. No le llega suministro de energía de alimentación. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO

SPH-MF10	Motor principal quemado por sobre voltaje.	El motor eléctrico principal no enciende. Les llega energía de suministro para el encendido pero no se obtiene ninguna respuesta de arranque. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF11	Rodamientos del motor principal pegados.	EL motor eléctrico principal recibe suministro de energía pero no arrancan por problema mecánico en los rodamientos. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF12	Electroválvula de control de presión de carga hidrostática obstruida por contaminación.	El motor eléctrico principal enciende correctamente, pero no hay respuesta del sistema hidrostático, no hay transmisión de movimiento para los componentes en prueba. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF13	Señal de accionamiento de electroválvula de control de presión de carga hidrostática pérdida.	El motor eléctrico principal enciende correctamente, pero no hay respuesta del sistema hidrostático, no hay transmisión de movimiento para los componentes en prueba. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF14	Cableado de señal de accionamiento de electroválvula de control de presión de carga hidrostática rotos.	El motor eléctrico principal enciende correctamente, pero no hay respuesta del sistema hidrostático, no hay transmisión de movimiento para los componentes en prueba. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF15	Potenciómetro de la perilla de ajuste de la señal de accionamiento de la electroválvula de control de presión de carga hidrostática quemada por sobre voltaje.	El motor eléctrico principal enciende correctamente, pero no hay respuesta del sistema hidrostático, no hay transmisión de movimiento para los componentes en prueba. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF16	Eje cardán fracturado	Eje cardán suelto y golpeando contra la guarda de protección del acoplamiento con los componentes en prueba. Representa una amenaza para la seguridad del operario. No es amenaza para el medio ambiente.	NO
SPH-MF17	Tornillos de sujeción del eje cardán rotos.	Eje cardán suelto y golpeando contra la guarda de protección del acoplamiento con los componentes en prueba. Representa una amenaza para la seguridad del operario. No es amenaza para el medio ambiente.	NO
SPH-MF18	Válvula de cierre de la línea de succión de la bomba hidrostática cerrada.	Se escuchan ruidos extraños en las partes interna de la bomba hidrostática. La salida de movimiento para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF19	Filtro de la línea de succión de la bomba hidrostática obstruido por partículas contaminantes.	La salida de movimiento para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una	NO

		amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	
SPH-MF20	Mecanismo de cambio de inclinación de los pistones de la bomba hidrostática con partes rotas.	Se escuchan ruidos extraños en las partes interna de la bomba. La salida de movimiento para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante la velocidad. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF21	Desgaste de partes internas de la bomba hidrostática	La salida de movimiento para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF22	Mecanismo de cambio de inclinación de los pistones del motor hidrostático con partes rotas.	Se escuchan ruidos extraños en las partes interna del motor hidrostático. La salida de movimiento para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante la velocidad. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF23	Desgaste de partes internas del motor hidrostático	La salida de movimiento para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF24	Fuga de aceite por mangueras y conexiones del sistema hidrostático.	La salida de movimiento para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF25	Válvula de control de presión del sistema hidrostático con desgaste en partes internas.	La salida de movimiento para los componentes en prueba presenta oscilaciones, no se mantiene constante. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	
SPH-MF26	Tacómetro descalibrado	El valor de la velocidad no tiene la precisión del 99%	NO
SPH-MF27	Display del medidor no enciende	No se puede visualizar el valor de la velocidad.	NO
SPH-MF28	Cableado del tacómetro rotos	No se puede visualizar el valor de la velocidad.	NO
SPH-MF29	Interruptor de control de dirección de giro con señal perdida.	Cuando el operador acciona el interruptor no hay respuesta en el cambio del sentido de giro del motor hidrostático. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF30	Cableado de señal del interruptor de control de dirección de giro rotos.	Cuando el operador acciona el interruptor no hay respuesta en el cambio del sentido de giro del motor hidrostático. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF31	Solenoides de la válvula piloto de control de dirección de giro quemadas por sobre voltaje	Cuando el operador acciona el interruptor no hay respuesta en el cambio del sentido de giro del motor hidrostático. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO

SPH-MF32	Válvula piloto de control de dirección de giro bloqueada en una posición por contaminación.	Cuando el operador acciona el interruptor no hay respuesta en el cambio del sentido de giro del motor hidrostático. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF33	Obstrucción en mangueras de señal piloto de la válvula de control de dirección motor hidrostático.	Cuando el operador acciona el interruptor no hay respuesta en el cambio del sentido de giro del motor hidrostático. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF34	Válvula de control de dirección motor hidrostático bloqueada en una posición por contaminación.	Cuando el operador acciona el interruptor no hay respuesta en el cambio del sentido de giro del motor hidrostático. No representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.	NO
SPH-MF35	Señal del interruptor de parada de emergencia perdida.	Cuando se acciona el interruptor de parada de emergencia del banco hidráulico no se detiene el sistema.	SI
SPH-MF36	Cableado de señal del interruptor de parada de emergencia rotos.	Cuando se acciona el interruptor de parada de emergencia del banco hidráulico no se detiene el sistema.	SI

Tabla 22. Modos de falla Sistema de Sumidero.

Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA
SBS-MF1	CARCASA FRACTURADA	Es evidente la falla; supone riesgo ambiental y de seguridad debido al derrame de Aceite a 60 °C; derrame de aceite en la plataforma de prueba; hay daños físicos en la carcasa; Cambio de bomba en un día (\$ 5'000.000)	NO
SBS-MF2	IMPELER FRACTURADO	Es evidente la falla; supone amenaza a la seguridad y medio ambiente; derrame de aceite en la plataforma de prueba; hay daños físicos en el impeler, eje, rodamientos; cambio de impeler, rodamientos en un día (\$ 1'500.000)	NO
SBS-MF3	RODAMIENTOS FRACTURADO POR SOBRECARGAS	Es evidente la falla; supone riesgo ambiental y de seguridad; derrame de aceite en la plataforma principal; hay daños físicos en los rodamientos, en el eje; Cambio de rodamientos y balanceo de eje (\$ 300.000)	NO
SBS-MF4	MANGUERA OBSTRUIDA	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y el medio ambiente; derrame de aceite en la plataforma principal; no supone daños físicos; eliminar obstrucción o cambiar manguera en 1 día (\$ 500.000)	NO
SBS-MF5	SELLO DESGASTADO	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y el medio ambiente por posible sobrellenado en plataforma principal; daños físicos en los sellos; Cambio de sellos en 1 hora (\$ 150.000)	NO
SBS-MF6	FILTRO TAPADO	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; posible sobrepresión en la	NO

		mangueras; daños físicos en el filtro; destapar el filtro; 30 minutos (\$50.000)	
SBS-MF7	FILTRO ROTO	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; ensuciamiento con partículas en el sumidero; daños físicos en el filtro; cambio del filtro; 30 minutos (\$100.000)	NO
SBS-MF8	DAÑO DEL CONTROLADOR/INDICADOR DE NIVEL DEL ACEITE.	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; derrame de aceite desde el sumidero; daños físicos en el controlador; cambio de controlador; 30 minutos (\$100.000)	NO
SBS-MF9	SEÑAL DE INDICACIÓN DEL NIVEL DEL ACEITE PÉRDIDA.	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; derrame de aceite desde el sumidero; daños físicos en el controlador; verificar cableado y/o cambio de controlador; 45 minutos (\$100.000)	NO
SBS-MF10	CABLEADO DAÑADO	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; daños físicos en el cableado; cambiar cableado; 20 minutos (\$30.000)	NO
SBS-MF11	PARTES INTERNAS DEL BOTON OXIDADAS	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; daños físicos en la parte interna del botón; cambiar botón de parada de emergencia; 20 minutos (\$50.000)	SI
SBS-MF12	DAÑO DEL CONTROLADOR/INDICADOR DE NIVEL DEL ACEITE.	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; derrame de aceite desde el sumidero; daños físicos en el controlador; cambio de controlador; 30 minutos (\$100.000)	NO
SBS-MF13	SEÑAL DE INDICACIÓN DEL NIVEL DEL ACEITE PÉRDIDA.	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; derrame de aceite desde el sumidero; daños físicos en el controlador; verificar cableado y/o cambio de controlador; 45 minutos (\$100.000)	NO
SBS-MF14	BOMBILLO / LED FUNDIDO	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; partículas sucias en el sumidero; daños físicos en el bombillo; cambiar bombillo; 15 minutos (\$30.000)	NO
SBS-MF15	PARPADEO EN LA SEÑAL LUMINOSA	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; fallos en el sistemas por falsas señales; daños en el cableado o señal eléctrica; verificar cableado; 15 minutos (\$30.000)	NO
SBS-MF16	SEÑAL ELECTRICA POBRE	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; fallos en el sistemas por señales bajas; daños en el cableado o señal eléctrica; verificar cableado; 15 minutos (\$30.000)	SI

