



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN AL PROCESO DE CONFIABILIDAD
DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE
MANTENIMIENTO (IPM) EN MINEROS ALUVIAL**

Autor

VÍCTOR DANIEL HENAO SÁNCHEZ

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

Medellín, Colombia

2021



INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN AL PROCESO DE CONFIABILIDAD DE
LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE
MANTENIMIENTO (IPM) EN MINEROS ALUVIAL

Víctor Daniel Henao Sánchez

Informe de semestre de industria presentado como requisito parcial para optar
al título de:

Ingeniero Mecánico

Asesores:

Sebastián Sarmiento Ruiz, Ingeniero Mecánico

Juan Carlos Orrego Barrera, Ingeniero Mecánico

Área de Ingeniería y Planeación del Mantenimiento

Proceso de Confiabilidad

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería Mecánica

Medellín, Colombia

2021

TABLA DE CONTENIDO

1. Resumen.....	5
2. Introducción	6
3. Objetivos.....	8
3.1 Objetivo General.....	8
3.2 Objetivos Específicos	8
4. Marco Teórico.....	8
5. Glosario.....	10
6. Metodología	12
7. Cotejar los Indicadores de Confiabilidad de Mineros Aluvial	13
7.1 Métricas de Evaluación Basadas en Elementos Necesarios dentro del Proceso de Confiabilidad.	13
7.1.1 Tarjeta de Puntuación del Programa de Confiabilidad.	13
7.2 Indicadores Utilizados en el Proceso Confiabilidad de Mineros Aluvial.	16
7.2.1 Contratos de Desempeño	17
7.2.2 ABC de Paros.....	18
7.2.3 NPI Semanal	18
7.2.4 RCA Análisis de Causa Raíz.	19
7.2.4.1 Operación Aluvial.....	19
7.2.4.1.1 Dragas de Cucharas	19
7.2.4.1.2 Dragas de Succión	19
7.2.4.2 PCH.....	19
7.2.4.3 Maquinaria Pesada y Motores Fuera de Borda.....	19
7.2.5 Informe de Seguimiento de Materiales a Prueba	20
7.2.6 Informes de Análisis Predictivos	20
7.2.6.1 Análisis de Aceites en Uso	20
7.2.6.2 Análisis de Vibraciones	24
7.3 Evaluación de los Elementos del Proceso de Confiabilidad de Mineros.....	25
7.4 Desarrollo de Herramientas de Análisis que Permitan Definir Rápidamente Acciones de Mejora	27
7.4.1 Tablero de Manejo e Interacción de Datos en POWER BI	27
8. Conocer e Indagar Sobre las Competencias del Personal que Participa del Proceso de Confiabilidad (Propio y Contratado).	29

8.1 Personal que Apoya al Proceso de Confiabilidad.....	29
8.2. Formación del Personal que Apoya al Proceso de Confiabilidad.....	35
8.2.1 Personal Interno	35
8.2.2 Gerencia de la Cadena de Abastecimiento	35
8.2.2.1 Dirección de Ingeniería y planeación del Mantenimiento	35
8.2.2.2 Dirección de Mantenimiento	37
8.2.3 Gerencia de Operaciones Mineras	38
9. Equipos, Instrumentos y Softwares que se Utilizan en el Proceso de Confiabilidad ...	39
9.2.1 Proveedor de Lubricantes y Servicio de Análisis de Aceite Usado (Petrobras)	41
9.2.1.2 Certificaciones del Personal que Analiza las Muestras	41
9.2.1.3 Normatividad Bajo la Cual Están Regulados los Equipos o Instrumentos Utilizados en el Análisis de Aceites.....	42
9.2.1.4 Normatividad Bajo la Cual Están Regulados los Softwares Utilizados en el Proceso de Análisis de Aceites	42
9.2.2 Proveedor de Servicio de Análisis de Vibraciones Mecánicas (A-MAQ).....	42
9.2.2.1 Formación del Personal que Analiza las Muestras de Aceite Usado.....	43
9.2.2.2 Certificaciones del Personal que Analiza las Muestras	43
9.2.2.3 Normatividad Bajo la Cual Están Regulados los Equipos o Instrumentos Utilizados en el Análisis de Vibraciones	43
10. Hallazgos	45
11. Conclusiones.....	47
12. Recomendaciones	49
13. Referencias Bibliográficas	50
14. Anexos	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Procedimiento inicial de toma de muestra de aceite. Tomado de: instructivo de toma de muestras de aceites usados PETROBRAS.....	21
Figura 2: Toma de muestra de aceite. Tomado de: instructivo de toma de muestras de aceites usados PETROBRAS.	22
Figura 3: Sellamiento de la muestra. Tomado de: instructivo de toma de muestras de aceites usados PETROBRAS	22
Figura 4: Etiqueta de marcado de muestras de aceites. Tomado de: etiqueta de marcado de muestras de aceites usados PETROBRAS.	23
Figura 5: Informe de estado de equipos analizados por aceite.	23
Figura 6:Analizador de vibraciones Fluke 810.	24
Figura 7: Informe de estado de equipos analizados por vibración.	25
Figura 8: Comparación elementos del programa de confiabilidad.....	26
Figura 9:Tablero de control de muestras de aceite usado en las distintas operaciones de Mineros Aluvial.....	28
Figura 10: Vicepresidente y junta directiva Mineros Aluvial- Colombia.	29
Figura 11:Gerencia de Abastecimientos y Proyectos.	30
Figura 12: Gerencia de Operación Minera.	32
Figura 13:Método de análisis de aceite usado.	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Síntesis de la metodología de inspección y evaluación al proceso de confiabilidad	12
Tabla 2: Aspectos del programa de confiabilidad a medir en la empresa Mineros Aluvial.	14
Tabla 3: Detalle de los aspectos y sub-aspectos del programa de confiabilidad a analizar en la empresa Mineros Aluvial.	16
Tabla 4:Parámetros Operación Aluvial.	17
Tabla 5:Parámetros PCH.	17
Tabla 6: Comparación de los elementos del proceso de Confiabilidad de Mineros vs ideales	26
Tabla 7:Dirección de Ingeniería y Planeación del Mantenimiento.	36
Tabla 8: Formación con la que cuenta el personal de Mto Mco, PCH y SAU.....	37
Tabla 9: Puestos de trabajo del personal de operación y producción (Dragas de cucharas y succión	39
Tabla 10: Inventario de instrumentos, softwares y equipos utilizados por el proceso de confiabilidad.....	41

1. Resumen

El propósito de este trabajo es realizar una inspección y evaluación al proceso de confiabilidad de la empresa Mineros Aluvial. Para este fin, se procedió en primer lugar a hacer una investigación de los indicadores que actualmente son utilizados por el área de confiabilidad de la empresa, y posteriormente compararlos con un proceso de confiabilidad ideal, desarrollado por el ingeniero estadounidense John S. Mitchell en su trabajo denominado: *Tarjeta de puntuación detallada del programa de confiabilidad*.

Durante el desarrollo de este trabajo se implementó una herramienta tecnológica de información y análisis de datos, en la cual se integraron los análisis de muestras de aceites usados en todas las operaciones de la empresa con el software Power BI. Lo anterior, con el objetivo de realizar trazabilidad a las muestras de aceite tomadas en cada equipo; además, visualizar e interactuar con la información recolectada, con el fin de tomar acciones de mejora enfocada de manera más ágil.

La evaluación realizada al proceso de confiabilidad arrojó discrepancia cualitativa entre el proceso de confiabilidad de Mineros y el proceso de confiabilidad ideal. Por un lado, hay elementos del programa de confiabilidad que no se están realizando por parte de Mineros tales como: *Mejora de la confiabilidad y predicción de la confiabilidad*. Por otro lado, elementos como *capacitación, programas de lubricación, programas de mantenimiento preventivo y análisis de tipo RCM y AMFE*, se encuentran al 50% en relación con el programa de confiabilidad ideal.

Finalmente, se analiza al personal que apoya directa e indirectamente al proceso de confiabilidad de Mineros, de igual manera, a los proveedores de servicios predictivos, las normatividades bajo las cuales están regulados, las competencias y formación de su personal.

2. Introducción

El mantenimiento ha tenido una evolución en los últimos 90 años. Aproximadamente, desde los años 30's se puede rastrear la evolución que ha tenido esta actividad a través de tres generaciones:

La primera de ellas se extiende hasta la segunda guerra mundial. Para esta época se contaba con una industria poco mecanizada, las máquinas eran simples y fáciles de operar, lo que significaba que ni el tiempo de “para” ni las fallas en los equipos eran una prioridad.

La segunda generación surgió durante la segunda guerra mundial, la premura y acelerado proceso de industrialización de la guerra aumentó la complejidad de las máquinas y disminuyó los tiempos de manufactura de bienes, lo que implicó preocuparse por los tiempos de parada de las máquinas y por la prevención de las fallas; dando surgimiento así al concepto de mantenimiento preventivo.

La tercera generación surge aproximadamente a mediados de la década de los 80's, esta se caracteriza por una mayor concientización por parte de las empresas respecto al tiempo de paro de máquinas, el cual afecta la capacidad de producción, aumenta costos operacionales y afecta el servicio al cliente. Por otra parte, la automatización, la dependencia de los activos para el normal desarrollo de las actividades cotidianas y la preocupación por las consecuencias sobre el medio ambiente, obligan a realizar tareas de mantenimiento más eficientes y basadas en la confiabilidad.

Mineros S.A.S es una compañía de exploración y explotación de oro establecida en Colombia, con más de 45 años de experiencia en minería y operaciones en Colombia, Nicaragua y Argentina. En Colombia, las operaciones mineras se realizan en el municipio de El Bagre, Bajo Cauca Antioqueño, la empresa cuenta con dos pequeñas centrales hidroeléctricas llamadas Providencia I y Providencia III ubicadas en jurisdicción del municipio de Anorí, Antioquia, a través de las cuales se provee la energía eléctrica para las operaciones de minería aluvial. (Mineros S.A.S)

La operación aluvial en Mineros se realiza en dos fases: preparación y explotación masiva, para estas operaciones se utilizan dragas de succión (DS), dragas de cucharas (DC) y maquinaria pesada (MP):

La draga de succión (preparación) extrae el suelo (capa vegetal) hasta los primeros 18 metros de profundidad aproximadamente, y lo bombea hacia la superficie para formar rellenos hidráulicos. Normalmente esta primera extracción no contiene oro (Mineros S.A.S).

La draga de cuchara (explotación masiva) extrae gravas, arcillas y arenas con contenidos de oro, desde los 18 hasta los 27 metros, aproximadamente, las cuales son beneficiadas al interior de la draga a través de procesos gravimétricos de peso y tamaño, sin la utilización de mercurio o algún agente químico contaminante. El material no aprovechable es utilizado para la elaboración de cargueros y rellenos hidráulicos sobre los cuales se dará el restablecimiento de nuevos ecosistemas (Mineros S.A.S).

El equipo de maquinaria pesada (preparación) es utilizado para apoyar las labores en la operación aluvial, entre otras actividades están: Creación de pozos para amarrar cables de proa de las DC, movimiento de materiales, creación de jarillones y levantamiento de postes de energía.

Como se mencionó anteriormente, para la explotación minera, la empresa cuenta con dos tipos de dragas: Las dragas de cucharas, las cuales son cinco y son conocidas como DC 03, DC 05, DC 10, DC 14 y DC 16; por su parte las dragas de succión son ocho; DS 11, DS 12, DS 13, DS 15, DS 17, DS 18, DS 19, DS 20.

Por otra parte, MP está conformada por buldóceres de orugas, excavadoras de orugas, excavadoras anfibias, un telehandler, un retrocargador y lanchas de carga.

El objetivo primordial del Proceso de Confiabilidad es elevar la Confiabilidad, Disponibilidad y disminuir los costos de los activos del grupo empresarial Mineros S.A.S, a través de la implementación de herramientas metodológicas como RCM, RCA, técnicas de mantenimiento predictivo y seguimiento de materiales a prueba que permitirán la optimización de los planes de mantenimiento y la disminución en los costos de operación (Mineros S.A.S 2017).

En este proyecto se busca establecer las condiciones actuales del proceso de confiabilidad mediante una inspección y evaluación de los servicios que presta a la empresa, tales como: Análisis de Causa Raíz (RCA), Gestión y Control de Compromisos de los RCA, evaluación de resultados de los RCA, seguimiento a materiales a prueba, mantenimiento basado en condición, diseño de rutinas y cartas de lubricación, RCM e Indicadores de Gestión. EL análisis de cada uno de los servicios permitirá conocer en qué situación se encuentra el proceso de Confiabilidad, identificar puntos de mejora y determinar qué acciones son necesarias para mejorar los resultados.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Identificar el estado actual del proceso de Confiabilidad de la división de Ingeniería y Planeación del Mantenimiento (IPM) para definir plan de acción.

3.2 Objetivos Específicos

- Cotejar los indicadores de confiabilidad de Mineros Aluvial.
- Indagar acerca de los conocimientos y habilidades que tiene el personal relacionado con el proceso de Confiabilidad para responder ante una tarea o actividad en el ámbito laboral.
- Identificar los tipos de equipos, instrumentos y softwares que se utilizan para el proceso de Confiabilidad.

4. Marco Teórico

El origen de la palabra confiabilidad se remonta al año 1816 y fue acuñada por el poeta Samuel Taylor Coleridge. Antes de la segunda guerra mundial el termino se refería a la repetibilidad; una prueba tras otra se consideraba confiable si se obtenían los mismos resultados repetidamente.

El uso moderno de la palabra confiabilidad fue definido por el ejército estadounidense en la década de 1940, caracterizando un producto que operaría cuando se esperaba y durante un período de tiempo específico.

Durante la segunda guerra mundial se desarrollaron nuevos sistemas electrónicos de comunicación militar como radios portátiles de tubo de vacío, detonadores de radar y detonadores electrónicos; sin embargo, estos dispositivos presentaron muchos problemas, los cuales se debieron a la falta de confiabilidad inherente de los equipos electrónicos disponibles en ese momento y a problemas de fatiga.

En 1950 se inició un grupo de estudio llamado el Grupo Asesor sobre la Confiabilidad del Equipo Electrónico. Para 1952, un informe inicial de este grupo recomendó los siguientes tres puntos para la creación de sistemas confiables:

- Mejorar la confiabilidad de los componentes.
- Establecer requisitos de calidad y confiabilidad para proveedores.
- Recopilar datos de campo y encontrar las causas fundamentales de las fallas.

Para la década de los 60's se dio más énfasis a las pruebas de confiabilidad a nivel de componentes y sistemas. De igual manera se publicó el muy utilizado predecesor del manual militar 217, que se utilizó para predecir las tasas de falla de los componentes electrónicos.

En la década de los 90's, el ritmo del desarrollo de los circuitos integrados se estaba acelerando, siendo común el uso más amplio de microcomputadoras independientes. La ingeniería de confiabilidad ahora estaba cambiando a medida que avanzaba hacia la comprensión de la física del fallo.

En la actualidad, la ingeniería de Confiabilidad es la responsable de la gestión de riesgos, la eliminación de pérdidas y la gestión de activos del ciclo de vida. Es una función estratégica, con rendición de cuentas para la gestión de activos del ciclo de vida que proporciona un aporte directo a la estrategia institucional a largo plazo. Además, garantiza la capacidad de producción, la calidad del producto y el mejor costo del ciclo de vida. Su misión es proporcionar el liderazgo proactivo, dirección y conocimientos técnicos necesarios para lograr y mantener una confiabilidad óptima, mantenimiento, vida útil y costo de ciclo de vida para los activos de una instalación, así como su proceso (Mobley, 2014)

Una de las responsabilidades de la ingeniería de confiabilidad es mantener y analizar datos de equipos y registros históricos para predecir las necesidades de mantenimiento. En este

sentido, los análisis predictivos (aceites, vibraciones, entre otros) han permitido tener un monitoreo más seguido de los dispositivos y elementos, generando así, gran cantidad de datos que combinados con técnicas de análisis facilitan la interpretación de estos, de manera que puedan ser aprovechados para la toma de decisiones y se conviertan en conocimiento para los responsables del negocio.

Por otro lado, los Indicadores asociados al proceso de confiabilidad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes. De esta manera, será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento.

Algunos de los indicadores más utilizados en el proceso de confiabilidad son: MTTR, MTBF, disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.

5. Glosario:

- **Confiabilidad:** La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene en que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es; probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas (Meza, Ortiz & Pinzón, 2006).
- **Consecuencias de falla:** Las consecuencias de una falla describen como y cuanto importa una falla (Moubray, 1997).
- **Disponibilidad:** La confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado (Meza, Ortiz & Pinzón, 2006).
- **Efectos de falla:** Los efectos de falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla (Moubray, 1997).
- **Falla:** Esencialmente, una falla de un sistema es cualquier evento o colección de eventos que hace que el sistema pierda su funcionalidad, donde la funcionalidad, es la

característica inherente de un producto relacionado con su capacidad para realizar una función específica de acuerdo con los requisitos especificados en las condiciones de funcionamiento especificadas (Knezevic, 1993).