SBS-MF17	BOMBILLO FUNDIDO	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; problemas en el encendido del motor; daños físicos en el bombillo; cambiar bombillo; 15 minutos (\$30.000)	NO
SBS-MF18	PARPADEO EN LA SEÑAL LUMINOSA	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; posible encendido del motor por falsas señales; daños en el cableado o señal eléctrica; verificar cableado; 15 minutos (\$30.000)	NO
SBS-MF19	SEÑAL ELÉCTRICA POBRE	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; no prende el motor; daños en el cableado o señal eléctrica; verificar cableado; 15 minutos (\$30.000)	SI
SBS-MF20	FUGAS EN LAS UNIONES POR LOS EMPAQUES Y/O SELLOS	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; derrame de aceite desde el sumidero; daños físicos en el depósito; verificar empaques y sellos; 45 minutos (\$300.000)	NO
SBS-MF21	DEPOSITO DEFORMADO	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; derrame de aceite desde el sumidero; daños físicos en el depósito por sobrepresiones; verificar empaques y sellos; 24 horas minutos (\$9.000.000)	NO

Tabla 23. Modos de falla sistema de diálisis.

Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA
SD-MF1	FILTRO TAPADO	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; posible sobrepresión en la mangueras; daños físicos en el filtro; destapar el filtro; 30 minutos (\$50.000)	NO
SD-MF2	FILTRO ROTO	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; ensuciamiento con partículas en el sumidero; daños físicos en el filtro; cambio del filtro; 30 minutos (\$100.000)	NO
SD-MF3	CONTROLADOR AVERIADO	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; sobrecalentamiento del aceite; daños físicos en el controlado o indicador; cambio de controlador; 30 minutos (\$100.000)	NO
SD-MF4	SEÑAL DE INDICACIÓN DE TEMPERATURA PERDIDA	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; sobrecalentamiento del aceite; daños físicos en el controlado o indicador; verificar señal; 20 minutos (\$50.000)	NO
SD-MF5	CABLEADO DE SEÑAL DE TEMPERTURA ROTO	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; sobrecalentamiento del aceite; daños físicos en el controlado o indicador; cambiar cableado de señal; 20 minutos (\$100.000)	NO
SD-MF6	SEÑAL DE ENCEDIDO PERDIDA	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; sobrecalentamiento del aceite; daños físicos en el controlado o indicador; verificar señal; 20 minutos (\$50.000)	NO

SD-MF7	CABLEADO DE SEÑAL DE ENCENDIDO ROTO	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; sobrecalentamiento del aceite; daños físicos en el controlado o indicador; cambiar cableado de señal; 20 minutos (\$100.000)	NO
SD-MF8	BOMBILLO/LED FUNDIDO EN LA SEÑAL DE TEMPERATURA	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; partículas sucias en las mangueras; daños físicos en el bombillo; cambiar bombillo; 15 minutos (\$30.000)	NO
SD-MF9	PARPADEO EN LA SEÑAL LUMINOSA EN LA SEÑAL DE TEMPERATURA	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; fallos en el sistemas por falsas señales; daños en el cableado o señal eléctrica; verificar cableado; 15 minutos (\$30.000)	NO
SD-MF10	SEÑAL ELÉCTRICA POBRE EN LA SEÑAL DE TEMPERATURA	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; fallos en el sistemas por señales bajas; daños en el cableado o señal eléctrica; verificar cableado; 15 minutos (\$30.000)	SI
SD-MF11	BOMBILLO FUNDIDO EN LA SEÑAL DE ENCENDIDO	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; problemas en el encendido del motor; daños físicos en el bombillo; cambiar bombillo; 15 minutos (\$30.000)	NO
SD-MF12	PARPADEO EN LA SEÑAL LUMINOSA EN LA SEÑAL DE ENCENDIDO	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; posible encendido del motor por falsas señales; daños en el cableado o señal eléctrica; verificar cableado; 15 minutos (\$30.000)	NO
SD-MF13	SEÑAL ELECTRICA POBRE EN LA SEÑAL DE ENCENDIDO	Es evidente la falla; no supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; no prende el motor; daños en el cableado o señal eléctrica; verificar cableado; 15 minutos (\$30.000)	SI
SD-MF14	FUGAS EN LAS UNIONES POR LOS EMPAQUES Y/O SELLOS	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; derrame de aceite desde el sumidero; daños físicos en el depósito; verificar empaques y sellos; 45 minutos (\$300.000)	NO
SD-MF15	DEPOSITO DEFORMADO	Es evidente la falla; supone una amenaza a la seguridad y medio ambiente; derrame de aceite desde el sumidero; daños físicos en el depósito por sobrepresiones; verificar empaques y sellos; 24 horas minutos (\$9.000.000)	NO

Tabla 24. Modos de falla Sistema de Enfriamiento.

Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA
SE-MF1	Tarjeta electrónica del controlador/indicador de temperatura del aceite contaminada por efectos ambientales.	El sistema de enfriamiento del equipo no enciende, ya que no se envía la señal de encendido por problemas de contaminación de los circuitos de la tarjeta electrónica del controlador/indicador de temperatura de los enfriadores.	SI
SE-MF2	Tarjeta electrónica del controlador/indicador de temperatura del aceite quemada por sobre voltaje.	El sistema de enfriamiento del equipo no enciende, ya que no se envía la señal de encendido debido a daño interno en el circuito de la tarjeta electrónica del controlador/indicador de temperatura por sobre voltaje.	SI
SE-MF3	Señal de indicación de la temperatura del aceite que circula por los enfriadores del sistema pérdida.	El sistema de enfriamiento del equipo no enciende porque el controlador/indicador de temperatura no envía la señal de encendido, debido a que no recibe la señal de la temperatura del aceite.	SI
SE-MF4	Cableado de señal de indicación de la temperatura del aceite que circula por los enfriadores del sistema rotos.	El sistema de enfriamiento del equipo no enciende porque el controlador/indicador de temperatura no envía la señal de encendido, debido a que no recibe la señal de la temperatura del aceite.	SI

SE-MF5	Señal de control para el encendido del sistema de enfriamiento perdida.	El sistema de enfriamiento del equipo no enciende porque la caja de control de suministro de alimentación de los motores eléctricos, no recibe la señal de encendido que viene del controlador/indicador de temperatura.	SI
SE-MF6	Cableado de la señal de control de encendido del sistema de enfriamiento rotos.	El sistema de enfriamiento del equipo no enciende porque la caja de control de suministro de alimentación de los motores eléctricos, no recibe la señal de encendido que viene del controlador/indicador de temperatura.	SI
SE-MF7	Interruptores de encendido de los motores eléctricos en posición OFF.	Los motores eléctricos no encienden por tener el interruptor de encendido de los motores en la posición OFF, por lo tanto el sistema de enfriamiento no enciende. Incapacidad de evacuar el calor de los enfriadores de aceite.	SI
SE-MF8	Interruptor general de encendido del suministro de alimentación de los motores eléctricos en posición OFF.	Los motores eléctricos no encienden por tener el interruptor general de encendido del suministro de alimentación en la posición OFF, por lo tanto el sistema de enfriamiento no enciende. Incapacidad de evacuar el calor de los enfriadores de aceite.	SI
SE-MF9	Cableado de alimentación de los motores eléctricos rotos.	Los motores eléctricos no encienden. No les llega energía de suministro de energía de alimentación.	SI
SE-MF10	Motores eléctricos de las bombas centrífugas quemados por sobre voltaje.	Los motores eléctricos no encienden. No les llega energía de suministro de energía de alimentación.	SI
SE-MF11	Rodamientos de los motores eléctricos pegados.	Los motores eléctricos reciben suministro de energía pero no arrancan por problema mecánico.	SI
SE-MF12	Tarjeta electrónica del controlador/indicador de temperatura del aceite contaminada por efectos ambientales.	El sistema de enfriamiento se enciende cuando la temperatura del aceite esta por debajo del parámetro de ajuste, debido a que la contaminación de los circuitos electrónicos de la tarjeta del controlador/indicador de temperatura, ocasiona la generación de una señal errónea de encendido del sistema.	NO
SE-MF13	Interruptores de encendido de los motores eléctricos en posición MANUAL.	Los motores eléctricos del sistema de enfriamiento se mantienen encendidos independientemente de la temperatura del aceite, cuando los interruptores de encendido están en la posición MANUAL.	NO
SE-MF14	Bajo nivel de refrigerante en el depósito del sistema.	Incremento de la temperatura del aceite en los enfriadores. El sistema no tiene capacidad de evacuar el calor.	SI
SE-MF15	Obstrucción por suciedad de la línea de succión de la bomba centrífuga.	Incremento de la temperatura del aceite en los enfriadores. El sistema no tiene capacidad de evacuar el calor. No hay circulación de refrigerante por el circuito del sistema.	SI
SE-MF16	Partes internas de la bomba centrífuga rotas.	La bomba no tiene la capacidad de hacer circular la cantidad de refrigerante necesaria para la adecuada transferencia de calor de los enfriadores. Se escuchan ruidos extraños de partes internas de la bomba.	SI
SE-MF17	Fuga de refrigerante por el sello mecánico de la carcasa de la bomba centrífuga.	La bomba centrífuga suministra flujo de refrigerante en el circuito del sistema de enfriamiento. Se evidencia fuga externa de refrigerante por la carcasa de la bomba.	SI
SE-MF18	Señal de control para el accionamiento de las electroválvulas de los enfriadores de aceite perdida.	Incremento de la temperatura del aceite en los enfriadores. El sistema no tiene capacidad de evacuar el calor. No hay circulación de refrigerante por los enfriadores. Electroválvulas de cierre bloqueadas.	SI
SE-MF19	Cableado de la señal de control para el accionamiento de las electroválvulas de los enfriadores de aceite rotos.	Incremento de la temperatura del aceite en los enfriadores. El sistema no tiene capacidad de evacuar el calor. No hay circulación de refrigerante por los enfriadores. Electroválvulas de cierre bloqueadas.	SI

SE-MF20	Electroválvulas de los enfriadores de aceite obstruidas.	Incremento de la temperatura del aceite en los enfriadores. El sistema no tiene capacidad de evacuar el calor. Hay poca o nula circulación de refrigerante por los enfriadores.	SI
SE-MF21	Obstrucción por suciedad de los enfriadores de aceite.	Incremento de la temperatura del aceite en los enfriadores. El sistema no tiene capacidad de evacuar el calor. Hay poca o nula circulación de refrigerante por los enfriadores.	SI
SE-MF22	Tuberías y conexiones del sistema de enfriamiento con fugas.	Incremento de la temperatura del aceite en los enfriadores. El sistema no tiene capacidad de evacuar el calor. Fuga de refrigerante por los acoples, mangueras y tuberías del circuito del sistema de enfriamiento.	SI
SE-MF23	Interruptores de encendido de los motores eléctricos en posición OFF.	Los motores eléctricos no encienden por tener el interruptor de encendido de los motores en la posición OFF, por lo tanto el sistema de enfriamiento no enciende. Incapacidad de evacuar el calor de los enfriadores de aceite.	SI
SE-MF24	Interruptor general de encendido del suministro de alimentación de los motores eléctricos en posición OFF.	Los motores eléctricos no encienden por tener el interruptor general de encendido del suministro de alimentación en la posición OFF, por lo tanto el sistema de enfriamiento no enciende. Incapacidad de evacuar el calor de los enfriadores de aceite.	SI
SE-MF25	Cableado de alimentación de los motores eléctricos rotos.	Los motores eléctricos no encienden. No les llega energía de suministro de energía de alimentación.	SI
SE-MF26	Motores eléctricos de las bombas centrífugas quemados por sobre voltaje.	Los motores eléctricos no encienden. No les llega energía de suministro de energía de alimentación.	SI
SE-MF27	Rodamientos de los motores eléctricos pegados.	Los motores eléctricos reciben suministro de energía pero no arrancan por problema mecánico.	SI

7.5 ANÁLISIS DE RIESGOS.

En este capítulo se definen los efectos o consecuencia de cada falla del sistema, en el medio ambiente, riesgo humano, costos e imagen empresarial, esto se realiza con base a la matriz de riesgos que se muestra a continuación.

Tabla 25. Matriz de riesgos.

CONSECUENCIAS				CONSECUENCIA		PROBABILIDAD					
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN			IMPOSIBLE > 10 Años	IMPROBABLE < 10 Años	REMOTO < 5 Años	OCASIONAL < 2 Años	MODERADO < 6 Meses	FRECUENTE ± 1 Mes
Más de un muerto	Efectos irreversibles	>100	Internacional	Catastrófico	1	A1	B1	C1	D1	E1	F1
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	ENTRE 100M - 10M	Nacional	Critico	2	A2	B2	C2	D2	E2	F2
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	ENTRE 10 M- 1M	Regional	Marginal	3	A3	B3	C3	D3	E3	F3
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	ENTRE 1M-.05M	Local	Insignificante	4	A4	B4	C4	D4	E4	F4
Ninguna	No afecta el medio ambiente	<0.05M	Ninguno	Ninguno	5	A5	B5	C5	D5	E5	F5

A B C D E F

Para el análisis de las tablas que se muestran a continuación se abreviaran los títulos de las columnas de la siguiente manera:

Riesgo ambiental: R.A

Riesgo humano: R.H

Riesgo económico: R.E

Riesgo de imagen: R.I

Tabla 26. Análisis de riesgo sistema suministro auxiliar.