- **Mantenibilidad:** La probabilidad de restablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos (Monchy, 1989).
- **Mantenimiento Autónomo:** El Mantenimiento Autónomo es una estructura de gerencia industrial, que involucra sistemas de dirección, cultura organizacional y talento humano, buscando racionalizar la gestión de todos los recursos que integran el proceso productivo, de manera que puedan optimizarse tanto su rendimiento, como su productividad (Lucio, 2008).
- **Modo de falla:** Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional (Moubray, 1997).
- **TMEF:** Tiempo Medio Entre Fallas – MTBF en inglés.
- **TMPR:** Tiempo Medio Para la Reparación – MTTR en inglés.
- **TPM:** “El TPM se orienta a crear un sistema corporativo que maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo un sistema que previene todas las pérdidas en todas las operaciones de las empresas. Esto incluye cero accidentes, cero defectos y cero fallos en todo el ciclo de vida del sistema productivo. Se aplica en todos los sectores incluyendo producción, desarrollo y departamentos administrativos. Se apoya en la participación de todos los integrantes de la empresa, desde la alta dirección hasta los niveles operativos. La obtención de cero pérdidas se logra a través del trabajo de pequeños equipos”. JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance).
- **5`S:** Es una técnica que comprende una serie de actividades que nos ayudan a mantener ambientes de trabajo limpios, ordenados, productivos y seguros. Toma su nombre por las siglas de las cinco palabras en japonés : Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke dadas a conocer en occidente al inicio de los 90`s , con un enfoque inicial a las áreas de

manufactura. Sus equivalentes en inglés 5C's Clear out, Configure, Clean and check, Conformity, Custom and practice (O'hEocha, 2000).

6. Metodología

En la tabla 1, se puede observar la síntesis de la metodología utilizada para el desarrollo de los objetivos propuestos, mediante la realización de actividades puntuales de investigación de los indicadores, procesos, recurso humano, herramientas, entre otros; llevados a cabo en el proceso de Confiabilidad de Mineros Aluvial.

Objetivos Específicos	Actividades
Cotejar los indicadores de confiabilidad de Mineros Aluvial.	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer métricas de evaluación basadas en elementos necesarios dentro del proceso de confiabilidad. • Documentar los indicadores utilizados en el proceso de confiabilidad de Mineros Aluvial. • Evaluar los elementos del proceso de confiabilidad de Mineros. • Desarrollar herramientas de análisis de datos que permitan definir rápidamente acciones de mejora.
Conocer e indagar sobre las competencias del personal que participa del proceso de confiabilidad (propio y contratado).	<ul style="list-style-type: none"> • Listar al personal que apoya al proceso de confiabilidad directa e indirectamente (propio y tercerizado). • Identificar la formación con la que cuenta el personal antes de la incorporación y la que ha recibido en el desarrollo de sus actividades.
Identificar los tipos de equipos, instrumentos y softwares que se utilizan para el proceso de confiabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un inventario de los equipos, instrumentos y softwares que se utilizan para el proceso de confiabilidad. • Revisar el estado y calibración de los equipos y/o herramientas utilizados por el proceso de confiabilidad. • Indagar con los proveedores de servicios de análisis predictivos sobre la normatividad que regulan los softwares y equipos que utilizan.

Tabla 1: Síntesis de la metodología de inspección y evaluación al proceso de Confiabilidad.

7. Cotejar los Indicadores de Confiabilidad de Mineros Aluvial

7.1 Métricas de Evaluación Basadas en Elementos Necesarios dentro del Proceso de Confiabilidad.

Para llevar a cabo acciones de mejora al programa de Confiabilidad de Mineros Aluvial, es necesario preguntarse si la gestión del mantenimiento realizada es adecuada; la respuesta puede ser SI, NO o REGULAR. Sin embargo, cualquiera de las tres respuestas sería insatisfactoria debido a que existen muchas respuestas intermedias entre ellas, además no se sabría qué cosas serían necesarias cambiar para que la gestión sea realizada de manera óptima.

Para dar solución a la pregunta de si la gestión del mantenimiento realizada es adecuada o no, es necesario realizar una inspección y evaluación al proceso de Confiabilidad, de manera que se compare el área de confiabilidad de la empresa con un área de confiabilidad ideal; para determinar así que factores diferencian ambas áreas.

7.1.1 Tarjeta de Puntuación del Programa de Confiabilidad

Con base a lo anterior se escogió el desarrollo realizado por el ingeniero John S. Mitchell, quien construyó un programa de confiabilidad a través de lo que según él, son los elementos del programa de confiabilidad. Dicho trabajo lo denominó Reliability Program Scorecard (Tarjeta de Puntuación del Programa de Confiabilidad). Ver anexo A.

En la tarjeta de puntuación se evalúan doce aspectos o categorías, los cuales a su vez tienen otros sub-aspectos; cada uno de estos últimos tiene un porcentaje de peso dentro de su categoría lo cual hace que tengan mayor o menor relevancia dentro de esta.

En la tabla 2 se pueden observar los doce aspectos principales que se evalúan en la tarjeta de puntuación de confiabilidad. A su vez, se observa la sumatoria de los porcentajes de los sub-aspectos (peso del elemento), el porcentaje global de cada aspecto (peso de la categoría) y el porcentaje ideal (métricas comparativas) que se debería cumplir en la empresa Mineros Aluvial.

Resumen de la categoría del programa de Confiabilidad			
Elementos del programa de Confiabilidad	Peso del Elemento -%	Peso de la categoría -%	Métricas comparativas
Resultados / Eficacia del Programa de Confiabilidad	11,9%	17,0%	7,4%
Valores, cultura, relaciones	6,8%	8,0%	6,8%
Constitución, Organización, Administración, Capacitación	11,4%	16,0%	11,4%
Programa de lubricación	8,0%	8,0%	8,0%
programa de mantenimiento basado en condición	10,0%	10,0%	10,0%
Programa de Mantenimiento Preventivo (MP)	8,0%	8,0%	8,0%
Análisis de Requerimientos de Mantenimiento y Desarrollo de Programas — RCM AMFE	5,0%	5,0%	5,0%
Mantenimiento Proactivo	3,5%	6,0%	3,5%
Mantenimiento, Mantenibilidad para Proyectos de Capital	3,3%	5,0%	3,3%
Análisis de Fallas — RCA	3,2%	7,0%	3,2%
Mejora de la Confiabilidad	5,6%	8,0%	5,6%
Modelado de confiabilidad, predicción, análisis de por vida	2,0%	2,0%	2,0%

Tabla 2: Aspectos del programa de confiabilidad a medir en la empresa Mineros Aluvial.

A continuación se procede a detallar en que consiste cada uno de los aspectos plasmados en la tabla 2.

Elementos del programa de Confiabilidad	Sub-aspectos	Especificaciones
Resultados / Eficacia del Programa de Confiabilidad	Disponibilidad de los equipos de la empresa	Cálculo de la disponibilidad de los equipos
	Pocos fallos inesperados en los últimos dos años	Medidas para evitar Fallas nuevamente
	Tendencia a la baja de la tasa de fallas	Disminución de MTBF
	Costos de mantenimiento óptimos	Rendimientos de costos
	Mantenimiento Correctivo	mantenimiento no programado
Valores, cultura, relaciones	Buena colaboración entre operación, Mantenimiento	Cooperación visible, objetivos alineados
	Cultura de Confiabilidad en marcha y eficaz	Eliminación proactiva de problemas
	Capacitación y entrenamientos disponibles y efectivos	Asegurar que los valores culturales sean enfatizados y reforzados
	Establecimiento de un proceso de gestión del cambio	Garantizar una cultura y unos valores institucionales óptimos
	Líder de alto nivel de gestión activamente implicado	Se nombra a un defensor con funciones de responsabilidad y administración del programa
	Líder de Confiabilidad nombrado y activo	Ingeniero de confiabilidad con suficiente autoridad para obtener resultados objetivos
	Gestión de competencias, capacitación y certificación	Todos los requisitos de capacitación y certificación para un programa de confiabilidad documentado, en uso, completado y certificado.
	Especificaciones, procedimientos y prácticas documentadas, actualizadas y disponibles	especificaciones de los fabricantes, instrucciones de funcionamiento y reparación, mantenimiento predictivo y preventivo, calidad del trabajo
	Análisis de riesgos y clasificación	Centrar la atención en las mayores oportunidades y amenazas; asegurar que todas las estrategias de identificación y mitigación estén en vigor

Constitución, Organización, Administración, Capacitación	Plan de control establecido para la sostenibilidad	Asegurar que las mejoras sean institucionalizadas permanentemente
	Contribución del valor comercial del programa	Demostrar el rendimiento y el valor del proceso creado
	MTBF determinados	Identificación y clasificación de los Fallas a través de clases, tipos y componentes del equipo
	Registros de instalaciones y equipos vitales actualizados	Registro de activos, Lista general de equipos, P&ID
	Revisión de documentos / procedimientos de revisión para toda la documentación	Comprobar la disponibilidad de la documentación, se tendrá toda la información disponible a través de un portal web disponible para todos
	La Gestión de mantenimiento asistido por computador CMMS	Componentes, Estado Causa introducidos de forma consistente y en uso en el CMMS para el seguimiento de confiabilidad
Programa de lubricación	Lubricación	Cumplimiento de las mejores prácticas, incluida la determinación de la cobertura, el tipo óptimo, los requisitos de recepción, almacenamiento, ensayo, transferencia, entrega al equipo y muestreo
Programa de mantenimiento basado en condición	Monitoreo a condición / CBM	
	Vibración	Monitoreo predictivo de vibraciones
	Lubricación	Asegurar la calidad del lubricante y del fluido hidráulico vital para la confiabilidad, Identificar la eficacia del programa de lubricación
	Temperatura; imágenes y medición de infrarrojos	Termografías para identificar el calentamiento anormal causado por anomalías eléctricas (alta resistencia) y de aislamiento térmico
	Análisis eléctrico de motores	Análisis de corriente en línea y de circuitos fuera de línea, incluidos cables y arrancadores
	Ultrasonidos -- activos (medición de espesor), pasivos (detección de fugas)	Identificar paredes de adelgazamiento, fugas
	Fugas de aire y gas; entradas y salidas (peligro, residuos, pérdida de eficiencia)	Identificar las fuentes de residuos y posibles eventos ambientales
	Aceite de transformador, gas y temperatura	Identificar posibles problemas del transformador
Programa de Mantenimiento Preventivo (MP)	Exámenes periódicos para asegurar el máximo valor/costo; realización de tareas preventivas óptimas a intervalos óptimos	Supervisar con medidas correctivas adoptadas en caso necesario
	Evaluación de equipos estáticos y NDT: - tuberías, recipiente a presión y espesor del tubo, fugas de las válvulas de seguridad, instrumentos de control y calibración de válvulas, distribución eléctrica, cableado	Identificar condiciones degradadas, posibles fallas entre equipos estáticos
Análisis de Requerimientos de Mantenimiento y Desarrollo de Programas — RCM AMFE	RCM/AMFE	RCM / AMFE completado en todos los equipos definidos como de alto riesgo; vigilancia, PM, PdM y estrategia de mantenimiento definidos.
Mantenimiento Proactivo	Instalaciones y espacios de trabajo limpios y ordenados	Inspecciones periódicas, deficiencias por escrito y seguimiento
	sistema de lubricación completo	Asegurar una lubricación óptima
	precisión en alineaciones de ejes	Normas publicadas y aplicadas, equipo aplicable definido, programa de alineación de precisión en funcionamiento
Mantenimiento, Mantenibilidad para Proyectos de Capital	Estrategia integral de mantenimiento	Asegurar que los nuevos equipos tienen un programa óptimo de mantenimiento y confiabilidad en la puesta en marcha inicial
	Procedimiento completo para garantizar una Confiabilidad y Mantenibilidad	Asegurar que el equipo se compra, instala y pone en marcha con una confiabilidad y mantenibilidad óptimos

<i>Análisis de Fallas — RCA</i>	Procedimiento de ejecución establecido y aplicado	Pérdida o costo de producción (evento único y/ o acumulativo a lo largo de un tiempo determinado para una falla crónica y recurrentes de bajo costo)
	Análisis de fallos realizados	Análisis integrales de fallas realizados por un equipo multidisciplinario que incluye todas las habilidades (ingeniería, profesionales de confiabilidad, supervisión de operación y mantenimiento y técnico) necesarias para examinar todos los aspectos de la falla, realizar un análisis completo y formular recomendaciones definitivas para evitar la repetición.
	Revisión, aplicación y comprobación de la eficacia de las medidas correctivas	Mecanismo de seguimiento para garantizar que las medidas correctivas se hayan completado y sean eficaces.
<i>Mejora de la Confiabilidad</i>	Equipos de mejora de la Confiabilidad autorizados y activos	Establecimiento de planes de acción de máxima prioridad, planes en marcha, con responsabilidad, tiempo y valor creados, métricas de rendimiento
	Participación de Producción y Mantenimiento	Procedimiento escrito que define la carta, la autoridad, las funciones y las responsabilidades
	Programa de mejora de la Confiabilidad continua activa y eficaz	Mejoras de confiabilidad aplicadas en cada oportunidad, incluyendo reparación, para mejorar el rendimiento y extender la vida útil de forma segura
<i>Modelado de confiabilidad, predicción, análisis de por vida</i>	Predicción de fracaso	Simulación, modelado, Weibull, aplicación y procedimientos definidos

Tabla 3: Detalle de los aspectos y sub-aspectos del programa de confiabilidad a analizar en la empresa Mineros Aluvial.

7.2 Indicadores Utilizados en el Proceso Confiabilidad de Mineros Aluvial

Los indicadores del proceso de confiabilidad de la empresa Mineros Aluvial son parámetros que pueden ser medidos de manera cuantitativa y cualitativa, con el objetivo de establecer métricas que permitan conocer el estado de las operaciones y los equipos para posteriormente tomar medidas que ayuden a solucionar o mejorar procesos de operación y mantenimiento.

De acuerdo a lo anterior, en el presente trabajo fue necesario un proceso de búsqueda de información referente a las actividades, procesos y mediciones realizadas por el proceso de Confiabilidad de Mineros, para tal fin, se contó con el apoyo de los ingenieros que hacen parte del área de Ingeniería y Planeación del Mantenimiento, especialmente con el apoyo del Ingeniero de Confiabilidad Sebastián Sarmiento, quien es Ingeniero Mecánico y cuenta con ocho años de experiencia en la compañía, ha desempeñado diferentes cargos tales como: Coordinador de TPM, Ingeniero de Diseño e Ingeniero de Lubricación y Confiabilidad. A continuación se procederá a definir cada uno de los indicadores establecidos por el área de confiabilidad.

7.2.1 Contratos de Desempeño

Los contratos de desempeño son un indicador que utiliza el área de confiabilidad para determinar la disponibilidad de las dragas de cucharas (DC), las dragas de succión (DS) y de la central hidroeléctrica (PCH). Para realizar este indicador se debe revisar el número de minutos que se tuvieron de paro durante un periodo (mensual); los cuales pueden ser paros no programados (NPI) y paros programados (PP).

Los contratos de desempeño permiten comprobar el estado de paro de la Operación Aluvial (DC y DS) y de la PCH (Providencia I y III). Para la Operación Aluvial, este indicador recoge los NPI y PP desde el día 26 del mes anterior hasta el día 25 del mes actual. Por su parte, para Providencia I y III se realizan los NPI y PP del 1 al 30 de cada mes.

En las siguientes tablas se muestran de una manera clara y sintetizada los parámetros utilizados según la operación a evaluar.

Grupo	Código grupo	Emplazamiento	Tipos de Paros	Periodo en que se analiza
Operación	T-OPE-AL	DC, DS	NPI y PP	Del 26 mes anterior al 25 mes actual
Energía	T-OPE-EN	DC, DS	NPI y PP	Del 26 mes anterior al 25 mes actual
Mecánico	T-MTO-MA	DC, DS	NPI y PP	Del 26 mes anterior al 25 mes actual
Eléctrico	T-MTO-EA	DC, DS	NPI y PP	Del 26 mes anterior al 25 mes actual
Fuera de Estadística	(T-FES)	DC, DS	NPI y PP	Del 26 mes anterior al 25 mes actual

Tabla 4: Parámetros Operación Aluvial.

Grupo	Código grupo	Emplazamiento	Tipos de Paros	Periodo en que se analiza
Operación	T-OPE-HI	PCH	NPI y PP	Del 1 al 31 de cada mes
Mecánico	T-MTO-MP	PCH	NPI y PP	Del 1 al 31 de cada mes
Eléctrico	T-MTO-EO	PCH	NPI y PP	Del 1 al 31 de cada mes
Fuera de Estadística	T-FES	PCH	NPI y PP	Del 1 al 31 de cada mes

Tabla 5: Parámetros PCH.

La disponibilidad se calcula para los dos procesos que generan lucro a la empresa: La operación aluvial (dragas) y la operación de generación eléctrica (PCH):

Calculo disponibilidad operación Aluvial:

$$disp_{dragas} = \frac{(tiempo\ posible * 5\ dragas) - \sum todos\ los\ paros\ NPI\ y\ PP\ de\ las\ 5\ dragas}{tiempo\ posible * 5\ dragas}$$

Calculo disponibilidad PCH:

$$disp_{PCH} = \frac{(tiempo\ posible * 7\ turbinas) - \sum todos\ los\ paros\ NPI\ y\ PP\ de\ las\ 7\ turbinas}{tiempo\ posible * 7\ turbinas}$$

Tiempo posible = 30 días * 24 horas * 60 minutos.

Tiempo posible= 43200 minutos.

7.2.2 ABC de paros

La finalidad de este indicador es identificar que equipos han generado mayor NPI en las dragas de cucharas, en las dragas de succión y en la PCH para así, determinar acciones sobre estos equipos que han generado costo de lucro cesante durante el tiempo de inactividad y costos no operativos (materiales y mano de obra)

Una vez se han identificado los equipos que han generado los NPI, se procede a analizar y tomar acciones para evitar estos mismos inconvenientes en el futuro. Dentro de las acciones se pueden generar: RCM, RCA, Análisis Predictivos (análisis de aceites, análisis de vibraciones, termografía) y/o Materiales a Prueba (poner en funcionamiento materiales de otros proveedores y ponerlos a prueba con el objetivo garantizar mayor duración y mejor relación costo-beneficio).

7.2.3 NPI semanal

Todos los lunes se realiza un informe denominado NPI semanal, donde se analiza el tiempo de paro no programado (NPI) generado en las DC y DS. Estos informes son presentados al director de Ingeniería y Planeación del Mantenimiento (IPM) con el objetivo

de desarrollar estrategias y acciones que permitan conocer la causa del problema y evitar la recurrencia del defecto. Esto se conoce como Análisis de Causa Raíz (RCA).

7.2.4 RCA Análisis de Causa Raíz.

Se puede definir como una herramienta utilizada para identificar la(s) causa(s) de la(s) falla(s), de manera que se puedan identificar soluciones adecuadas y evitar consecuencias.

Para la realización de un RCA, el área de confiabilidad creó un documento denominado *C&L-PRO-001 Procedimiento de Análisis de Fallas* (ver anexo 0). Dicho documento tiene como objetivo: “Definir un proceso sistemático que permita analizar un sistema o activo, listando sus componentes, sus respectivas funciones, modos de falla y efectos, para finalmente sugerir una tarea para tratar los modos de falla, con el fin de corregir, prevenir, evitar las fallas, o disminuir su impacto en la organización.”

En el mismo documento aparecen los criterios para determinar cuándo se debe realizar un análisis a una falla, dependiendo del tipo de operación:

7.2.4.1 Operación Aluvial:

7.2.4.1.1 Dragas de Cucharas: Paro de producción igual o superior a 300 minutos de un solo paro o de un periodo de una semana.

7.2.4.1.2 Dragas de Succión: Paro de producción igual o superior a 480 minutos de un solo paro o de un periodo de una semana.

7.2.4.2 PCH: Paro que implique un tiempo perdido superior o igual a 1200 Minutos en las unidades de Generación.

7.2.4.3 Maquinaria Pesada y Motores Fuera de Borda: Daños durante el proceso de reparación o procesos que impliquen un costo superior o igual a 80 SMMLV. En caso de fallas repetitivas cuya suma de tiempos perdidos en un periodo de un mes alcancen el monto descrito anteriormente serán tenidas en cuenta para la realización del análisis.

7.2.5 Informe de Seguimiento de Materiales a Prueba.

Este indicador consiste en validar la calidad y el comportamiento de nuevos materiales, repuestos, equipos e insumos para determinar si estos ofrecen igual o mejor desempeño que los usados actualmente. Estos materiales pueden ser de índole mecánica, eléctrica, electrónica, e hidráulica. Para que un material pueda ser puesto a prueba debe cumplir una o varias de las siguientes condiciones:

- Material que reemplaza a otro porque este ya no se consigue en el mercado. Material que ha sido reformulado (entiéndase en sus propiedades físicas o químicas), buscando un mejor desempeño en su aplicación.
- Material que ha sido modificado dimensionalmente, para ajustarse a nuevas condiciones de diseño.
- Materiales que ingresan como aplicaciones de nueva tecnología.
- Materiales que por sus altos costos de reparación, se decide analizar la posibilidad de comprarlos nuevos.
- Adaptaciones tecnológicas.
- Cambio de proveedor.
- Materiales que van a ser utilizados por primera vez en un proceso, que por su costo significativo y por su criticidad deben tener un seguimiento.

El área de confiabilidad creó un documento denominado *C&L-PRO-004 Seguimiento Materiales a Prueba* (Ver anexo C). En este documento se lista el procedimiento para realizar el seguimiento de los materiales a los que se les hará dichos ensayos.

7.2.6 Informes de Análisis Predictivos.

El proceso de confiabilidad es el encargado de ejecutar dos tipos de análisis predictivos; análisis de aceites en uso y análisis de vibraciones. Este indicador tiene un código interno denominado ZM05.

7.2.6.1 Análisis de Aceites en Uso. Para el análisis de aceite, el proceso de confiabilidad es apoyado por la empresa PETROBRAS, la cual mediante su plataforma Lub-express, brinda el servicio de análisis de aceite usado para determinar las condiciones de

operación de los equipos y hacer recomendaciones de acciones preventivas que permitan reducir costos operativos.

El proceso consiste en tomar muestras de aceite de los diferentes equipos que se encuentran en la Operación Aluvial, PCH, maquinaria pesada y la operación denominada Terrazas. Las muestras de aceite son tomadas a los diferentes equipos según los planes de mantenimiento establecidos por el área de Mantenimiento de la empresa.

Las muestras son tomadas en campo mediante una bomba de succión manual (vampiro) y depositadas en un recipiente con tapa roscada, luego de esto, el recipiente es rotulado con el nombre del equipo, fecha de la toma de muestra, marca y grado de aceite. En las figuras 1 a 3 se muestra el procedimiento recomendado por el proveedor para tomar las muestras de aceite.

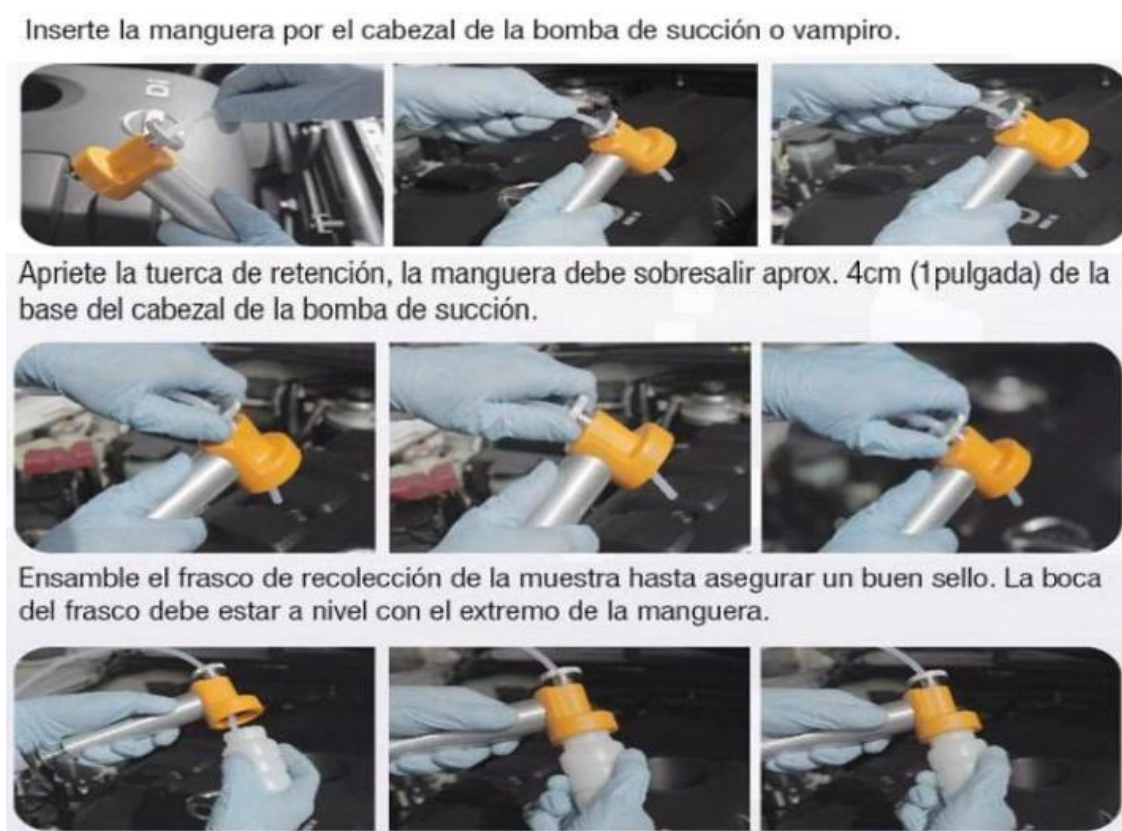


Figura 1: Procedimiento inicial de toma de muestra de aceite. Tomado de: instructivo de toma de muestras de aceites usados PETROBRAS.

- Inserte la manguera de toma de muestras en el orificio o funda de la varilla según la medida indicada. Recuerde que la manguera no debe ser reutilizada para otra muestra.



Presione el émbolo hacia delante y hacia atrás con movimientos suaves y continuos para realizar la succión de la muestra; es posible que con sólo 2 o 3 movimientos se comience a llenar el frasco con la muestra del aceite.



Figura 2: Toma de muestra de aceite. Tomado de: instructivo de toma de muestras de aceites usados PETROBRAS.

Libere la presión del vampiro desde el tornillo roscado del cabezal, luego retire el frasco, inmediatamente coloque el tapón y la tapa de seguridad del recipiente de muestreo.



- Una muestra de aceite es de solo 100 ml (4 onzas líquidas) de aceite o tres cuartas partes del recipiente. Esta pequeña cantidad debe ser representativa de todo el aceite en servicio en un equipo.
- Tomada la totalidad de la muestra, retire la manguera y utilice la misma bolsa para desecharla.



Figura 3: Sellamiento de la muestra. Tomado de: instructivo de toma de muestras de aceites usados PETROBRAS

Los recipientes con las muestras son recepcionadas por el practicante universitario del área de Confiabilidad, quien después de recibir todas las muestras solicita a la línea de atención de PETROBRAS un código interno para cada una de ellas. Finalmente, los recipientes son marcados con los códigos asignados por el proveedor y enviados a Bogotá. (Ver figura 4).

Figura 4: Etiqueta de marcado de muestras de aceites. Tomado de: etiqueta de marcado de muestras de aceites usados PETROBRAS.

El periodo establecido para conocer los resultados de los análisis de las muestras son cuatro días hábiles a partir de la fecha de ingreso al laboratorio, el cual está ubicada en la localidad de Puente Aranda, una vez recibidos los resultados de los análisis, el área de Confiabilidad se encarga de realizar un informe de estado de resultados, en donde clasifica las muestras según el estado: **Crítico** (color rojo), **Alerta** (color amarillo) y **Normal** (color verde).

Los resultados de las muestras que arrojan estado crítico y en alerta, se envían en un archivo a los responsables del mantenimiento (eléctrico y mecánico) de cada una de las operaciones según sea su responsabilidad, con la finalidad de tomar medidas preventivas que eviten fallas en los equipos. Se debe crear un aviso A6 en SAP para que el proceso responsable genere la orden de trabajo respectiva para solucionar el problema reportado (ver figura 5).

Resultados Analisis de Aceite Mineros Aluvial Septiembre- 2020							
Normal	Alerta	Crítico					
Aviso en SAF	Descripcion	Descripcion De Estado	Estado	Equipo PetroObra	Division	Fecha toma de Mue	
960053669	SISTEMA HIDRAULICO CAT No.40	El Lubricante presenta disminución leve de la viscosidad cinemática a 100 °C. Esto acorde con el tiempo reportado del mismo. No se observan niveles críticos de desgaste metales, el silicio esta a un 60% de límites máximos permitidos	ALERTA	100024221	MAQUINARIA AMARILLA	31-jul-20	
960053680	MOTOR DE TRANSLACION RH TRASER CAT No.28	Se observa presencia de Silicio en el producto, este material es altamente abrasivo y puede generar desgaste prematuro de las piezas lubricadas, se recomienda revisión de sistemas para identificar fugas o malas instalaciones, también se recomienda revisión de las prácticas de manejo del lubricante nuevo, para evitar su contaminación en la fuente. El contenido de hierro está al 87% de límites máximos permitidos	ALERTA	100029775	MAQUINARIA AMARILLA	23-jul-20	
	MOTOR DE TRANSLACION RH DELANT CAT No.28	El aceite se encuentra dentro de las especificaciones de uso, el Silicio y Hierro están más del 50% de límites máximos permitidos. Seguir monitoreando y aplicar las buenas prácticas de control de contaminación.	NORMAL	100029776	MAQUINARIA AMARILLA	23-jul-20	
960053683	MOTOR DE TRANSLACION LH TRASER CAT No.28	La prueba de agua por coque con luz positiva más baja viscosidad cinemática a 100°C, los parámetros de contenido Silicio, Hierro y Cromo están fuera de límites máximos permitidos, se recomienda verificación del sistema para detectar fallas y posibles filtraciones a la unidad lo antes posible	CRITICO	100029773	MAQUINARIA AMARILLA	23-jul-20	

Figura 5: Informe de estado de equipos analizados por aceite.

7.2.6.2 Análisis de Vibraciones. El análisis de vibraciones es una técnica utilizada para identificar, predecir y prevenir fallas de los equipos rotativos con que cuenta la empresa en sus diferentes operaciones (Bombas, motores eléctricos, malacates, turbinas, generadores, cajas de transmisión mecánicas, ventiladores, etc.). Con la implementación de esta herramienta se busca mejorar la confiabilidad de los equipos, consiguiendo así, una mayor eficiencia y disminución de los tiempos de paro, lo que se traduce en menores costos operativos y no operativos.

La empresa A-MAQ, desde el mes de Agosto de 2020 viene realizando los análisis de vibraciones a los diferentes motores y bombas que se encuentran en las DC, DS, Plantas Diesel de respaldo, Providencia I y III y en las Bocatomas del acueducto que surten de agua potable a la empresa y al campamento Mineros.

El área de Mantenimiento Eléctrico es el encargado de tomar las mediciones de vibración de los equipos a través de un dispositivo llamado analizador de vibraciones Fluke 810, (Ver figura 6) el cual, permite evaluar la condición de los equipos al medir el desplazamiento, velocidad y aceleración de vibración durante un lapso determinado por medio de acelerómetros utilizados como palpadores y conectados directamente al equipo de medición.

Internamente el analizador utilizando la Transformada Rápida de Furier (FFT) transforma la medición realizada en el dominio del tiempo, generando una señal de vibración en el dominio de la frecuencia.



Figura 6: Analizador de vibraciones Fluke 810.

Los espectros de vibraciones son interpretados por un analista de vibraciones (de la empresa A-MAQ) identificando en ellos: Desbalanceo, desalineación, holgura, daño en rodamientos, problemas en engranajes, daños estructurales, problemas con poleas, roce, problemas de lubricación problemas en álabes, entre otras.

Los resultados de los análisis de vibraciones son entregados al área de Confiabilidad cuatro días hábiles después de enviados a A-MAQ. El paso siguiente, consiste en realizar un informe de estado de resultados, donde se indica a los responsables de cada área involucrada que equipos presentan un estado “mal” o un estado “insatisfactorio” (Ver figura 7), con la finalidad de tomar medidas preventivas que eviten fallas en los equipos. Al igual que en aceites, el proceso de confiabilidad debe crear los avisos A6 en la plataforma SAP.




NOMBRE DEL EQUIPO	ESTADO	FALLOS DETECTADOS	DIAGNÓSTICO	RECOMENDACIÓN	FECHA MEDICIÓN	FECHA ANÁLISIS	REGISTRO FOTOGRÁFICO
MOTOR LI DRAGA No. 11	MAL	Problemas de ruido Problemas en engranajes	Se observa en espectros de altas ordenes patrones de golpe intermitente a la frecuencia de paso de la bomba EPF, asociados a condiciones de desgaste o desgaste en sus elementos. No se descartan sobrecargas de operación	1) REVISIÓN. Se recomienda: 2) - Verificar que la operación de la bomba si sea la adecuada, identificando presiones en cargas y descargas. 3) - Revisar dentro de lo posible desgaste y desajuste en los elementos internos de la bomba. 4) Realizar estas actividades durante los próximos 15 días de operación de la máquina.	11/02/2020	18/02/2020	
MOTOR PFOA LADO DERECHO DRAGA No.5	MAL	Ricoce Problemas en engranajes Problema de lubricación	Se observa en espectros de bajas ordenes excitación de la frecuencia de paso de engranes GMF con su segundo armónico asociado a condiciones de sobrecarga entre engranes o desalineación. Por su alto índice de aumento con respecto a la medición anterior, se recomienda intervención	1) REVISIÓN. Se recomienda: 2) - Revisar el estado de las transmisiones por pifón en la máquina, verificando que no presenten desgastes o rices y que se encuentren lubricadas. 3) - Revisar el estado de los elementos internos del reductor, verificando que no presenten desgaste o desajuste. 4) - Revisar el estado de anillo de la máquina, que su base no presente pérdidas en rigidez y que los pernos de sujeción se encuentren en buen estado y con el torque adecuado. 5) Realizar estas actividades durante los próximos 10 días de operación de la máquina.	11/02/2020	18/02/2020	
BOMBA #4 DRAGA No.5	INSATISFACTORIO	Problemas en poleas	Nuevamente se observa en espectros de bajas ordenes en el punto 2 (MOTOR LADO POLEA), excitación de la frecuencia de giro de la máquina y la frecuencia de paso de bandas con varios armónicos asociados a condiciones de desalineación en poleas	1) INSPECCIÓN. Se recomienda: 2) - Inspeccionar el estado de la base que soporta el motor. Que no presente pérdidas de rigidez y que los pernos contengan el torque adecuado. 3) - Verificar alineación entre poleas. 4) - Verificar el correcto estado y tensión de las bandas de transmisión. 5) Realizar estas actividades durante los próximos 30 días de operación de la máquina.	11/02/2020	18/02/2020	

Figura 7: Informe de estado de equipos analizados por vibración.