Cód. MF	Modo de Falla	FALLA OCULTA	R.A	R.H	R.E	R.I	Valor económico del riesgo (\$)
AUX-MF1	Señal del interruptor de encendido/apagado general del banco de pruebas perdida.	NO	B5	B5	C3	B5	3.000.000
AUX-MF2	Cableado de señal del interruptor general de encendido del banco hidráulico rotos.	NO	B5	B5	C3	B5	3.000.000
AUX-MF3	Interruptor de parada de emergencia activado.	NO	B5	B5	E4	B5	1.000.000

AUX-MF4	Interruptor encendido del sistema de diálisis del banco hidráulico en posición OFF.	NO	B5	B5	E4	B5	1.000.000
AUX-MF5	Señal del interruptor de encendido del motor principal pérdida.	NO	B5	B5	E4	B5	1.000.000
AUX-MF6	Cableado de señal del interruptor de encendido del motor principal rotos.	NO	B5	B5	E4	B5	1.000.000
AUX-MF7	Perilla de ajuste de caudal en posición diferente de cero.	NO	B5	B5	B4	B5	1.000.000
AUX-MF8	Perilla de ajuste de presión en posición diferente de cero.	NO	B5	B5	B4	B5	1.000.000
AUX-MF9	Cableado de alimentación del motor principal rotos.	NO	B5	B5	C2	B5	15.000.000
AUX-MF10	Motor principal quemado por sobre voltaje.	NO	B5	B5	C2	B5	40.000.000
AUX-MF11	Rodamientos del motor principal pegados.	NO	B5	B5	C2	B5	40.000.000
AUX-MF12	Bajo nivel de aceite de tanque principal.	NO	B5	B5	D2	B5	80.000.000
AUX-MF13	Válvula de cierre de la línea de succión de la bomba AUX cerrada.	NO	B5	B5	B2	B5	60.000.000
AUX-MF14	Cámara de bombeo de la bomba con elementos rotos.	NO	B5	B5	C2	B5	60.000.000
AUX-MF15	Válvula de cierre de la línea de succión de la bomba piloto de actuación del plato oscilante de la bomba AUX.	NO	B5	B5	C3	B5	7.000.000
AUX-MF16	Filtro de la línea de succión de la bomba piloto obstruido por partículas contaminantes.	NO	B5	B5	F4	B5	1.000.000
AUX-MF17	Bomba piloto con engranajes desgastados o rotos.	NO	B5	B5	C3	B5	10.000.000
AUX-MF18	Mecanismo de cambio de inclinación de los pistones de la bomba AUX con partes rotas.	NO	B5	B5	C2	B5	60.000.000
AUX-MF19	Electroválvula de ajuste de caudal de la bomba AUX obstruida por contaminación.	NO	B5	B5	D3	B5	7.000.000
AUX-MF20	Señal de accionamiento de electroválvula de ajuste de caudal perdida.	NO	B5	B5	D3	B5	2.000.000
AUX-MF21	Cableado de señal de accionamiento de electroválvula de ajuste de caudal roto.	NO	B5	B5	D3	B5	2.000.000
AUX-MF22	Potenciómetro de la perilla de ajuste de la señal de accionamiento de la electroválvula de control de caudal quemada por sobre voltaje.	NO	B5	B5	D4	B5	1.000.000
AUX-MF23	Electroválvula de ajuste de presión de suministro de la bomba AUX obstruida por contaminación.	NO	B5	B5	D3	B5	7.000.000
AUX-MF24	Señal de accionamiento de electroválvula de ajuste de presión de suministro de la bomba AUX perdida.	NO	B5	B5	D3	B5	2.000.000
AUX-MF25	Cableado de señal de accionamiento de electroválvula de ajuste de caudal roto.	NO	B5	B5	D3	B5	2.000.000
AUX-MF26	Potenciómetro de la perilla de ajuste de la señal de accionamiento de la	NO	B5	B5	D4	B5	1.000.000

	electroválvula de control de presión quemada por sobre voltaje.						
AUX-MF27	Manómetro descalibrado.	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
AUX-MF28	Indicador de presión del manómetro sucio.	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
AUX-MF29	Conducto para toma de presión obstruido.	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
AUX-MF30	Caudalímetro descalibrado	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
AUX-MF31	Display del medidor no enciende	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
AUX-MF32	Cableado del Caudalímetro rotos	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
AUX-MF33	Señal del interruptor de parada de emergencia perdida.	SI	B5	C3	C4	B5	1.000.000
AUX-MF34	Cableado de señal del interruptor de parada de emergencia rotos.	SI	B5	C3	C4	B5	1.000.000

Tabla 27. Análisis de riesgo sistema propulsión hidrostático.

Cód. MF	Modo de Falla	FALLA OCULTA	R.A	R.H	R.E	R.I	Valor económico del riesgo (\$)
SPH-MF1	Señal del interruptor de encendido/apagado general del banco de pruebas perdida.	NO	B5	B5	C3	B5	3.000.000
SPH-MF2	Cableado de señal del interruptor general de encendido del banco hidráulico rotos.	NO	B5	B5	C3	B5	3.000.000
SPH-MF3	Interruptor de parada de emergencia activado.	NO	B5	B5	E4	B5	1.000.000
SPH-MF4	Interruptor encendido del sistema de diálisis del banco hidráulico en posición OFF.	NO	B5	B5	E4	B5	1.000.000
SPH-MF5	Señal del interruptor de encendido del motor principal pérdida.	NO	B5	B5	E4	B5	1.000.000
SPH-MF6	Cableado de señal del interruptor de encendido del motor principal rotos.	NO	B5	B5	E4	B5	1.000.000
SPH-MF7	Perilla de ajuste de caudal en posición diferente de cero.	NO	B5	B5	B4	B5	1.000.000
SPH-MF8	Perilla de ajuste de presión en posición diferente de cero.	NO	B5	B5	B4	B5	1.000.000
SPH-MF9	Cableado de alimentación del motor principal rotos.	NO	B5	B5	C2	B5	15.000.000
SPH-MF10	Motor principal quemado por sobre voltaje.	NO	B5	B5	C2	B5	40.000.000
SPH-MF11	Rodamientos del motor principal pegados.	NO	B5	B5	C2	B5	40.000.000
SPH-MF12	Electroválvula de control de presión de carga hidrostática obstruida por contaminación.	NO	B5	B5	D3	B5	7.000.000
SPH-MF13	Señal de accionamiento de electroválvula de control de presión de carga hidrostática perdida.	NO	B5	B5	D3	B5	2.000.000

SPH-MF14	Cableado de señal de accionamiento de electroválvula de control de presión de carga hidrostática rotos.	NO	B5	B5	D3	B5	2.000.000
SPH-MF15	Potenciómetro de la perilla de ajuste de la señal de accionamiento de la electroválvula de control de presión de carga hidrostática quemada por sobre voltaje.	NO	B5	B5	D4	B5	1.000.000
SPH-MF16	Eje cardan fracturado	NO	B5	C2	C3	B5	50.000.000
SPH-MF17	Tornillos de sujeción del eje cardan rotos.	NO	B5	C2	C3	B5	50.000.000
SPH-MF18	Válvula de cierre de la línea de succión de la bomba hidrostática cerrada.	NO	B5	B5	C3	B5	7.000.000
SPH-MF19	Filtro de la línea de succión de la bomba hidrostática obstruido por partículas contaminantes.	NO	B5	B5	F4	B5	1.000.000
SPH-MF20	Mecanismo de cambio de inclinación de los pistones de la bomba hidrostática con partes rotas.	NO	B5	B5	C2	B5	60.000.000
SPH-MF21	Desgaste de partes internas de la bomba hidrostática	NO	B5	B5	C2	B5	60.000.000
SPH-MF22	Mecanismo de cambio de inclinación de los pistones del motor hidrostático con partes rotas.	NO	B5	B5	C2	B5	60.000.000
SPH-MF23	Desgaste de partes internas del motor hidrostático	NO	B5	B5	C2	B5	60.000.000
SPH-MF24	Fuga de aceite por mangueras y conexiones del sistema hidrostático.	NO	B5	B5	C3	B5	5.000.000
SPH-MF25	Válvula de control de presión del sistema hidrostático con desgaste en partes internas.		B5	B5	C3	B5	5.000.000
SPH-MF26	Tacómetro descalibrado	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
SPH-MF27	Display del medidor no enciende	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
SPH-MF28	Cableado del tacómetro rotos	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
SPH-MF29	Interruptor de control de dirección de giro con señal perdida.	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
SPH-MF30	Cableado de señal del interruptor de control de dirección de giro rotos.	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
SPH-MF31	Solenoides de la válvula piloto de control de dirección de giro quemadas por sobre voltaje	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
SPH-MF32	Válvula piloto de control de dirección de giro bloqueada en una posición por contaminación.	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
SPH-MF33	Obstrucción en mangueras de señal piloto de la válvula de control de dirección motor hidrostático.	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
SPH-MF34	Válvula de control de dirección motor hidrostático bloqueada en una posición por contaminación.	NO	B5	B5	C4	B5	1.000.000
SPH-MF35	Señal del interruptor de parada de emergencia perdida.	SI	B5	C3	C4	B5	1.000.000
SPH-MF36	Cableado de señal del interruptor de parada de emergencia rotos.	SI	B5	C3	C4	B5	1.000.000

Tabla 28. Análisis de riesgo sistema de Bomba Sumidero.