7.3 Evaluación de los Elementos del Proceso de Confiabilidad de Mineros

Una vez los aspectos y sub-aspectos de la tarjeta de puntuación fueron extrapolados al proceso de Confiabilidad de Mineros Aluvial, se determinó por medio de un gráfico tipo telaraña (ver figura 8) en que posición está el proceso de la empresa en relación con un proceso de confiabilidad ideal.

En la tabla 6 se observa la evaluación de cada uno de los aspectos enmarcados en la tarjeta de puntuación de confiabilidad, dicha estimación fue basada en testimonios y entrevistas realizadas a diferentes actores de los procesos de Mantenimiento y Operaciones. De igual manera, se realizó un rastreo de información de los archivos digitales e indagaciones al ingeniero de Confiabilidad actual y a su predecesor.

De la figura 8, se puede observar de manera clara e ilustrativa la discrepancia entre la puntuación de los aspectos evaluados para el proceso de Confiabilidad de Mineros y la puntuación en la que debería estar (métricas comparativas).

COMPARACION DE LAS CATEGORIAS DEL PROCESO DE CONFIABILIDAD		
Elementos del programa de Confiabilidad	Métricas de Mineros	Métricas comparativas
Resultados / Eficacia del Programa de Confiabilidad	2,8%	7,4%
Valores, cultura, relaciones	4,7%	6,8%
Constitución, Organización, Administración, Capacitación	5,8%	11,4%
Programa de lubricación	4,0%	8,0%
Programa de mantenimiento basado en condición	8,6%	10,0%
Programa de Mantenimiento Preventivo (MP)	4,0%	8,0%
Análisis de Requerimientos de Mantenimiento y Desarrollo de Programas — RCM AMFE	2,5%	5,0%
Mantenimiento Proactivo	3,5%	3,5%
Mantenimiento, Mantenibilidad para Proyectos de Capital	2,0%	3,3%
Análisis de Fallas — RCA	3,2%	3,2%
Mejora de la Confiabilidad	0,0%	5,6%
Modelado de confiabilidad, predicción, análisis de por vida	0,0%	2,0%

Tabla 6: Comparación de los elementos del proceso de Confiabilidad de Mineros vs ideales.

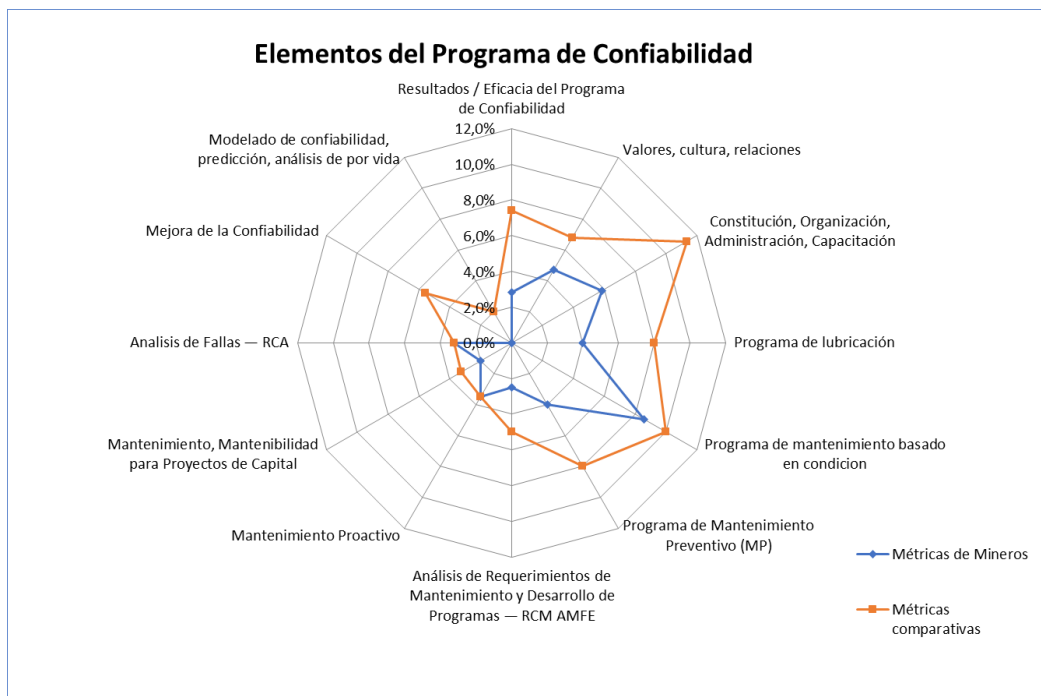


Figura 8: Comparación elementos del programa de confiabilidad.

Con base a los resultados arrojados por la tarjeta de puntuación del programa de confiabilidad, se puede determinar las acciones que se deben tomar con el objetivo de mejorar y fortalecer el proceso de Confiabilidad, el cual a su vez, impactaría de manera positiva las estrategias y objetivos establecidos por la empresa Mineros Aluvial.

7.4 Desarrollo de Herramientas de Análisis que Permitan Definir Rápidamente Acciones de Mejora.

7.4.1 Tablero de Manejo e Interacción de Datos en POWER BI.

Como se ha dicho anteriormente, uno de los indicadores que lleva a cabo el proceso de Confiabilidad en las operaciones (Generación, Aluvial y Maquinaria Pesada) es el análisis de informes predictivos, el cual hace parte de los distintos tipos de mantenimiento que se llevan a cabo (correctivo, preventivo y predictivo).

Actualmente la información enviada por parte de los proveedores de análisis de aceites y vibraciones es recibida por el proceso de Confiabilidad, el paso siguiente es realizar informe a los interesados los cuales suelen ser jefes de mantenimiento de PCH, mecánico aluvial, eléctrico aluvial, maquinaria pesada y transporte, planeadores de mantenimiento, jefes de energía, entre otros; para que estos tomen acciones de mejoras enfocadas en cada uno de los equipos que lo requieran.

En el relacionamiento con este tipo de información, se ha detectado una oportunidad de mejora en cuanto al manejo de la información que es enviada por parte del proveedor que realiza los análisis de aceites. Debido a que, con toda la información que periódicamente (mensual, bimensual y/o trimestral) es recolectada, se realizan informes de los últimos análisis, se envía a los interesados y posteriormente se almacenan en carpetas en el servidor.

En vista de lo anterior, se desarrolló una iniciativa de mejora del manejo de datos suministrados por el proveedor, la cual está dividida en dos fases: La primera fase consistió en la creación de una base de datos en donde se almacenó toda la información recolectada de análisis de aceites desde Octubre de 2019 hasta Diciembre de 2020, con el objetivo de poder hacer un seguimiento al comportamiento de cada uno de los equipos, los tipos de aceites utilizados, el número de muestras de cada equipo, el indicador, entre otras.

Por otro lado, la segunda fase consistió en enlazar la base datos anteriormente mencionada con un software llamado POWER BI, el cual permite visualización e interacción de la información recolectada, desde cualquier computador y por cualquier persona interesada con el propósito de tomar acciones de mejora enfocada de una manera más ágil.

La toma de decisiones por parte de las empresas a partir de los datos es conocido como inteligencia de negocios (BI), el cual combina análisis de negocios, minería, visualización, herramientas e infraestructura de datos. La inteligencia de negocios moderna implica contar con una vista integral de todos los datos de la organización. Además, en usar estos datos para impulsar el cambio, eliminar las ineficiencias y adaptarse rápidamente a los cambios del mercado o la demanda.

En el siguiente hipervínculo se puede ingresar al tablero desarrollado para los análisis de aceites, interactuar con los datos y conocer el estado general de las operaciones y de cada uno de los equipos a los que se les ha hecho análisis de aceites.

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMDA0NmI5YjMtMzc3My00YWMwLThiMGYtM2ZmY2ZkZGUyNzQ5IiwidCI6Ijk5ZTFiNzIxLTcxODQtNDk4ZS04YWZmLWlyYWQ0ZTUzYzFjMiIsImMiOjR9>

En la figura 9, se muestra el tablero de control desarrollado en Power BI. A la derecha de la imagen se puede filtrar por proceso, equipo y número de toma de muestras; en la parte central superior se muestran los contaminantes; en la parte central inferior se muestran los equipos en estado alerta y crítico; en la parte izquierda se muestra el estado actual de las distintas operaciones en cuanto a los resultados de los aceites analizados.

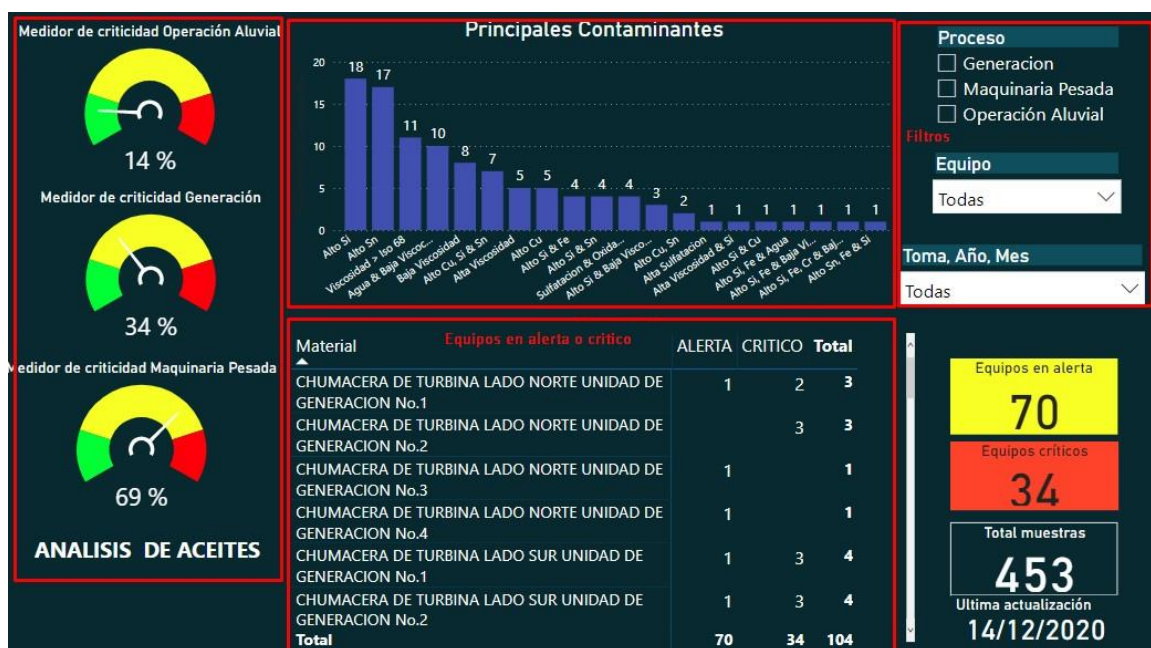


Figura 9: Tablero de control de muestras de aceite usado en las distintas operaciones de Mineros Aluvial. Fuente propia.

Esta iniciativa puede ser extendida a otros tipos de análisis predictivos tales como: Vibraciones, termografías y ultrasonidos; de manera que se pueda formar una gran base de datos interactiva donde se permita observar de manera rápida el comportamiento en el transcurso del tiempo de los equipos analizados y el estado general de las distintas operaciones.

8. Conocer e Indagar sobre las Competencias del Personal que Participa del Proceso de Confiabilidad (Propio y Contratado).

8.1 Personal que Apoya al Proceso de Confiabilidad

8.1.1. Personal Interno de la Empresa que Apoya al Área de Confiabilidad.

Para hablar del personal que apoya al área de Confiabilidad, fue necesario primero identificar el personal que hace parte de la empresa, para esto, a través del organigrama de la compañía se observaran las diferentes gerencias y direcciones que la componen.

En la figura 10, se puede apreciar la estructura organizacional de la vicepresidencia y la junta directiva de Mineros Aluvial.

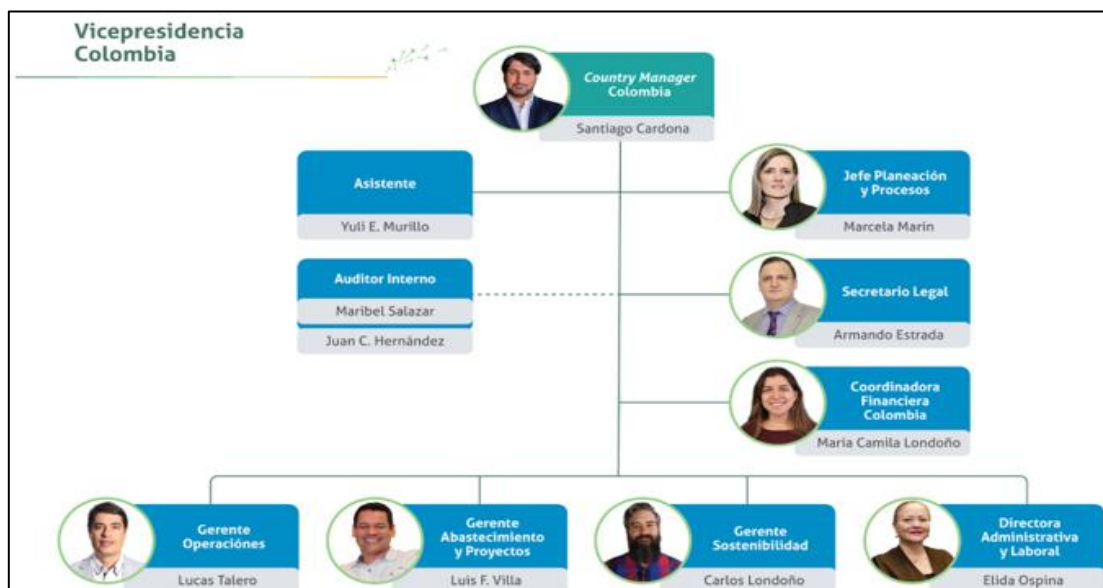


Figura 10: Vicepresidente y junta directiva Mineros Aluvial- Colombia.

A continuación se muestra la estructura organizacional de las diferentes gerencias. De las tres gerencias que se compone la empresa, dos de ellas tienen relación directa e indirecta con el proceso de Confiabilidad. Por tanto, en las figuras 11 y 12 se puede observar la estructura

organizacional de las dos gerencias anteriormente mencionadas y se resaltan (color rojo) las direcciones y jefaturas que son beneficiadas por la labor del ingeniero de Confiabilidad y el practicante a su cargo.

Por otra parte, se describe brevemente las funciones de las áreas relacionadas con el proceso de confiabilidad.

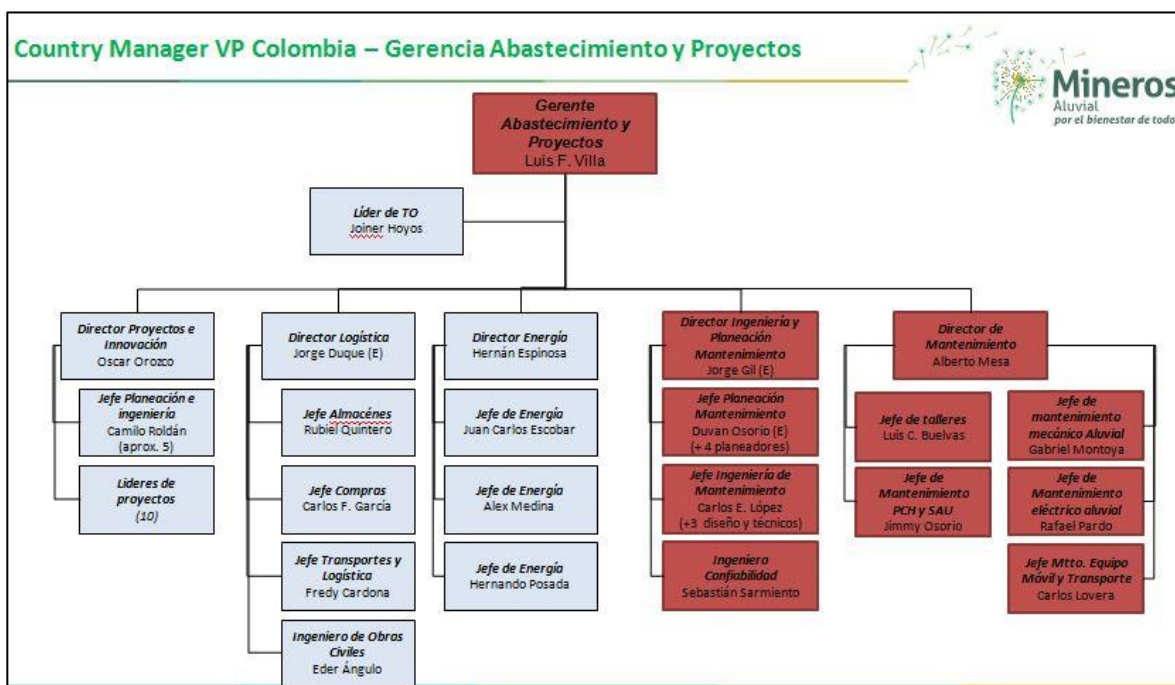


Figura 11:Gerencia de abastecimientos y Proyectos.

Gerente de la cadena de abastecimiento: Direccionar, controlar y orientar las actividades para la gestión de Proyectos, Logística, Obras Civiles, Suministros, Generación de Energía y Mantenimiento. Responde por el aseguramiento de la disponibilidad y conservación de los equipos, los suministros y la logística del personal y materiales, así como la producción, calidad y oportunidad de la generación, transmisión y compra/venta de la energía requerida para las operaciones. Además, debe garantizar la planeación y cumplimiento de los proyectos de expansión, optimización e innovaciones del negocio minero.

Director de Ingeniería y Planeación de Mantenimiento: Este cargo tiene la responsabilidad: Direccionar y controlar las actividades para la realización del análisis, control, programación, coordinación y supervisión de los planes y programas de mantenimiento preventivo de las operaciones mineras del Bajo Cauca.

Jefe de Planeación del Mantenimiento: Planear, dirigir y controlar la Planeación del Mantenimiento preventivo, correctivo, predictivo y autónomo de los equipos y maquinaria para los procesos de producción de minerales, generación transmisión y distribución de energía de las filiales del Grupo Empresarial en Colombia y de sus procesos de soporte asociados.

Jefe de Ingeniería del Mantenimiento: Programar, coordinar, supervisar y apoyar las actividades del área de ingeniería de mantenimiento, de acuerdo con los procedimientos de calidad de la empresa para brindar un apoyo técnicamente confiable a la gestión de Mantenimiento, las operaciones Mineras y de Energía para la Operación de Mineros en Colombia.

Ingeniero de Confiabilidad: Determinar, analizar, proponer y ejecutar los planes de acción para la disminución de fallas que se presentan en los procesos productivos de la Operación Colombia de acuerdo con técnicas de análisis como RCA(Análisis de causa raíz), de igual manera garantizar la implementación de los planes de mantenimiento mediante la ejecución de la metodología RCM para mejorar la confiabilidad de los equipos productivos. Realizar análisis y tendencia de los mantenimientos basados en condiciones (Termografía, aceite, vibraciones) en mineros Colombia.

Director General de Mantenimiento: Dirigir y controlar la ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos asignados a los frentes de operación, maquinaria pesada, equipos Diesel (lanchas y plantas generadoras de energía), motores fuera de borda, equipos y maquinaria de talleres Eléctrico y Metalmecánico.

Jefe de Mantenimiento Mecánico Aluvial: Controlar, planificar y liderar la implementación de los programas de mantenimiento mecánico de la Operación Aluvial.

Jefe de Mantenimiento Eléctrico Aluvial: Planear, coordinar y controlar las actividades que se realizan para conservar y mantener en operación eficiente los equipos eléctricos y electrónicos, radios y telecomunicaciones de la operación aluvial, PCH, instalaciones de la zona industrial y servicios auxiliares.

Jefe de Mantenimiento, Equipo Móvil y Transporte: Planear, coordinar y controlar la ejecución de las actividades que se realizan para el mantenimiento y reparación de la

maquinaria pesada, lancha, planchones y botes, para ello se cuenta con los talleres de maquinaria pesada y motores fuera de borda.

Jefe de Talleres: Planear, coordinar y controlar la estrategia para la ejecución de las actividades que se realizan para la fabricación y reparación de repuestos estructurales y metalmecánicos, reparación de equipos hidráulicos, motores y generadores eléctricos, con el fin de dar respuesta a los requerimientos de Almacén y/o Centros de Costo, para ello se cuenta con el taller Metalmecánico, Eléctrico e Hidráulico.

Jefe de Mantenimiento PCH y SAU: Planear, coordinar y controlar la ejecución de las actividades que se realizan para el mantenimiento y reparación de las máquinas y equipos de la Pequeña Central Hidroeléctrica y Servicios Auxiliares (Laboratorio de Metalurgia, Maquinas de Talleres, Grúas del puerto, entre otras).

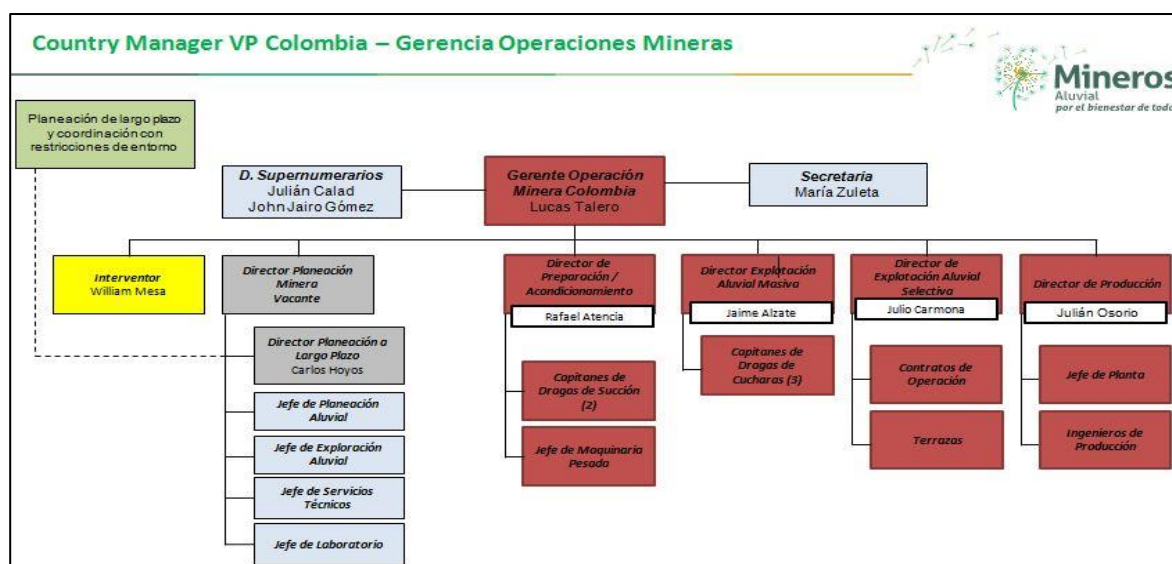


Figura 12: Gerencia de Operación Minera.

Gerente Operación Minera Colombia: Planear, dirigir y controlar la operación de la unidad estratégica de negocios y operaciones mineras aluvial y subterránea, de acuerdo con el direccionamiento estratégico y las políticas del Grupo Empresarial, con el fin de alcanzar las metas de producción estimadas y dar cumplimiento a las utilidades económicas esperadas.

Director de Preparación y Acondicionamiento: Ejecutar de forma oportuna los planes de dragado, obras civiles y servicios complementarios utilizando de forma eficiente las dragas de succión y maquinaria amarilla buscando la satisfacción del cliente. Dirigir, monitorear y

controlar las actividades requeridas para la ejecución de los planes de descapote y remoción de capa vegetal, definidos en la Dirección de planeamiento minero-ambiental.

Capitanes de Dragas de Succión: Coordinar y supervisar las actividades de operación y mantenimiento (predictivo, programado y correctivo) en las unidades de explotación selectiva asociadas al proceso, con el fin de cumplir con los indicadores clave del proceso tales como: tiempo de trabajo (min), volumen (m³), rendimiento (m³/h).

Director Explotación Aluvial Masiva: Dirigir, monitorear y controlar las actividades requeridas para la ejecución de los planes de dragado masivo, minimizando los impactos ambientales negativos.

Capitanes de Dragas de Cucharas: Coordinar y supervisar las actividades de operación y mantenimiento (predictivo, programado y correctivo) en las dragas de cucharas y velar por hacer cumplir las normas de seguridad y control ambiental, con el fin de cumplir con los indicadores clave del proceso tales como: tiempo de trabajo (min), volumen (m³), rendimiento (m³/h).

Director Explotación Aluvial Selectiva: Dirigir, monitorear y controlar las actividades requeridas para la ejecución de los planes de explotación y metas de producción en terrazas aluviales, Llanuras y contratos de operación.

Director de Producción: Dirigir, monitorear y controlar las actividades requeridas para la ejecución de los planes de producción asociados a los diferentes equipos de recuperación de acuerdo con su ubicación (terrazas aluviales, Llanuras y contratos de operación, dragas de cucharas, planchones etc.).

Jefe de Planta: Monitorear y controlar constantemente: 1- Resultados de producción global y por unidad. 2- Comportamiento del R/E. 3- Tiempos de paros de equipos en todas las unidades (Pareto de fallas en los equipos de recuperación de cada unidad). 4- Tiempos de paro de la draga asociados al ER. 5- Desempeño global y de cada subsistema del equipo de recuperación en todas las unidades, realizando trazabilidad a la calidad y duración de materiales usados en el ER. 6- Características y/o propiedades de las columnas de dragado reales (tipo de material, granulometría recuperada, dilución etc.).

Formulación y ejecución de proyectos enfocados a: 1- aumento de la producción. 2- aumento de la recuperación. 3- mejoras internas del equipo de recuperación. 4- control y/o sistematización del proceso (muestreos, variables operativas). 5- implementación de nuevas técnicas y/o tecnologías de recuperación del oro.

8.1.2 Personal Externo a la Empresa que Apoya al Área de Confiabilidad.

El proceso de Confiabilidad es apoyado de manera directa por dos empresas proveedoras de servicios de análisis predictivos. Por un lado, la empresa Petrobras brinda servicios de análisis de aceites usados; por su parte, la empresa A-MAQ ofrece el servicio de análisis de vibraciones mecánicas. Ambas compañías ofrecen sus servicios a los diferentes equipos de las tres operaciones de Mineros Aluvial: Generación, Aluvial y Maquinaria Pesada.

Petrobras: Empresa multinacional petrolera de origen Brasileño que ha desarrollado un servicio de análisis de aceite usado denominado PETROBRAS LUB EXPRESS, tiene como objetivo toma de muestras, recepción y análisis de aceite que están siendo empleados en los equipos y componentes, con el propósito de determinar las condiciones de operación de los equipos y hacer recomendaciones de acciones preventivas de mantenimiento. Con estas acciones se busca:

- Disminución de la vida útil del aceite en uso.
- Prevenir el deterioro acelerado de piezas en los equipos.
- Evitar paradas no programadas que afecten la disponibilidad de la empresa.

Por otro lado, otra de las funciones de Petrobras para con Mineros Aluvial es la de proveer lubricantes (aceites y grasas) para todos los equipos que lo requieran en las distintas operaciones, de igual manera brindar capacitaciones al personal de la empresa y creación de cartas de lubricación.

A-MAQ: Empresa Colombiana con 20 años en el mercado ofreciendo soluciones de monitoreo de condiciones, apoyado en la Industria 4.0, impactando la confiabilidad y la optimización en los procesos industriales y estructurales. Dicha compañía brinda entre otros servicios: Análisis de vibraciones, termografía, ultrasonido y calibración de equipos de

vibración. Para el caso de Mineros, dicha empresa se encarga únicamente del análisis de los espectros de vibración recolectados a través del analizador de vibración por parte del área de mantenimiento eléctrico.

8.2. Formación del Personal que Apoya al Proceso de Confiabilidad.

8.2.1 Personal Interno

Como se mostró en la sección anterior, al interior de la empresa existen dos gerencias que tienen relación directa con el proceso de Confiabilidad; la gerencia de Cadena de Abastecimiento en la cual, las direcciones de IPM y Mantenimiento están ligadas estrechamente al proceso de Confiabilidad; mientras que en la gerencia de Operaciones Mineras las direcciones de producción, explotación masiva, explotación selectiva y preparación apoyan al área de confiabilidad en lo relativo a lubricación de equipos, materiales y sistemas mecánicos.

El alcance de este trabajo tiene como objetivo identificar la formación con la que cuenta el personal en lo concerniente a mantenimiento mecánico, lubricación y vibraciones mecánicas.

8.2.2 Gerencia de la Cadena de Abastecimiento.

La gerencia de la cadena de abastecimiento tiene como objetivo soportar y apalancar las operaciones y los planes de negocio de manera eficiente, para el cumplimiento de la estrategia corporativa.

8.2.2.1 Dirección de Ingeniería y Planeación del Mantenimiento. En la siguiente tabla se pueden apreciar los diferentes cargos que conforman la dirección, la formación académica con que cuenta el personal que la conforma, la experiencia de sus integrantes y las funciones que desempeñan.

Cargos	Formación Académica	Posgrados	Experiencia en Mtto	Funciones
1. Director de IPM	Ingeniero de Sistemas	Especialista en Mtto	10 años	ver sección 2.1
2. Jefe de Planeación y Mtto.	Ingeniero Mecatrónico	N/A	10 años	ver sección 2.1
2.a Ingeniero de planeación de Mtto	Ingeniero Electricista	Especialista en gerencia de Mtto	10 años	Planeación Mtto (preventivo, correctivo y predictivo) y coordinador de TPM en PCH, mantenimiento eléctrico y líneas de transmisión.
2.b Ingeniero de planeación de Mtto	Ingeniero Mecánico	Especialista en Mtto	5 años	Planeación de Mtto (preventivo, correctivo y predictivo) y coordinador de TPM en DC y DS.
2.c Planeador de Mtto.	Ingeniero Industrial	N/A	8 años	Planeación Mtto (preventivo correctivo y predictivo) y coordinador TPM de equipos de recuperación de DC y equipos hidráulicos DS.
2.d Planeador de Mtto	Ingeniero Mecánico	N/A	1 año	Planeación Mtto (preventivo, correctivo y predictivo) y coordinador TPM maquinaria pesada, motores fuera de borda y servicios auxiliares.
3. Jefe Ingeniería de Mtto.	Ingeniero Mecánico	Especialista en Mtto	7 años	ver sección 2.1
3.a Ingeniero de diseño	Ingeniero Mecánico	Especialista en Mtto	4 años	Cálculo y diseño de sistemas mecánicos. Coordinador de TPM pilar mejoras enfocadas.
3.b Analista Técnico	Tecnólogo Mecatrónico	N/A	8 años	Diseño de planos, inspección de pruebas de calidad, interventoría a montajes, gestor de información (manuales, planos, memorias)
4. Ingeniero de Confiabilidad	Ingeniero Mecánico	Especialista en Mtto	7 años	ver sección 2.1

Tabla 7: Dirección de Ingeniería y Planeación del Mantenimiento.

8.2.2.2 Dirección de Mantenimiento

- **Jefatura de Mtto Mco, Mtto PCH y SAU**

Título del requerimiento	¿Quiénes asistieron?	Equipos requeridos para la capacitación	Qué resuelve? / Con qué está alineado?	Cantidad de personas a Impactar	Posible proveedor
Alineación de sistema de potencia asistido	Esta capacitación está dirigida para los Mecánicos de la operación Aluvial, supervisores de la operación subterráneas, (en promedio 26 personas).	Se requiere un alineador de ejes, salón con sillas, video beam, tablero	Objetivos estratégicos de la Compañía	23	Vibro montajes y SKF
Inspección de componentes estructurales: Inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonido.	Esta capacitación está dirigida a Jefes de Mantenimiento, Coordinadores y Supervisores de Mantenimiento Mecánico (14 personas aproximadamente).	Equipo de analizador de partículas magnéticas, equipo de medición de espesores, ultrasonido, recipientes partículas magnéticas.	Objetivos estratégicos de la Compañía	12	Asteco
Termografía Nivel 2	Esta capacitación está dirigida a los Jefes y Coordinadores de Mantenimiento Mecánico de Mineros Aluvial y Operadora Minera (14 personas aproximadamente)	Cámara termográfica.	Objetivos estratégicos de la Compañía	4	Eci
Termografía Nivel 1	Esta capacitación está dirigida a los técnicos de mantenimiento de la operación aluvial (20 personas aproximadamente).	Cámara termográfica.	Objetivos estratégicos de la Compañía	12	Transequipos S.A
Análisis de vibraciones 1	Esta capacitación está dirigida a los Supervisores, Coordinadores y Jefes de Mantenimiento Mecánico (12 personas aproximadamente).	Medidor de vibraciones	Objetivos estratégicos de la Compañía	12	SKF
Sistemas hidráulicos	Mecánicos de Mineros Aluvial (Aproximadamente 20 personas)	Deben estar disponibles en campo los sistemas hidráulicos.	Objetivos estratégicos de la Compañía	40	HS Ingeniería
Principio de funcionamiento de malacates de maniobras D05/10	Esta formación está dirigida a los Técnicos en Mantenimiento Mecánico de Mineros Aluvial. (Aproximadamente 15 personas).	Malacate	Objetivos estratégicos de la Compañía	15	FH Ingeniería
Lubricación: Tipos de lubricación y selección	Esta capacitación está dirigida a todos los técnicos mecánicos tanto de Mineros (20 personas aproximadamente).	Equipos para lubricar	Objetivos estratégicos de la Compañía	40	Petrobras
Análisis de causa raíz	Esta capacitación está dirigida a todos supervisores y técnicos de mantenimiento mecánico de Mineros Aluvial (aproximadamente 20 personas).	Ejemplos de fallas para analizar	Objetivos estratégicos de la Compañía	40	Mantenimiento - SKF
Sistemas de aire comprimido	Mecánicos de Mineros Aluvial (Aproximadamente 20 personas)	Compresores IR tipo tornillo y pistón	Objetivos estratégicos de la Compañía	20	Almacenes JJ

Tabla 8: Formación con la que cuenta el personal de Mtto Mco, PCH y SAU.