Cód. MF	Modo de Falla	FALLA OCULTA	R.A	R.H	R.E	R.I	Valor económico del riesgo (\$)
SBS-MF1	CARCASA FRACTURADA	NO	B5	B5	A3	C5	8M
SBS-MF2	IMPELER FRACTURADO	NO	C5	B5	B2	C5	1M
SBS-MF3	RODAMIENTOS FRACTURADO POR SOBRECARGAS	NO	D5	B5	B2	C5	0,05M
SBS-MF4	MANGUERA OBSTRUIDA	NO	D5	B5	C1	C5	0,01M
SBS-MF5	SELLO DESGASTADO	NO	D4	B5	C1	C5	0,01M
SBS-MF6	FILTRO TAPADO	NO	E4	B5	C1	C5	0,03M
SBS-MF7	FILTRO ROTO	NO	E4	C5	C1	C5	0,03M
SBS-MF8	Daño del controlador/indicador de nivel del aceite.	NO	C5	A5	B1	C5	0,03M
SBS-MF9	Señal de indicación del nivel del aceite perdida.	NO	C5	A5	B1	C5	0,03M
SBS-MF10	CABLEADO DAÑADO	NO	D5	A5	B1	C5	0,03M
SBS-MF11	PARTES INTERNAS DEL BOTON OXIDADAS	SI	A5	A5	B1	C5	0,03M
SBS-MF12	Daño del controlador/indicador de nivel del aceite.	NO	C5	A5	B1	C5	0,03M
SBS-MF13	Señal de indicación del nivel del aceite perdida.	NO	C5	A5	B1	C5	0,03M
SBS-MF14	BOMBILLO / LED FUNDIDO	NO	C5	A5	B1	C5	0,03M
SBS-MF15	PARPADEO EN LA SEÑAL LUMINOSA	NO	D5	A5	B1	C5	0,03M
SBS-MF16	SEÑAL ELECTRICA POBRE	SI	D5	A5	B1	C5	0,03M
SBS-MF17	BOMBILLO FUNDIDO	NO	C5	A5	B1	C5	0,03M
SBS-MF18	PARPADEO EN LA SEÑAL LUMINOSA	NO	D5	A5	B1	C5	0,03M
SBS-MF19	SEÑAL ELÉCTRICA POBRE	SI	D5	A5	B1	C5	0,03M
SBS-MF20	FUGAS EN LAS UNIONES POR LOS EMPAQUES Y/O SELLOS	NO	E5	E5	C2	C5	0,03M
SBS-MF21	DEPOSITO DEFORMADO	NO	B1	A3	A2	C5	0,03M

Tabla 29. Análisis de riesgos Sistema de Diálisis.

Cód. MF	Modo de Falla	FALLA OCULTA	R.A	R.H	R.E	R.I	Valor económico del riesgo (\$)
SD-MF1	FILTRO TAPADO	NO	E5	A5	E4	E5	0,04M
SD-MF2	FILTRO ROTO	NO	E4	C4	E3	E5	2.5M
SD-MF3	CONTROLADOR AVERIADO	NO	E5	E4	D3	E5	3M
SD-MF4	SEÑAL DE INDICACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL ACEITE QUE CIRCULA POR LOS ENFRIADORES DEL SISTEMA PÉRDIDA.	NO	E5	E4	D3	E5	3M
SD-MF5	CABLEADO DE SEÑAL DE INDICACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL ACEITE QUE	NO	E5	E4	D3	E5	3M

	CIRCULA POR LOS ENFRIADORES DEL SISTEMA ROTOS.						
SD-MF6	SEÑAL DE CONTROL PARA EL ENCENDIDO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PÉRDIDA.	NO	E5	E4	D3	E5	3M
SD-MF7	CABLEADO DE LA SEÑAL DE CONTROL DE ENCENDIDO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ROTOS.	NO	E5	E4	D3	E5	3M
SD-MF8	BOMBILLO FUNDIDO	NO	E5	E5	D3	E5	2M
SD-MF9	PARPADEO EN LA SEÑAL LUMINOSA	NO	E5	E5	C4	E5	0,05M
SD-MF10	SEÑAL ELECTRICA POBRE	SI	E5	E5	C4	E5	0,05M
SD-MF11	BOMBILLO FUNDIDO	NO	E5	E5	D3	E5	2M
SD-MF12	PARPADEO EN LA SEÑAL LUMINOSA	NO	E5	E5	D3	E5	4M
SD-MF13	SEÑAL ELECTRICA POBRE	SI	E5	E5	C4	E5	0,05M
SD-MF14	FUGAS EN LAS UNIONES POR LOS EMPAQUES Y/O SELLOS	NO	E3	E5	E4	E5	0,05M
SD-MF15	DEPOSITO DEFORMADO	NO	E3	E5	B2	E5	15M

Tabla 30. Análisis de riesgos sistema de enfriamiento.

Cód. MF	Modo de Falla	FALLA OCULTA	R.A	R.H	R.E	R.I	Valor económico del riesgo (\$)
SE-MF1	Tarjeta electrónica del controlador/indicador de temperatura del aceite contaminada por efectos ambientales.	SI	B5	A5	F2	A5	30.000.000
SE-MF2	Tarjeta electrónica del controlador/indicador de temperatura del aceite quemada por sobre voltaje.	SI	B5	A5	F2	A5	30.000.000
SE-MF3	Señal de indicación de la temperatura del aceite que circula por los enfriadores del sistema pérdida.	SI	A5	A5	F2	A5	30.000.000
SE-MF4	Cableado de señal de indicación de la temperatura del aceite que circula por los enfriadores del sistema rotos.	SI	A5	A5	F2	A5	30.000.000
SE-MF5	Señal de control para el encendido del sistema de enfriamiento perdida.	SI	A5	A5	F2	A5	30.000.000
SE-MF6	Cableado de la señal de control de encendido del sistema de enfriamiento rotos.	SI	A5	A5	F2	A5	30.000.000
SE-MF7	Interruptores de encendido de los motores eléctricos en posición OFF.	SI	A5	A5	F2	A5	30.000.000
SE-MF8	Interruptor general de encendido del suministro de alimentación de los motores eléctricos en posición OFF.	SI	A5	A5	F2	A5	30.000.000
SE-MF9	Cableado de alimentación de los motores eléctricos rotos.	SI	A5	A5	B2	A5	25.000.000
SE-MF10	Motores eléctricos de las bombas centrifugas quemados por sobre voltaje.	SI	A5	A5	B2	A5	25.000.000
SE-MF11	Rodamientos de los motores eléctricos pegados.	SI	A5	A5	C3	A5	40.000.000

SE-MF12	Tarjeta electrónica del controlador/indicador de temperatura del aceite contaminada por efectos ambientales.	NO	B5	A5	C4	A5	1.000.000
SE-MF13	Interruptores de encendido de los motores eléctricos en posición MANUAL.	NO	A5	A5	F4	A5	1.000.000
SE-MF14	Bajo nivel de refrigerante en el depósito del sistema.	SI	A5	A5	D3	A5	10.000.000
SE-MF15	Obstrucción por suciedad de la línea de succión de la bomba centrífuga.	SI	A5	A5	D3	A5	10.000.000
SE-MF16	Partes internas de la bomba centrífuga rotas.	SI	A5	A5	B3	A5	10.000.000
SE-MF17	Fuga de refrigerante por el sello mecánico de la carcasa de la bomba centrífuga.	SI	D4	A5	C4	A5	1.000.000
SE-MF18	Señal de control para el accionamiento de las electroválvulas de los enfriadores de aceite perdida.	SI	A5	A5	F2	A5	25.000.000
SE-MF19	Cableado de la señal de control para el accionamiento de las electroválvulas de los enfriadores de aceite rotos.	SI	A5	A5	F2	A5	25.000.000
SE-MF20	Electroválvulas de los enfriadores de aceite obstruidas.	SI	A5	A5	F2	A5	20.000.000
SE-MF21	Obstrucción por suciedad de los enfriadores de aceite.	SI	A5	A5	F2	A5	20.000.000
SE-MF22	Tuberías y conexiones del sistema de enfriamiento con fugas.	SI	C4	A5	B3	A5	10.000.000
SE-MF23	Interruptores de encendido de los motores eléctricos en posición OFF.	SI	A5	A5	F2	A5	30.000.000
SE-MF24	Interruptor general de encendido del suministro de alimentación de los motores eléctricos en posición OFF.	SI	A5	A5	F2	A5	30.000.000
SE-MF25	Cableado de alimentación de los motores eléctricos rotos.	SI	A5	A5	B2	A5	30.000.000
SE-MF26	Motores eléctricos de las bombas centrífugas quemados por sobre voltaje.	SI	A5	A5	B2	A5	30.000.000
SE-MF27	Rodamientos de los motores eléctricos pegados.	SI	A5	A5	C3	A5	8.000.000

7.6 SELECCIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO Y FRECUENCIA.

Los tipos de decisión y tareas de mantenimiento se definen mediante el DIAGRAMA DE DIAGNÓSTICO DE DECISIÓN SAE.

Tabla 31. Tareas de Mantenimiento Suministro Auxiliar.

Modo de Falla	Riesgo.	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS
Señal del interruptor de encendido/apagado general del banco de pruebas perdida.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de señal del interruptor general de encendido del banco hidráulico rotos.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Interruptor de parada de emergencia activado.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que el interruptor de parada de emergencia este desactivado.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Interruptor encendido del sistema de diálisis del banco hidráulico en posición OFF.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que el interruptor de encendido no esté en posición OFF.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Señal del interruptor de encendido del motor principal pérdida.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de señal del interruptor de encendido del motor principal rotos.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Perilla de ajuste de caudal en posición diferente de cero.	BAJO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que la perilla no este en posición cero.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Perilla de ajuste de presión en posición diferente de cero.	BAJO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que la perilla no este en posición cero.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Cableado de alimentación del motor principal rotos.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Motor principal quemado por sobre voltaje.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE MOTOR	48	SUPERVISOR, TECNICO/HERRAMIENTAS

Rodamientos del motor principal pegados.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	VERIFICAR RODAMIENTO Y/O REPARARLO, CAMBIARLO.	6	TECNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Bajo nivel de aceite de tanque principal.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	VERIFICAR NIVEL DE ACEITE MAXIMO Y MINIMO	6	SUPERVISOR/HERRAMIENTAS VARIAS, ACEITE HIDRAULICO.
Válvula de cierre de la línea de succión de la bomba AUX cerrada.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que la válvula de cierre este abierta.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Cámara de bombeo de la bomba con elementos rotos.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	VERIFICAR RUIDOS EN EL FUNCIONAMIENTO/ DESARMAR/CAMBIAR PARTES DAÑADAS	48	SUPERVISOR/HERRAMIENTAS VARIAS.
Válvula de cierre de la línea de succión de la bomba piloto de actuación del plato oscilante de la bomba AUX.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que la válvula de cierre este abierta.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Filtro de la línea de succión de la bomba piloto obstruido por partículas contaminantes.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA DE FILTRO	12	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME
Bomba piloto con engranajes desgastados o rotos.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE PARTES DAÑADAS	12	TÉCNICO, HERRAMIENTAS DE DESARME
Mecanismo de cambio de inclinación de los pistones de la bomba AUX con partes rotas.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE PARTES DAÑADAS	12	TÉCNICO, HERRAMIENTAS DE DESARME
Electroválvula de ajuste de caudal de la bomba AUX obstruida por contaminación.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA DE ELECTROVÁLVULA	12	TECNICO,SUPERVISOR/HERRAMIENTAS DE DESARME
Señal de accionamiento de electroválvula de ajuste de caudal perdida.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de señal de accionamiento de electroválvula de ajuste de caudal roto.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Potenciómetro de la perilla de ajuste de la señal de accionamiento de la electroválvula de control de caudal quemada por sobre voltaje.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE POTENCIOMETRO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / POTENCIOMETRO

Electroválvula de ajuste de presión de suministro de la bomba AUX obstruida por contaminación.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA DE ELECTROVÁLVULA	12	TECNICO,SUPERVISOR/HERRAMIENTAS D EDESARME
Señal de accionamiento de electroválvula de ajuste de presión de suministro de la bomba AUX perdida.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de señal de accionamiento de electroválvula de ajuste de caudal roto.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Potenciómetro de la perilla de ajuste de la señal de accionamiento de la electroválvula de control de presión quemada por sobre voltaje.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE POTENCIÓMETRO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / POTENCIOMETRO
Manómetro descalibrado.	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	CALIBRAR MANÓMETRO	4	TECNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Indicador de presión del manómetro sucio.	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA GENERAL EN EL INDICADOR DEL MANÓMETRO	4	TECNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Conducto para toma de presión obstruido.	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA CONDUCTO	12	TECNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Caudalímetro descalibrado	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	CALIBRAR CAUDALÍMETRO	12	TECNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Display del medidor no enciende	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	VERIFICAR ESTADO DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPLAY	36	TECNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Cableado del Caudalímetro rotos	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Señal del interruptor de parada de emergencia perdida.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de señal del interruptor de parada de emergencia rotos.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO

Tabla 32. Tareas de Mantenimiento sistema de propulsión hidrostático.

Modo de Falla	Riesgo.	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS
Señal del interruptor de encendido/apagado general del banco de pruebas perdida.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de señal del interruptor general de encendido del	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO

banco hidráulico rotos.					
Interruptor de parada de emergencia activado.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que el interruptor de parada de emergencia este desactivado..	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Interruptor encendido del sistema de diálisis del banco hidráulico en posición OFF.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que el interruptor de encendido no esté en posición OFF..	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Señal del interruptor de encendido del motor principal pérdida.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de señal del interruptor de encendido del motor principal rotos.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Perilla de ajuste de caudal en posición diferente de cero.	BAJO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que la perilla n o este en posición cero.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Perilla de ajuste de presión en posición diferente de cero.	BAJO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que la perilla n o este en posición cero.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Cableado de alimentación del motor principal rotos.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Motor principal quemado por sobre voltaje.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE MOTOR	48	SUPERVISOR, TECNICO/HERRAMIENTAS
Rodamientos del motor principal pegados.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	VERIFICAR RODAMIENTO Y/O REPARARLO, CAMBIARLO.	6	TECNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Electroválvula de control de presión de carga hidrostática obstruida por contaminación.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA DE ELECTROVÁLVULA	12	TECNICO,SUPERVISOR/HERRAMIENTAS D EDARME