En la tabla 8, se observó el tipo de capacitaciones que ha recibido el personal de mantenimiento mecánico de la operación aluvial, operación de generación y servicios auxiliares.

El personal mecánico de la operación aluvial es el encargado entre otras funciones de los mantenimientos predictivos (aceites usados), mantenimientos correctivos (reparaciones) y mantenimientos preventivos (planes de mantenimiento) de las dragas de cucharas y de succión. Por su parte, el personal de generación se encarga de los diferentes tipos de mantenimientos en las diferentes unidades de generación de la PCH y las plantas Diesel de generación. Finalmente el personal de servicios auxiliares está a cargo de los mantenimientos del campamento y bocatomas del acueducto.

8.2.3 Gerencia de Operaciones Mineras.

Dragas de cucharas y de Succión: El personal que hace parte de la operación se clasifica en dos: El primero es la operación, el cual se encarga de operar los equipos mecánicos, hidráulicos, eléctricos y neumáticos que se encuentran a bordo de las dragas; entre los equipos que operan están los malacates de proa, malacate de escala, malacates de ancla, motores MB 3200, motor CA 210, bombas centrifugas, malacate de transmisión de cola, criba giratoria, entre otros.

Por otro lado, el personal de producción es el encargado de operar los equipos que se utilizan exclusivamente para la recuperación del oro. Entre los equipos que se utilizan para tal fin están los distribuidores hidráulicos, Jigs primarios, secundarios y terciarios, mesas de arena, equipos de recuperación secundario y terciarios, planchones de recuperación, entre otros.

Tanto el personal de Operación y Producción hacen parte de la metodología de TPM, la cual se empezó a implementar en la empresa hace aproximadamente 7 años; actualmente ambos procesos se encuentran en transición del paso 2 al paso 3 del pilar de mantenimiento autónomo, el cual busca que los operadores sean responsables de los mantenimientos más sencillos que requieren los equipos.

En la tabla 9 se puede observar el nivel de habilidades adquirido en la formación recibida por el personal de las dragas y sus funciones principales.

Puestos de trabajo en dragas de cucharas y succión	5's	Lubricación básica	Tipos, manejo, disposición de los lubricantes	Manejo de herramientas para lubricar	Funciones
Alambrero	enseña	Aplica solo	Aplica con ayuda	Aplica con ayuda	Ayudar en labores de lubricación, aseo y reparación
Aceitero	enseña	enseña	Aplica solo	Aplica solo	Encargado de la lubricación de los equipos
Colero	enseña	enseña	Aplica solo	Aplica solo	Encargado de la cola de la draga (lubricación, aseo y reparación)
Capataz	enseña	enseña	Aplica solo	Aplica solo	Dirige labores de lubricación, aseo y reparación
Soldador	enseña	Aplica con ayuda	Aplica solo	Aplica solo	Soldar las partes que se requieran
Auxiliares de producción DC	enseña	Aplica con ayuda	Aplica con ayuda	Aplica con ayuda	Ayudan en la recolección del material aprovechable
Auxiliares dragas de succión	enseña	Aplica con ayuda	Aplica con ayuda	Aplica con ayuda	ayudan en labores de lubricación, aseo y reparación en DS

Tabla 9: Puestos de trabajo del personal de operación y producción (Dragas de cucharas y succión).

9. Equipos, Instrumentos y Softwares que se Utilizan en el Proceso de Confiabilidad.

El proceso de confiabilidad utiliza diferentes instrumentos de medición para llevar a cabo sus actividades inherentes. Dichos instrumentos son generalmente trasladados hasta las dragas o a los talleres ubicados en la zona industrial. Cabe aclarar que los instrumentos son igualmente utilizados por toda la dirección de IPM y en ocasiones es cedido en condición de préstamo a otras áreas.

9.1 Inventario Estado y Calibración de los Equipos, Instrumentos y Softwares que se Utilizan para el Proceso de Confiabilidad.

En la tabla 10 se puede apreciar el inventario de todos los instrumentos de medición, softwares y equipos que son utilizados por parte del proceso de confiabilidad. Estos dispositivos son utilizados en las diferentes actividades y procedimientos asociados a la

confiabilidad, tales como: control calidad de materiales para realización de RCA, seguimiento a materiales a prueba, análisis predictivos, entre otros.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	ESTADO
1	ANALIZADOR DE ACEITES SKF REF TMEH1	1	BUENO
2	ANALIZADOR DE GRASAS SKF REF TKGT1	1	BUENO
3	BASE DE DATOS DE VIBRACIONES	1	BUENO
4	CALIBRADOR DE RADIOS 1/64" A 1/2" X 25	2	ACTIVO
5	CALIBRADOR DE RADIOS INTERIOR Y EXTERIOR MITUTOYO 15,5 A 25 mm	2	ACTIVO
6	CALIBRADOR PARA ENGRANAJES	1	ACTIVO
7	CALIBRADOR PARA ROSCAS INGLES Y METRICO	2	ACTIVO
8	CALIBRADOR PIE DE REY ANALOGO 0" A 12"	2	ACTIVO
9	CALIBRADOR PIE DE REY ANALOGO 0" A 18"	1	ACTIVO
10	CALIBRADOR PIE DE REY ANALOGO 0" A 6"	1	ACTIVO
11	CALIBRADOR PIE DE REY ANALOGO 0" A 8"	2	ACTIVO
12	CALIBRADOR PIE DE REY CARATULA 0" A 6"	1	ACTIVO
13	CALIBRADOR PIE DE REY DIGITAL 0" A 12"	2	ACTIVO
14	COMPAS DE EXTERIORES 12"	1	BUENO
15	COMPAS DE EXTERIORES 4" CON MUELLE STARRET	1	BUENO
16	COMPAS DE EXTERIORES 6" CON MUELLE	1	BUENO
17	COMPAS DE EXTERIORES 8" CON MUELLE STARRET	1	BUENO
18	COMPAS DE INTERIORES 12"	1	BUENO
19	COMPAS DE INTERIORES 18"	1	BUENO
20	COMPAS DE INTERIORES 6" CON MUELLE	1	BUENO
21	COMPAS DE INTERIORES 8" CON MUELLE STARRET	1	BUENO
22	DISCO DURO PORTATIL 1 TB	1	BUENO
23	DUROMETRO PRECEQ EQUITIP 3	1	CALIBRAR
24	DUROMETRO SHORE (PTC MODEL 306L)	1	BUENO
25	ESCUADRA UNIVERSAL MITUTOYO	1	BUENO
26	GALGA DE CORREAS	1	BUENA
27	JUEGO DE GALGAS HISA PARA RODETE PELTON UNIDADES 4	1	BUENO
28	JUEGO DE GALGAS HISA PARA RODETE PERTON UNIDADES 1,2,3	1	BUENO
29	JUEGO DE GALGAS KOSLER PARA RODETE PELTON UNIDADES 1,2,3	3	BUENO
30	JUEGO DE GALGAS PARA POLEAS	1	BUENO
31	JUEGO DE GALGAS PARA RODETE PELTON UNIDAD 5	1	BUENO
32	JUEGO DE MICROMETROS DE INTERIORES MITUTOYO 5/16" A 6"	1	CALIBRADO
33	KIT DE DIBUJO Y TIRALINEAS	1	BUENO
34	LIENZA 100 PIES STANLEY	1	BUENO

35	LINTERNA METALICA MARCA SUAT CON CARGADOR	1	BUENA
36	LUPA	2	BUENAS
37	MANUAL Y GALGAS PARA ROSCAS PARKER	1	BUENO
38	MEDIDOR DE TEMPERATURA DIGITAL	1	BUENO
39	MEDIDOR DE ULTRASONIDO PARA ESPESORES	1	MALO
40	MEDIDOR DE ULTRASONIDO USM/DMS GO	1	POR CONFIGURAR
41	MEDIDOR DE VIBRACIONES	1	BUENO
42	MEDIDOR LAZER 70 METROS MARCA BOSH	1	BUENO
43	MICROMETRO DE EXTERIORES 0" A 6"	1	CALIBRADO
44	MICROMETRO DE EXTERIORES 12" A 18"	1	CALIBRADO
45	MICROMETRO DE EXTERIORES 6" A 12"	1	CALIBRADO
46	MICROMETRO DE EXTERIORES 75 A 100 mm	1	CALIBRADO
47	MICROMETRO DE INTERIORES 2" A 12"	2	CALIBRADO
48	MICROMETRO DE INTERIORES 2" A 20"	1	CALIBRADO
49	REGLA METALICA DE 24"	1	BUENA
50	SOFTWARE DE CEGAMIENTO DE AGUJEROS	1	BUENO
51	TALADRO DEWALT 1/2" A BATERIA	1	BUENO

Tabla 10: Inventario de instrumentos, softwares y equipos utilizados por el proceso de Confiabilidad.

9.2 Proveedores de Servicios de Análisis Predictivos.

9.2.1 Proveedor de Lubricantes y Servicio de Análisis de Aceite Usado (Petrobras)

9.2.1.1 Formación del Personal que Analiza las Muestras de Aceite Usado. Las personas a cargo de estos procesos son Químicos puros o Ingenieros Químicos con experiencia mínima de tres (3) años en el análisis; son profesionales con entrenamiento (Interno y externo) específico en estas técnicas.

9.2.1.2 Certificaciones del Personal que Analiza las Muestras. El personal asignado para el análisis de muestras de aceite usado provenientes de las distintas operaciones de Minería Aluvial cuenta con certificaciones, que van desde análisis hasta interpretación de resultados, a través de un ente independiente como es el ICML (INTERNATIONAL COUNCIL FOR MACHINERY LUBRICATION).

El ICML es una organización sin ánimo de lucro dedicada al crecimiento y desarrollo de la lubricación de la maquinaria como un campo técnico de la empresa. Entre sus diversas

actividades, el ICML ofrece pruebas de habilidad para obtener las certificaciones en los campos de monitoreo de condición, lubricación y análisis de aceite.

Las certificaciones por parte de dicha entidad pueden ser consultadas en el siguiente enlace:

<https://www.icmlonline.com/exams/Default.aspx?p=MLT2>

9.2.1.3 Normatividad Bajo la cual Están Regulados los Equipos o Instrumentos Utilizados en el Análisis de Aceites. Los equipos empleados para el análisis de aceites usados en los laboratorios de Petrobras cumplen con las normas ASTM o ISO específicas para cada tipo de análisis. En la figura 13 se observa de manera detallada la normatividad para cada tipo de análisis y contaminante encontrado en la muestra.

NOMBRE DEL ENSAYO	MÉTODO
Viscosidad cinemática	ASTM D 445
Número ácido, TAN	ASTM D 664
Número básico, TBN	ASTM D 2896
	ASTM E 2412
	Oxidación
	Nitración
Estado del aceite	Sulfatación
	Hollín
	Combustible
	Agua
	ASTM D 6595
	Silicio
	Cobre
	Hierro
	Cromo
Metales de desgaste	Aluminio
	Estaño
	Plomo
	Molibdeno
	Vanadio
	Titanio

Figura 13: Método de análisis de aceite usado.

9.2.1.4 Normatividad Bajo la cual Están Regulados los Softwares Utilizados en el Proceso de Análisis de Aceites. Los softwares utilizados por Petrobras para el análisis de aceites usados vienen incluidos para el manejo del hardware (Equipo) según el análisis ASTM a realizar. Es decir, al estar certificado el equipo, el software también lo está.

9.2.2 Proveedor de Servicio de Análisis de Vibraciones Mecánicas (A-MAQ)

El análisis de vibraciones mecánicas de los equipos de las distintas operaciones de Mineros Aluvial es realizado por un ingeniero analista certificado.

9.2.2.1 Formación del Personal que Analiza las Muestras de Aceite Usado. El ingeniero analista de vibraciones mecánicas que realiza los análisis de vibración a los equipos de Mineros Aluvial es un Ingeniero Electromecánico del Instituto Tecnológico Metropolitano (Medellín).

9.2.2.2 Certificaciones del Personal que Analiza las Muestras. Las Certificaciones como Analista de Vibraciones con las que cuenta el personal de la empresa A-MAQ son emitidas por Instituciones reconocidas Internacionalmente tales como: Mobius Institute de Australia, y Vibration Institute de USA.

Internamente los Analistas son Certificados por A-MAQ, para trabajar como Analista de Vibraciones. Reciben entrenamiento por Personal Certificado Internacionalmente y el programa se basa en el Plan de estudios del Mobius Institute.

9.2.2.3 Normatividad Bajo la cual están Regulados los Equipos o Instrumentos Utilizados en el Análisis de Vibraciones. Como es bien sabido, los análisis de vibraciones mecánicas son realizados a través de la interpretación de espectros que se encuentran en el dominio de la frecuencia. Por su parte, se debe prestar especial atención para asegurar que los sensores están montados correctamente y que tales montajes no degraden la precisión de la medición.

Los puntos de medida típicamente son tres, dos puntos ortogonales en la dirección radial en cada chumacera y un punto en la medición axial. Las mediciones deben realizarse cuando el rotor y las chumaceras han alcanzado sus temperaturas estacionarias de trabajo y con la máquina funcionando bajo condiciones nominales o específicas (por ejemplo de velocidad, voltaje, flujo, presión y carga).

Por su parte, dependiendo del tipo de máquinas y las condiciones de operación de éstas, se han establecido normas que permiten establecer las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración:

Norma ISO 10816: Los criterios de vibración de este estándar se aplican a un conjunto de máquinas con potencia superior a 15 kW y velocidad entre 120 RPM y 15.000 RPM. Los criterios son sólo aplicables para vibraciones producidas por la propia máquina y no para

vibraciones que son transmitidas a la máquina desde fuentes externas. Dicho estándar consta de cinco partes:

- Parte 1: Indicaciones generales.
- Parte 2: Turbinas de vapor y generadores que superen los 50 MW con velocidades típicas de trabajo de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM.
- Parte 3: Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120 y 15000 RPM.
- Parte 4: Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las empleadas en aeronáutica.
- Parte 5: Conjuntos de máquinas en plantas de hidrogenación y bombeo (únicamente disponible en inglés).

Norma ISO 7919: Aplica a las máquinas o grupos generadores de energía que equipan las centrales hidroeléctricas y las estaciones de bombeo con velocidades entre 60 r/min y 1 800 r/min, con rodamientos lisos de una o dos piezas, y una potencia del motor principal de por lo menos 1 MW. La posición de la línea del eje puede ser vertical, horizontal o en un ángulo arbitrario entre estas dos direcciones. Los grupos generadores cubiertos por esta parte de ISO 7919 incluyen una combinación de

- Turbinas y generadores hidráulicos.
- Bombas y máquinas eléctricas que funcionan como motores.
- Turbobombas y grupos convertidores.
- Turbinas, bombas y grupos convertidores hidráulicos.

10. Hallazgos

- El proceso de indagación e investigación de los indicadores elaborados por el área de Confiabilidad de Mineros Aluvial arrojó que, no se están llevando a cabo la medición de otros indicadores que son de gran importancia para evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes. Por consiguiente, los indicadores que pueden ayudar a implementar planes de mantenimiento encaminados a perfeccionar la labor del mantenimiento en la empresa son: MTBF, MTTR, $R(t)$, $M(t)$ y el cálculo de la disponibilidad de equipos críticos.
- De la figura 8, la cual presenta una comparación entre los aspectos de un programa de Confiabilidad ideal y el programa de confiabilidad de Mineros Aluvial, se observan aspectos que distan de los ideales, otros que se encuentran en camino y otros que se han desarrollado de muy buena manera.
- Aspectos como el análisis de falla-RCA y los mantenimientos proactivos muestran según la figura 8 que se encuentran al mismo nivel cuantitativo de los aspectos ideales; por otro lado, aspectos como lubricación, mantenimiento preventivo y constitución, organización, administración, capacitación distan aun de llegar al estado ideal.
- La toma de decisiones en uno de los elementos más relevantes dentro de cualquier organización y para este fin es menester apoyarse en la mayor cantidad de datos, de modo que las decisiones que se tomen sean lo más acertadas posibles. En base a lo anterior, se encontró que el manejo de los datos por parte del proceso de confiabilidad, específicamente los concernientes a los análisis predictivos (aceites y vibraciones) se pueden clasificar dentro de una analítica pre- descriptiva; ya que aunque la información recibida por parte de los proveedores es almacenada, esta se hace de manera disgregada en informes y archivada en carpetas en un servidor.
- Partiendo del hecho que la confiabilidad de un proceso tiene su máximo valor en la confiabilidad de su parte más débil, en el sistema entorno-ser humano-equipos, el ser

humano parece ser el componente más débil, el menos conocido y controlado; condición que no se toma en cuenta en el proceso de confiabilidad de la empresa.