Señal de accionamiento de electroválvula de control de presión de carga hidrostática perdida.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de señal de accionamiento de electroválvula de control de presión de carga hidrostática rotos.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Potenciómetro de la perilla de ajuste de la señal de accionamiento de la electroválvula de control de presión de carga hidrostática quemada por sobre voltaje.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE POTENCIÓMETRO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / POTENCIOMETRO
Eje cardan fracturado	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE EJE CARDÁN	48	SUPERVISOR, TÉCNICO/HERRAMIENTAS ESPECIALES
Tornillos de sujeción del eje cardan rotos.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE TORNILLOS	48	TECNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Válvula de cierre de la línea de succión de la bomba hidrostática cerrada.	MEDIO	TAREA DE MONITOREO DE CONDICIÓN	REALIZAR INSPECCIÓN PREOPERACIONAL DEL EQUIPO ANTES DE LA REALIZACIÓN DE CADA PRUEBA. VERIFICAR POSICIÓN DE VÁLVULAS DE CIERRE.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCIÓN PREOPERACIONAL
Filtro de la línea de succión de la bomba hidrostática obstruido por partículas contaminantes.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA DE FILTRO	12	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME
Mecanismo de cambio de inclinación de los pistones de la bomba hidrostática con partes rotas.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE PARTES DAÑADAS	48	SUPERVISOR, TECNICOS/HERRAMIENTAS VARIAS
Desgaste de partes internas de la bomba hidrostática	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	VERIFICAR PARTES CON DESGASTE Y CAMBIARLAS	12	TÉCNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Mecanismo de cambio de inclinación de los pistones del motor hidrostático con partes rotas.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE PARTES DAÑADAS	48	SUPERVISOR, TECNICOS/HERRAMIENTAS VARIAS
Desgaste de partes internas del motor hidrostático	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	VERIFICAR PARTES CON DESGASTE Y CAMBIARLAS	12	TÉCNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Fuga de aceite por mangueras y conexiones del sistema hidrostático.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	VISUALIZAR FUGAS / AJUSTAR ACOUPLE DE MANGUERA Y/O CAMBIARLA	6	TÉCNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.

Válvula de control de presión del sistema hidrostático con desgaste en partes internas.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	VERIFICAR PARTES CON DESGASTE Y CAMBIARLAS	12	TÉCNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Tacómetro descalibrado	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACION	CALIBRAR TACÓMETRO	4	TÉCNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Display del medidor no enciende	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACION	VERIFICAR ESTADO DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPLAY	36	TECNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Cableado del tacómetro rotos	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Interruptor de control de dirección de giro con señal perdida.	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de señal del interruptor de control de dirección de giro rotos.	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Solenoides de la válvula piloto de control de dirección de giro quemadas por sobre voltaje	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE SOLENOIDE	48	SUPERVISOR/HERRAMIENTAS VARIAS
Válvula piloto de control de dirección de giro bloqueada en una posición por contaminación.	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA INTERNA DE SOLENOIDE	24	TECNICOS/HERRAMIENTAS VARIAS
Obstrucción en mangueras de señal piloto de la válvula de control de dirección motor hidrostático.	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA DE MANGUERA	36	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME
Válvula de control de dirección motor hidrostático bloqueada en una posición por contaminación.	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA INTERNA DE SOLENOIDE	24	TECNICOS/HERRAMIENTAS VARIAS
Señal del interruptor de parada de emergencia perdida.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de señal del interruptor de parada de emergencia rotos.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO

Tabla 33. Tareas de Mantenimiento Sistema de Bomba Sumidero.

Modo de Falla	Riesgo.	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS
CARCASA FRACTURADA	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	SUPERVISIÓN VISUAL DE LAS FUGAS EN LA CARCASA, CAMBIO DE BOMBA.	60	TÉCNICO, SUPERVISOR. HERRAMIENTAS DE DESARME

IMPELER FRACTURADO	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE IMPELER	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS DE DESARME
RODAMIENTOS FRACTURADO POR SOBRECARGAS	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE RODAMIENTO	36	TÉCNICO, HERRAMIENTAS DE DESARME
MANGUERA OBSTRUIDA	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA DE MANGUERA	36	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME
SELLO DESGASTADO	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE SELLO	12	TÉCNICO, HERRAMIENTAS DE DESARME
FILTRO TAPADO	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA DE FILTRO	12	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME
FILTRO ROTO	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE FILTRO	6	TÉCNICO, HERRAMIENTAS DE DESARME
Daño del controlador/indicador de nivel del aceite.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CONTROLADOR	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS
Señal de indicación del nivel del aceite perdida.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
CABLEADO DAÑADO	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
PARTES INTERNAS DEL BOTON OXIDADAS	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE BOTON	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / BOTÓN DE EMERGENCIA
Daño del controlador/indicador de nivel del aceite.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CONTROLADOR	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS
Señal de indicación del nivel del aceite perdida.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
BOMBILLO / LED FUNDIDO	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE BOMBILLO	36	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / BOMBILLO /LED
PARPADEO EN LA SEÑAL LUMINOSA	ALTO	TAREA DE DETECCIÓN DE FALLAS	VERIFICAR SEÑAL ELECTRICA Y VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO / CABLEADO
SEÑAL ELECTRICA POBRE	ALTO	TAREA DE DETECCIÓN DE FALLAS	VERIFICAR SEÑAL ELECTRICA Y VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO / CABLEADO
BOMBILLO FUNDIDO	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE BOMBILLO	36	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / BOMBILLO /LED
PARPADEO EN LA SEÑAL LUMINOSA	ALTO	TAREA DE DETECCIÓN DE FALLAS	VERIFICAR SEÑAL ELECTRICA Y	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS

			VERIFICAR CABLEADO		DESARME / MULTIMETRO / CABLEADO
SEÑAL ELECTRICA POBRE	ALTO	TAREA DE DETECCIÓN DE FALLAS	VERIFICAR SEÑAL ELECTRICA Y VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO / CABLEADO
FUGAS EN LAS UNIONES POR LOS EMPAQUES Y/O SELLOS	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIAR SELLOS Y EMPAQUES	36	TÉCNICO, HERRAMIENTAS DE DESARME
DEPOSITO DEFORMADO	ALTO	MANTENIMIENTO NO PROGRAMADO	REDISEÑO DEL DEPOSITO	1440	ESPECIALISTAS, INGENIEROS. SOFTWARE.

Tabla 34. Tareas de Mantenimiento Sistema De Diálisis.

Modo de Falla	Riesgo.	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS
FILTRO TAPADO	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA DE FILTRO	12	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME
FILTRO ROTO	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE FILTRO	6	TÉCNICO, HERRAMIENTAS DE DESARME
CONTROLADOR AVERIADO	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CONTROLADOR	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS
Señal de indicación de la temperatura del aceite que circula por los enfriadores del sistema perdida.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de señal de indicación de la temperatura del aceite que circula por los enfriadores del sistema rotos.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS
Señal de control para el encendido del sistema de enfriamiento perdida.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de la señal de control de encendido del sistema de enfriamiento rotos.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS
BOMBILLO FUNDIDO	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE BOMBILLO	36	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / BOMBILLO /LED
PARPADEO EN LA SEÑAL LUMINOSA	BAJO	TAREA DE DETECCIÓN DE FALLAS	VERIFICAR SEÑAL ELECTRICA Y VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO / CABLEADO
SEÑAL ELECTRICA POBRE	BAJO	TAREA DE DETECCIÓN DE FALLAS	VERIFICAR SEÑAL ELECTRICA Y	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS

			VERIFICAR CABLEADO		DESARME / MULTÍMETRO / CABLEADO
BOMBILLO FUNDIDO	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE BOMBILLO	36	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / BOMBILLO /LED
PARPADEO EN LA SEÑAL LUMINOSA	MEDIO	TAREA DE DETECCIÓN DE FALLAS	VERIFICAR SEÑAL ELECTRICA Y VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO / CABLEADO
SEÑAL ELECTRICA POBRE	BAJO	TAREA DE DETECCIÓN DE FALLAS	VERIFICAR SEÑAL ELECTRICA Y VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO / CABLEADO
FUGAS EN LAS UNIONES POR LOS EMPAQUES Y/O SELLOS	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIAR SELLOS Y EMPAQUES	36	TÉCNICO, HERRAMIENTAS DE DESARME
DEPOSITO DEFORMADO	ALTO	MANTENIMIENTO NO PROGRAMADO	REDISEÑO DEL DEPOSITO	1440	ESPECIALISTAS, INGENIEROS. SOFTWARE.