- Otro de los hallazgos importantes dentro del proceso de inspección y evaluación al proceso de confiabilidad es el correspondiente a la confiabilidad de los repuestos que se tienen en el stock del almacén de la empresa; ya que no se aplican metodologías como RCC (Repuestos Centrados en la Confiabilidad) que propenden por la optimización del inventario.
- De la información recolectada en lo referente a la formación del personal que apoya directa e indirectamente al proceso de confiabilidad de la empresa, se precisa que en general el personal de mantenimiento, operación y producción ha recibido capacitación y formación en lo referente a la lubricación. Este tipo de adiestramiento influye de manera positiva en la confiabilidad, y disponibilidad de los equipos.
- Durante las visitas a la zona de operación aluvial para la realización de las actividades propias del área de confiabilidad, fue notorio el inadecuado almacenamiento de los lubricantes (aceites hidráulicos, aceites para motores y grasas), en especial, el almacenamiento de los lubricantes utilizados para la maquinaria pesada; estos se encontraban expuestos a condiciones de temperatura, humedad, lluvia, polvo y suciedad.
- El proveedor de lubricantes y servicio de análisis de aceites cuenta con profesionales calificados bajo estándares internacionales para el análisis de las muestras de aceites; de igual manera, sus equipos cumplen con las normas ASTM o ISO específicas para cada tipo de análisis.
- El proveedor de servicios de análisis de vibraciones tiene dentro de su equipo de trabajo profesionales analistas de vibraciones, los cuales cuentan con certificaciones internacionales de instituciones acreditadas en USA y Australia; así mismo, los criterios de vibración de los instrumentos y equipos están amparados bajo normatividad.

11. Conclusiones

- El proceso de Confiabilidad está a cargo de un ingeniero que tiene la suficiente formación y experiencia en la industria para llevar a cabo las actividades que se demandan en este cargo. Por ejemplo, el Ingeniero de Confiabilidad es la persona a la cual recurren los ingenieros y técnicos de mantenimiento que están en el día a día con los equipos y los especialistas (mecánicos y electricistas) para atender problemas complejos de equipos cuyo diagnóstico es difícil, ya que se encuentran afectados por diferentes modos de fallas o que presentan diferentes causas.
- La medición del MTBF y el MTTR permiten conocer dos de los indicadores mas importantes dentro del procesos de confiabilidad del mantenimiento. El primero indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la **confiabilidad** del componente o equipo; por su parte, el segundo mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado; este parámetro de medición es asociado a la **mantenibilidad**, es decir, a la ejecución del mantenimiento.
- Mientras que el MTBF mide la confiabilidad, el MTTR es un fuerte indicador de la eficacia de la reparación. Ambos parámetros permiten obtener una estimación de cuánto tiempo un activo ha estado indisponible.
- En la comparación de los aspectos de Confiabilidad de la empresa Mineros Aluvial respecto a los propuestos en la tarjeta de confiabilidad diseñada por el señor Mitchell, se evidenció que la mayoría de los aspectos deben mejorar; se hace necesario entonces estudiar a profundidad cada uno de los sub-aspectos y realizar los cambios, mejoras o innovaciones necesarias para logras resultados encaminados a cumplir los estándares ideales.

- El ejercicio de inspección y evaluación del proceso de Confiabilidad de Mineros Aluvial, resultó bastante interesante, ya que permitió medir de una manera cuantitativa el comportamiento de los aspectos mostrados en la figura 8; de esta manera, se puede saber en qué situación se encuentra el proceso dentro de la empresa para definir plan de acción.
- Con la creación de la base de datos de los aceites usados, se dio un paso hacia la analítica descriptiva del manejo de datos; ya que al tener la información no solo almacenada, sino compacta, ordenada y clasificada permite obtener métricas que describen lo que está ocurriendo en los diferentes procesos, debido a que se genera trazabilidad en el tiempo del comportamiento de los equipos de las diferentes operaciones.
- Otro paso importante que se logró dar dentro del concepto del manejo de los datos fue el entrelazamiento entre la base de datos y el software de análisis empresarial (POWER BI), el cual permite obtener visualizaciones de los datos de manera interactiva permitiendo así al proceso de confiabilidad, tomar acciones de mejora enfocada de una manera rápida. Esta acción permite evolucionar hacia una analítica diagnóstica, ya que permite profundizar en los datos, hallar dependencias y correlaciones entre los equipos analizados y los contaminantes encontrados en las muestras.
- Para prevenir riesgos en las operaciones y en las actividades de mantenimiento, es necesario llevar a cabo las estrategias que se enmarcan en la orientación y el mejoramiento de la confiabilidad humana las cuales son: Formación del personal, trabajo en equipo, correcto desempeño y manejo de la información, las cuales igualmente forman parte integral de la confiabilidad de todo proceso.
- Con la sistematización y posterior análisis en el software POWER BI de las muestras de aceites de las tres operaciones, se evidenció que los principales contaminantes hallados en las muestras corresponden a presencia de silicio y fluctuaciones en la viscosidad. Ambas anomalías pueden ser causadas por el almacenamiento y malas prácticas de trasvase de los lubricantes en las zonas de operación por parte del personal encargado.

- Los proveedores de aceites, análisis de aceites y análisis de vibraciones cuentan con personal altamente calificado, con experiencia y certificado por institutos internacionales. Así mismo, sus equipos, instrumentos y procedimientos generales de medición están regulados por normas aceptadas internacionalmente (ASTM e ISO). Lo anterior, es prenda de garantía de la confiabilidad de los análisis efectuados por cada proveedor.

12. Recomendaciones

- Efectuar el análisis del MTBF y MTTR debido a que con la medición de ambos parámetros proporcionan la posibilidad de hacer estimaciones sobre la producción, la cual disminuye y/o se interrumpe durante las averías. De igual manera, permiten obtener estimaciones sobre los costos de mantenimiento en un período de tiempo determinado.
- Definir plan de acción encaminado a mejorar los distintos aspectos concernientes a la Confiabilidad del mantenimiento basado en los resultados mostrados en la figura 8.
- Implementar herramientas de simulación y predicción de la confiabilidad de los equipos y sistemas críticos.
- Integrar a la dirección de mantenimiento y al personal de operación y producción de dragas en lo concerniente a los análisis de riesgos y oportunidades de mejora de la confiabilidad.
- Implementar tecnologías de la información y la comunicación tales como Internet de las cosas, Big Data, Machine learning, manejo de datos e información; con el objetivo de aprovechar los volúmenes de datos provenientes de los análisis predictivos (aceites y vibraciones) para establecer análisis diagnósticos, predictivos y prescriptivos que vayan en pro de tomar decisiones enfocadas en el mejoramiento del mantenimiento.

- Seleccionar, implementar y enlazar las diferentes herramientas de monitoreo de condiciones; tales como medición de aceite, vibraciones mecánicas, temperatura, presión, índice de polaridad, entre otros; que permitan elaborar análisis del ciclo de vida de los diferentes equipos, prevenir fallas y tener una visión holística de las condiciones de las máquinas.
- Se recomienda mejorar las condiciones de almacenamiento de los lubricantes nuevos; de igual manera, implementar unidades de filtración adaptables a canecas de 55 galones que permitan filtrar el aceite antes de dosificarlo a granel y recircularlo dentro del reservorio para entregarlo en condiciones de limpieza óptimas para la operación de la máquina.
- Implementar tecnologías de filtración móviles para hacer remoción de contaminación del lubricante en los equipos

13. Referencias Bibliográficas

Anquetil, N, Oliveira K, Dias M, Ramal M, Meneses R (2003). Knowledge for Software Maintenance..61-68. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/221389855_Knowledge_for_Software_Maintenance

Espinosa, Luisa, Rebolledo, Argenis, Irausquín, Ignacio, & Quiroga, Alfonso. (2012). Estudio de la confiabilidad humana en el mantenimiento aeronáutico. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 35(3), 270-278. Recuperado en 09 de enero de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702012000300007&lng=es&tlng=es

Jones R (1995). Risk-Based Management: A Reliability-Centered Approach. Gulf Publishing Company, First Edition, Houston, Texas. Recuperado de: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-camino-hacia-el-rcm/>

Lucio, X. (2008). Diseño de un sistema de mantenimiento autónomo para la planta ensambladora de vehículos General Motors – ÓMNIBUS BB. Tesis Publicada, Universidad Politécnica Nacional: Quito. Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1298>

Mesa, Grajales D.; Ortiz, Sánchez, Pinzón M (2006), La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento Scientia Et Technica, vol. XII, núm. 30, mayo, 2006, pp. 155-160 Universidad Tecnológica de Pereira Pereira, Colombia. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920491036.pdf>

Monchy François, (1989) A Função Manutenção , Editora Brasileira/Editora Duran. Recuperado de: <https://www.doccity.com/pt/funcao-manutencao-francois-monchy/4907226/>

Moubray J (1997) RCM II: Reliability Centered Maintenance, Industrial Press Inc., New York, USA. Recuperado de: https://www.academia.edu/9478461/mantenimiento_centrado_en_la_confiabilidad_contenidos

O'hEocha, M. (2000). A study of the influence of company culture, communications and employee attitudes on the use of 5Ss for environmental management at Cooke Brothers Ltd. The TQM Magazine, 12(5), 321-330. Recuperado de: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09544780010341923/full/html>

Pigoski, T. M. Practical software maintenance: best practices for managing your software investment. USA: John Wiley & Sons. P.87-102, Dec, (1996). (10) (PDF) *Knowledge for Software Maintenance..* Available from: https://www.researchgate.net/publication/221389855_Knowledge_for_Software_Maintenance [accessed Nov 02 2020]

R. Keith Mobley, MBB, CMRP,. Maintenance Engineering Handbook, Eighth Edition. MAINTENANCE VERSUS RELIABILITY ENGINEERING, Chapter (McGraw-Hill Education: New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto, 2014). Recuperado de: https://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2612/content/book/9780071826617/chapter/chapter_2

14. Anexos

Anexo A: Tarjeta de Puntuación de Confiabilidad.

Tarjeta de puntuación detallada del programa de Confiabilidad <i>Creado por John S. Mitchell; jsmitchell@worldnet.att.net</i> Enero 2006									
Elementos del programa de Confiabilidad	Necesidad, definición	Métricas Comparativas	Requerimientos	Peso del Elemento - %	Peso del Programa - %	Cuartiles			
Resultados / Eficacia del Programa de Confiabilidad				100	17%	1	2	3	4
Disponibilidad general de instalaciones, sistemas y equipos	La baja disponibilidad indica falta de Confiabilidad	~90%	CBM, PM, FMEA	16	2,7	>95 %	>85 %	>70 %	<70 %
Fallas inesperadas en los últimos dos años - identificable con vigilancia en funcionamiento, por ejemplo, Mantenimiento Basado en la Condición (CBM)? - modos de Falla comprendidos - análisis de Fallas completado y medidas para evitar Fallas nuevamente aplicadas	El programa de Confiabilidad apunta a la eliminación de Fallas	~0%	CBM RCFA	12	2,0	1	3	5	>5
Tendencia a la baja de la tasa de Fallas en todo el equipo pesado	Demuestra una mejora	Tendencia	MTBF	11	1,9	SI			No
Costos de mantenimiento: porcentaje de RAV, coste/unidad, etc.	Rendimiento de Costos	%RAV, %ERV, \$/unit, etc. (nota; clasificación por cuartil en múltiplos de clase mundial)	CBM, PM, RCFA	16	2,7	clase mundial	>1.2 X clase mundial	>1.4 X clase mundial	>1.5 X clase mundial
Trabajos de emergencia e interrupciones del trabajo como porcentaje del total	Indica mantenimiento reactivo	<15%	CBM	15	2,6	<10 %	<20 %	<30 %	>30 %
					11,9				

Valores, Cultura, Relaciones				100	8%				
Sólida relación de trabajo (asociación) entre Producción y Mantenimiento, responsabilidades definidas, objetivos alineados, buenas relaciones, cooperación visible, personas motivadas	Esencial para el éxito	Calibración a partir de entrevistas	Relación de asociación	35	2,8	buen a	aceptable 80%	pobre (>5 y >20)	inexistente (<5 %)
Cultura de confiabilidad, valores, comportamiento en su lugar. Declaración escrita de la misión en su lugar y cumplido. Valores y cultura dirigidos a la identificación y eliminación proactiva de problemas, alto nivel de propiedad, cantidad mínima de respuesta reactiva.	Herramienta clave para obtener una relación de asociación esencial entre Mantenimiento y Producción	Calibración a partir de entrevistas	relación de asociación	25	2,0	buen a			pobre
Mantenimiento (autónomo) realizado por el operador: Responsabilidad, actividades y tareas definidas, instrucciones disponibles, comprendidas y seguidas, capacitación en curso, funcionamiento (responsabilidades detalladas en el procedimiento operativo estándar) - integridad mecánica realizada por el operador - inspecciones: sonidos anormales / temperatura, accesorios sueltos, aceite bajo, fugas, etc. y limpieza (separado de las rondas de funcionamiento) - actividades de mantenimiento realizadas por el operador: limpieza, lubricar, ajustar, etc. - instrucciones detalladas, fotografías, etc. proporcionadas a garantizar la claridad y la plena comprensión de los requisitos	Maximizar la eficacia de los esfuerzos generales de mantenimiento, mejorar la implicación	si	Deberes y responsabilidades documentados en detalle. Mantener registros de actividades, por ejemplo, la reposición continua de petróleo indica fugas, el ajuste constante del refrigerador puede indicar incrustaciones, el cambio frecuente de filtros de aceite puede significar problemas internos.	10	0,8	si	casi	algunos	no
Capacitación y adiestramiento en las aptitudes de las personas disponibles e implementadas según sea necesario - dirección - formación de equipos y competencias	Asegurar que los valores culturales sean enfatizados y reforzados	si	Documentación detallada, mantenimiento de registros	15	1,2	si			no

Cambio (mejora) Proceso de gestión en marcha - líder nombrado y que persigue activamente el valor, mejora cultural y organizativa - formación impartida en la medida necesaria - proceso de seguimiento para garantizar la eficacia	Proceso básico para garantizar una cultura y unos valores institucionales óptimos	Medir la eficacia de las entrevistas	Documentación detallada, mantenimiento de registros, auditoría para evaluar el cumplimiento	10	0,8	si			no
Se realizan encuestas periódicas para evaluar la satisfacción, identificar posibles áreas problemáticas. Se reportan los resultados de las encuestas y se actúa en consecuencia.	Esencial para medir los valores, la cultura y las relaciones vistas por los participantes		Documentos en detalle	5	0,4	si			no
					8,0				
Constitucion, Organización, Administración, Capacitación				100	16%				
Publicación y seguimiento de una declaración de misión dirigida a mejorar la confiabilidad, reducir la tasa de Falla y la variabilidad, eliminar los defectos	Establece la dirección del programa	en el sitio	declaracion escrita	6	1,0	si			no
Se nombra a un defensor de la gestión de alto nivel, con funciones de responsabilidad y administración del programa (descripción de funciones) especificadas, facultado para eliminar barreras, obtener recursos y financiación, plena rendición de cuentas por los resultados	se asigna la responsabilidad	Asignado, especificado	Deberes y responsabilidades especificados	8	1,3	si			no
ingeniero de confiabilidad designado, habilitado y activo con suficiente autoridad para obtener resultados objetivos (puede ser la misma persona o diferente con la responsabilidad del programa)	Motivar, coordinar, impulsar el programa	Designado, activo	Persona con deberes y responsabilidades especificados	7	1,1	si			no
Proceso del programa de confiabilidad diagramado mostrando todos los procesos, roles, responsabilidades, actividades, funciones e interacciones. Analizado para claridad de comprensión, máxima eficacia.	Necesario para asegurar el entendimiento institucional	en el sitio	Verificar, auditar para asegurar la conformidad	4	0,6	si	parcial		no
Funciones, responsabilidades, competencias básicas y especialidades identificadas y documentadas para todos los ingenieros y técnicos de confiabilidad, por ejemplo, bombas, motores, sellos, recipientes a presión, etc. Programa de capacitación para llenar vacíos	Identificar competencias	Publicado	Documentación matricial de individuos y competencias	4	0,6	si			no