Tabla 35. Tareas de Mantenimiento Sistema De Enfriamiento.

Modo de Falla	Riesgo.	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCION TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS
Tarjeta electrónica del controlador/indicador de temperatura del aceite contaminada por efectos ambientales.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACION	LIMPIAR TARJETA ELECTRONICA	6	TÉCNICO/HERRAMIENTAS, LIMPIADOR DE COMPONENTES ELECTRONICOS
Tarjeta electrónica del controlador/indicador de temperatura del aceite quemada por sobre voltaje.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO TARJETA ELECTRONICA	36	TÉCNICO/HERRAMIENTAS VARIAS
Señal de indicación de la temperatura del aceite que circula por los enfriadores del sistema perdida.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de señal de indicación de la temperatura del aceite que circula por los enfriadores del sistema rotos.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Señal de control para el encendido del sistema de enfriamiento perdida.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DESARME / MULTIMETRO
Cableado de la señal de control de encendido del sistema de enfriamiento rotos.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO

Interruptores de encendido de los motores eléctricos en posición OFF.	ALTO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que los interruptores de encendido de los motores eléctricos no estén en posición OFF.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Interruptor general de encendido del suministro de alimentación de los motores eléctricos en posición OFF.	ALTO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que el interruptor general de encendido del suministro de alimentación de los motores eléctricos no esté en posición OFF.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Cableado de alimentación de los motores eléctricos rotos.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Motores eléctricos de las bombas centrífugas quemados por sobre voltaje.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE MOTOR	48	SUPERVISOR, TECNICO/HERRAMIENTAS
Rodamientos de los motores eléctricos pegados.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	VERIFICAR RODAMIENTO Y/O REPARARLO, CAMBIARLO.	6	TÉCNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Tarjeta electrónica del controlador/indicador de temperatura del aceite contaminada por efectos ambientales.	BAJO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACION	LIMPIAR TARJETA ELECTRONICA	6	TÉCNICO/HERRAMIENTAS, LIMPIADOR DE COMPONENTES ELECTRONICOS
Interruptores de encendido de los motores eléctricos en posición MANUAL.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar protocolo de inspección del equipo después de finalizar cada prueba, en donde se haga la verificación de que los interruptores de encendido de los motores eléctricos del sistema de enfriamiento no estén en posición MANUAL.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, PROTOCOLO DE FINALIZACION DE PRUEBA.
Bajo nivel de refrigerante en el depósito del sistema.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	VERIFICAR NIVEL DE ACEITE MAXIMO Y MINIMO	6	SUPERVISOR/HERRAMIENTAS VARIAS, ACEITE HIDRAULICO.

Obstrucción por suciedad de la línea de succión de la bomba centrífuga.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA EN LA SUCCION DE LA BOMBA	3	SUPERVISOR/HERRAMIENTAS VARIAS
Partes internas de la bomba centrífuga rotas.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE PARTES DAÑADAS	12	TÉCNICO, HERRAMIENTAS DE DESARME
Fuga de refrigerante por el sello mecánico de la carcasa de la bomba centrífuga.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE SELLO	12	TÉCNICO, HERRAMIENTAS DE DESARME
Señal de control para el accionamiento de las electroválvulas de los enfriadores de aceite perdida.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	MEDIR SEÑAL DE INDICACIÓN/VERIFICAR CABLEADO	48	EQUIPO DE ESPECIALISTAS, HERRAMIENTAS DE DESARME / MULTIMETRO
Cableado de la señal de control para el accionamiento de las electroválvulas de los enfriadores de aceite rotos.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO
Electroválvulas de los enfriadores de aceite obstruidas.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA DE ELECTROVALVULA	12	TECNICO,SUPERVISOR/HERRAMIENTAS DE DESARME
Obstrucción por suciedad de los enfriadores de aceite.	ALTO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	LIMPIEZA DE DUCTOS	12	TECNICO,SUPERVISOR/HERRAMIENTAS DE DESARME
Tuberías y conexiones del sistema de enfriamiento con fugas.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	VISUALIZAR FUGAS / AJUSTAR ACOPLÉS Y/O CAMBIAR SELLOS	6	TECNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.
Interruptores de encendido de los motores eléctricos en posición OFF.	ALTO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que los interruptores de encendido de los motores eléctricos no estén en posición OFF.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Interruptor general de encendido del suministro de alimentación de los motores eléctricos en posición OFF.	ALTO	TAREA PROGRAMADA BASADA EN CONDICION	Realizar una inspección preoperacional del equipo antes de cada prueba en donde se haga la verificación de que el interruptor general de encendido del suministro de alimentación de los motores eléctricos no esté en posición OFF.	DIARIA	OPERADOR DEL EQUIPO, FORMATO DE INSPECCION PREOPERACIONAL
Cableado de alimentación de los motores eléctricos rotos.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE CABLEADO	48	TÉCNICO, HERRAMIENTAS VARIAS / CABLEADO

Motores eléctricos de las bombas centrifugas quemados por sobre voltaje.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE CAMBIO	CAMBIO DE MOTOR	48	SUPERVISOR, TECNICO/HERRAMIENTAS
Rodamientos de los motores eléctricos pegados.	MEDIO	TAREA PROGRAMADA DE RESTAURACIÓN	VERIFICAR RODAMIENTO Y/O REPARARLO, CAMBIARLO.	6	TECNICO/HERRAMIENTAS VARIAS.

8 CONCLUSIONES.

- Se logró determinar mediante el análisis de criticidad, que cinco de los 16 sistemas evaluados son críticos y siete son medianamente críticos. De estos solo se realizarán los estudios a los sistemas críticos.
- Se definieron las funciones y las fallas funcionales de los sistemas, circuitos y componentes del banco de pruebas que tuvieron el mayor puntaje en el análisis de criticidad.
- Realizar entrenamiento a los operadores por parte del supervisor para las buenas prácticas operacionales del equipo.
- Los factores que más predominaron en los cinco sistemas al momento de la calificación para los análisis de modo y efecto de falla fueron: el costo de reparación para el sistema de enfriamiento hidráulico, impacto a la producción para los sistemas de suministro auxiliar, presión hidrostática y sistema de diálisis. Para el tiempo promedio entre fallas los resultados dieron el sistema de presión hidrostática como el más crítico. En el impacto al medio ambiente los sistemas críticos fueron el suministro auxiliar y presión hidrostática. Y en la frecuencia de fallas el sistema de diálisis y bomba sumidero fueron los de más calificación.
- Se definen las tareas de mantenimiento y tipo de intervención que se deben realizar a cada sistema crítico, con el fin de mejorar las condiciones operacionales del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

AMENDOLA, Luis. [En línea]. Disponible en internet:
<http://www.mailxmail.com/curso-confiabilidad-operacional/evolucion-mantenimiento-centrado-confiabilidad>

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Mexico, Aladon, 2004. 421 p.

NOWLAN. Stanley, Reliability-Centered Maintenance. San Francisco: U.S. Department of Commerce, 1978. 2-30 p.

ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO. Bucaramanga: UIS 2010

ROMERO, Claudia. ARIAS, Álvaro y SARMIENTO, Leonardo. Estrategia de mantenimiento basada en RCM para un gasoducto de transporte tramo OTERO SANTANA. Universidad industrial de Santander. Facultad de Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2014. 86 p

SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers Inc, 1999. 30 p.