<p>Análisis de riesgos y clasificación de riesgos de todos los principales sistemas y equipos por probabilidad y consecuencias de Falla</p> <ul style="list-style-type: none"> - procedimiento formal en vigor y utilizado - solo punto y defectos ocultos identificados, reconocimiento / acción de anulación ejecutada - el funcionamiento fuera de los parámetros de diseño requiere pleno análisis con riesgo identificado y evaluado - priorización en vigor para la vigilancia operativa / inspección, determinación predictiva y preventiva <p>Elaboración de una estrategia de vigilancia y gestión de activos para cada equipo</p>	<p>Centrar la atención en las mayores oportunidades y amenazas; asegurar que todas las estrategias de identificación y mitigación estén en vigor</p>	RCM, FMEA	<p>Completado, revisado periódicamente y siempre que se contemplen cambios (por ejemplo, operativos)</p>	7	1,1	si			no
<p>Estrategia establecida para evaluar la integridad del sistema de distribución eléctrica, incluidos los requisitos de potencia y la carga en comparación con el diseño</p>	<p>Necesario con la adición continua de cargas y accionamientos de velocidad variable</p>		<p>Revisado periódicamente y cuando se contemplan adiciones/ cambios</p>	4	0,6	si			no
<p>Programa de valor y beneficio comercial / costo (incluida la mejora de la eficiencia) calculado en términos monetarios, revisado periódicamente, divulgado a la organización e informado / promovido a nivel de junta</p>	<p>Demostrar el rendimiento y el valor de negocio creado</p>			6	1,0	si			no
<p>MTBF determinado para equipo pesado; dentro de las mejores normas de la industria- Falla definido, procedimiento de cálculo especificado- variabilidad, desviación máxima / mínima identificada- costo de mantenimiento y tiempo de inactividad de la producción disponible por equipos individuales para el análisis- datos válidos- conocimiento de las normas de clase mundial para los principales equipo- identificación y clasificación de los Fallas a través de clases, tipos y componentes del equipo</p>	<p>Medida básica de confiabilidad</p>	<p>Depende de equipos específicos</p>	<p>RCFA</p>	5	0,8	si	algunos		no
<p>Registros de configuración de instalaciones y equipos vitales actualizados, revisados periódicamente y verificados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Registro de activos - Lista general de equipos - P&ID 	<p>Necesario para cumplir las normas básicas de confiabilidad</p>		<p>verificar los registros</p>	5	0,8	si	algunos		no

<p>Especificaciones, historia, procedimientos y prácticas documentados y fácilmente disponibles para todo el equipo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - especificaciones de los fabricantes - historial de funcionamiento y confiabilidad - instrucciones de funcionamiento y reparación, tarea detallada / trabajo instrucciones - mantenimiento predictivo y preventivo - calidad del trabajo <p>-Procedimientos escalonados que incluyen instrucciones detalladas (de referencia y capacitación), abreviados (planes de trabajo) y comprobaciones; todos accesibles, comprendidos y seguidos</p> <p>-Proceso de retroalimentación establecido para asegurar que los procedimientos actuales estén en marcha, distribuidos, utilizados, verificados y actualizados / mejorados según sea necesario</p>	Necesario para cumplir las normas básicas de confiabilidad	en el sitio	Verificar los procedimientos, asegurar el proceso de seguimiento hacer ciertas correcciones / mejoras se identifican y se implementan, retroalimenta las medidas adoptadas a la persona que hace la recomendación	7	1,1	todo	algunos	ninguno
Proceso de control de revisión de documentos / configuración; procedimiento de acceso y revisión establecido para toda la documentación del programa e información de apoyo.	Requisitos para la eficacia del programa	en el sitio	Comprobar la disponibilidad de la documentación -- se tendrá toda la información disponible a través de un portal web disponible para todos	5	0,8	si	algunos	no
Componentes, Estado, Causa, Códigos de acción definidos, introducidos de forma consistente y en uso en el CMMS para el seguimiento de confiabilidad	Información básica para el programa de confiabilidad	si		6	1,0	si		no
Piezas de repuesto para equipos críticos identificados, niveles de almacenamiento/ procedimiento de adquisición establecido	Asegura que se definan los requisitos de repuestos	en el sitio	Registros de control al azar	4	0,6	si		no
Estrategias de contingencia de Fallas establecidas para todo el equipo crítico: fuentes para piezas especiales, reparaciones, personal de supervisión, talleres de reparación	Asegura que los planes están presentes para manejar fallas críticas de la manera más efectiva	procedimiento establecido		4	0,6	si	algunos	no
Plan de control definido y en vigor para garantizar la sostenibilidad de todos los cambios y mejoras	Asegurar que las mejoras sean institucionalizadas permanentemente	Procedimiento establecido y seguido		7	1,1	si		no

<p> Criterios de reparación vs. sustitución establecidos. Normas de reparación subcontratadas establecidas y aplicadas </p>		Publicado		3	0,5	si	algunos	no
<p> Gestión de habilidades: Todos los requisitos de capacitación y certificación para un programa de confiabilidad documentado, en uso, completado y certificado. -Demostración de habilidades en el trabajo y pruebas definidas y documentadas. -Actualización, requisitos de recertificación definidos y documentados. -Plan de sucesión en vigor que define los requisitos de formación y cualificación. - técnicos predictivos (vibración, lubricación, termografía, ultrasonido, etc.) - alineación de los ejes - tareas preventivas (PM) - reparaciones especializadas: sellos, rodamientos sustitución, alineación, calibración del instrumento, alta tensión, etc. - formación de operarios </p>	<p> Procedimientos completamente documentados por escrito para el aseguramiento de la calidad, la certificación ISO y para asegurar niveles de habilidades sin disminución con las jubilaciones </p>	Documentado	<p> Revisar la documentación, los procesos de auditoría para asegurar la documentación seguida. </p>	8	1,3	si	incompleto	no
					16,0			
<i>lubricación</i>				100	8%			
<p> Instalación de amplio programa de lubricación en su lugar. Cumplimiento de las mejores prácticas, incluida la determinación de la cobertura, el tipo óptimo, los requisitos de recepción, almacenamiento, ensayo, transferencia, entrega al equipo y muestreo </p>	<p> Garantía de calidad, máxima Confiabilidad </p>	si	<p> Procedimiento escrito, publicado y seguido </p>	80	6,4	completo	algunos, no todos	no
<p> Filtrado de flujo lateral de lubricación/ pulido en su lugar y en uso </p>				20	1,6	si		no
					8,0			
<i>Monitoreo de la condición, mantenimiento basado en la condición</i>				100	10%			
<i>Programa General</i>								

<p>Para cada programa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - programa plenamente definido, en funcionamiento - responsabilidad y rendición de cuentas definidas para el programa, presentación de informes y medidas necesarias - pruebas y resultados documentados - análisis realizado cuando sea necesario - Aplicación de la metodología para la identificación temprana de las tendencias que podrían dar lugar al fracaso - método efectivo de notificación de desviaciones y problemas análisis con garantía de acción y pista de auditoría - utilización eficaz del análisis de Fallas; causa y prevención - seguimiento / retroalimentación en el lugar para asegurar un individuo notificación de un defecto / acción requerida se informa de la medidas adoptadas de manera oportuna - formación y certificación definidas y documentadas según proceda - Programas integrados y coordinados colectivamente; resultados y análisis comparados para el refuerzo mutuo 	<p>Requisitos básicos para lograr la productividad y eficacia de los activos de clase mundial</p>	<p>Requisitos enumerados</p>	<p>CBM</p>	<p>6</p>	<p>0,6</p>	<p>Completo</p>				<p>ninguno</p>
<p>Porcentaje de equipo crítico supervisado</p>	<p>Identificación temprana de fallas mientras se dispone de tiempo para minimizar el impacto en la producción</p>	<p>100%</p>		<p>4</p>	<p>0,4</p>	<p>100 %</p>	<p>>80 %</p>	<p>>60 %</p>	<p><60 %</p>	
<p>Porcentaje de equipo no crítico supervisado</p>	<p>Minimizar Fallas inesperados</p>	<p>Más del 70% (real dependerá del proceso y el equipo)</p>		<p>3</p>	<p>0,3</p>	<p>>75 %</p>	<p>>60 %</p>	<p>>50 %</p>	<p><50 %</p>	
<p>Costo/ beneficio para todos los programas determinados al inicio del programa, revisados periódicamente en un intervalo apropiado (un año recomendado, dos años como máximo)</p>	<p>Asegurar la máxima contribución</p>	<p>si</p>		<p>5</p>	<p>0,5</p>	<p>si</p>				<p>no</p>
<p>Capacitación y certificación completadas y documentadas</p>	<p>Exigido por las normas de calidad</p>	<p>Documentados</p>		<p>8</p>	<p>0,8</p>	<p>si</p>				<p>no</p>

Proceso / rendimiento operativo - eficacia de los equipos mecánicos; bombas, compresores, turbinas de vapor y gas - eficiencia del intercambiador de calor - eficacia de la caldera	Identificar la eficiencia degradada	si	Cálculos periódicos de eficiencia y tendencias	7	0,7	SI			no
Rendimiento de la trampa de vapor (si procede)	Identificar la fuente principal de energía perdida	si	Identificar las fugas y las trampas de vapor bloqueadas	3	0,3	SI			no
Ultrasonidos -- activos (medición de espesor), pasivos (detección de fugas)	Identificar paredes de adelgazamiento, fugas	si		3	0,3	SI			no
Fugas de aire y gas dentro y fuera de un sistema: (válvulas pasantes internas, juntas pasantes externas)- aire y gas industrial no peligroso (por ejemplo, nitrógeno)- vapor- gas peligroso / peligroso para el medio ambiente (emisiones fugitivas)- cualquier gas que cause residuos	Identificar las fuentes de residuos y posibles eventos ambientales	si		4	0,4	SI			no
Control de aceite, gas y temperatura de transformadores	Identificar posibles problemas del transformador	si		2	0,2	SI			no
					10,0				
Mantenimiento preventivo basado en el tiempo				100	8%				
Objetivos del programa, responsabilidad y procedimientos de implementación definidos en detalle	Garantía de calidad	si	Procedimiento escrito, publicado y seguido	22	1,8	SI			no
Programa completo en efecto: incluye equipos, tuberías y estructuras	Asegurar que el programa es inclusivo	si	Procedimiento escrito, publicado y seguido	25	2,0	SI	algún porcentaje		no
Evaluación de equipos estáticos y NDT: - tuberías, recipiente a presión y espesor del tubo - cerrar la estanqueidad de la válvula - fugas de las válvulas de seguridad y de seguridad - eficiencia del intercambiador de calor, depósito y tubo espesor - instrumentos de control y calibración de válvulas e historia - distribución eléctrica; aparatos de distribución cableado - otros	Identificar condiciones degradadas, posibles fallas entre equipos estáticos	si	Procedimiento escrito, publicado y seguido	18	1,4				

Inicio activo de las órdenes de trabajo, finalización supervisada	Labor iniciada y realizada	si	Procedimiento escrito, publicado y seguido, métrica de finalización publicada	15	1,2	SI	algún porcentaje	no
Exámenes periódicos para asegurar el máximo valor/costo; realización de tareas preventivas óptimas a intervalos óptimos	Asegurar la máxima eficacia	sí, al menos cada 2 años	Supervisado con medidas correctivas adoptadas en caso necesario	20	1,6	SI		no
					8,0			
Análisis de Requerimientos de Mantenimiento y Desarrollo de Programas— RCM FMEA				100	5%			
RCM / FMEA completado en todos los equipos definidos como de alto riesgo; vigilancia, PM, PdM y estrategia de mantenimiento definidos. Requisitos de mantenimiento y repuestos críticos incorporados en los procesos de planificación de trabajo y materiales MRO	Primer método para asegurar un programa de mantenimiento óptimo en equipos críticos	si	Manual de procedimientos escrito	100	5,0	si	algunos	no
					5,0			
Mantenimiento Proactivo				100	6%			
Espacio de trabajo y limpieza de las instalaciones	Asegurar un entorno de alta calidad, propiedad		Inspecciones periódicas, deficiencias por escrito y seguimiento	18	1,1	5S		no
Integridad de la lubricación, limpieza y pruebas: procedimiento de lubricación, anillos de aceite, aislantes de rodamientos, gafas de visión inferior	Asegurar una lubricación óptima	si	Procedimiento escrito, publicado y seguido	25	1,5	si		no
Alineación precisa del eje: - normas publicadas y aplicadas - equipo aplicable definido - programa de alineación de precisión en funcionamiento	Esencial para maximizar el acoplamiento y la vida útil del rodamiento	si	Programa documentado, calificaciones identificadas, requisitos especificados por el equipo	15	0,9	si		no
Equilibrio de precisión - normas publicadas y aplicadas	Maximizar la vida útil del rodamiento	si	Programa documentado, estándares especificados por tipo de equipo	10	0,6	si		no

Instrucciones de trabajo estándar preparadas, transmitidas con cada orden de trabajo y actualizadas	Garantía de calidad	si	Incluir seguridad, calidad, instrucciones de montaje e instalación, piezas y herramientas requeridas. Método para que las embarcaciones recomienden mejoras.	14	0,8	si	algunos, no todos	no
Alineación de la brida de la tubería	Garantía de calidad, evitar distorsiones	si	Procedimiento escrito, publicado y seguido	8	0,5	si		no
Establecimiento de un proceso para buscar las mejores prácticas del sector, evaluando y mejorando continuamente las prácticas y procedimientos del sitio	Mantenerse al día con las mejores prácticas	si	Procedimiento escrito, publicado y seguido	10	0,6	si		no
					6,0			
<i>Mantenimiento, Mantenibilidad para Proyectos de Capital</i>				100	5%			
Capacitación en las mejores prácticas de confiabilidad y mantenibilidad para todos los directores de proyectos e ingenieros antes de la etapa de diseño y compra	Asegurar que las mejores prácticas se integren en el diseño del proyecto			20	1,0	si		no
Procedimiento establecido y seguido para consolidar la confiabilidad y el mantenimiento en proyectos de capital grandes y pequeños: - pleno uso de las especificaciones del sitio, probadas, estándar del sitio componentes (motores, bombas, válvulas, etc.), instrumentación y piezas (rodamientos, sellos) durante el diseño para maximizar la fiabilidad, minimizar necesidades adicionales de almacenamiento y capacitación - MTBF estimado por proveedor (garantizado) - documentación completa sobre el diseño, la explotación y la reparación surtido - facilidad de acceso (mantenimiento) durante el diseño - controles, gálidos e instrumentos fácilmente visibles	Asegurar que el equipo se compra, instala y pone en marcha con una confiabilidad y mantenibilidad óptimos	si	Marcar la lista	25	1,3	si		no

Relación sólida y honesta con todos los proveedores. Proveedores comprometidos con la entrega de equipos y componentes confiables. - podrá exigir a los proveedores de formación que cumplan los requisitos del emplazamiento	Necesario para una confiabilidad óptima	procedimientos		15	0,8	si			no
Para todos los equipos nuevos: - estrategia de mantenimiento en el lugar; PM, PdM y repuestos críticos definidos e implementados - requisitos de lubricación definidos, coherentes con normas de las plantas y aplicadas - especificaciones de alineación establecidas - sistema de registro de mantenimiento establecido - formación identificada y realizada para las operaciones y mantenimiento - alineación de la línea de base, vibración y funcionamiento medidas especificadas y registradas como aplicable	Asegurar que los nuevos equipos tienen un programa óptimo de mantenimiento y confiabilidad en la puesta en marcha inicial	si	RCM, FMEA	40	2,0	si	algunos -- porcentajes		no
					5,0				
Analisis de Falla — RCFA				100	7%				
Capacitación oficial completada y documentada	Garantía de calidad, normalización		Capacitación completada (nota: considere la capacitación abreviada en los fundamentos para elevar la conciencia de la necesidad, el uso y los beneficios del proceso de análisis de fallas)	10	0,7	si			no
Procedimiento de ejecución establecido y seguido - se especifican los factores desencadenantes; la seguridad supera un umbral - pérdida o costo de producción (evento único y/ o acumulativo a lo largo de un tiempo determinado para una falla crónica y recurrentes de bajo coste)	Necesario para corregir la causa de los Fallas	si	Procedimiento escrito	15	1,1	si	algunos - porcentaje		no

Análisis integrales de fallas realizados por un equipo multidisciplinario que incluye todas las habilidades (ingeniería, profesionales de confiabilidad, supervisión de operación y mantenimiento y técnico) necesarias para examinar todos los aspectos de la falla, realizar un análisis completo y formular recomendaciones definitivas para evitar la repetición.	Necesario para corregir la causa de Fallas graves	La participación de trabajo manuales cuenta como "tiempo de llave"	Procedimiento escrito, incluidas las responsabilidades	15	1,1	si			no
Análisis de fallas estratificadas para mayor eficacia - Falla menor por primera vez: datos únicamente - acontecimiento menor, repetitivo: equipo pequeño, principalmente técnicos - acontecimiento importante: equipo completo, análisis completo de los Fallas, aplicación de los resultados obligatoria	Utilizar técnicos, concentrar recursos en fallas mayores		Procedimiento escrito	12	0,8	si			no
Identificación y corrección de defectos de diseño, funcionamiento y procedimiento	Crucial para la mejora continua de la Confiabilidad		Procedimiento escrito	10	0,7	si			no
Procedimiento establecido para identificar y corregir las fallas crónicas (costo acumulado, número de fallas durante un período de tiempo especificado)	Crucial para la mejora continua de la Confiabilidad		Procedimiento escrito para incluir la identificación de Fallas crónicas, la recopilación y conservación de datos	10	0,7	si			no
Datos de Falla recogidos en la escena tan pronto como sea posible (incluso si significa mantener a la gente más allá del final del turno) y no más de 24 horas después del evento. Análisis de Fallas iniciado a más tardar 72 horas después del suceso	Asegurar que los datos y recuerdos son exactos	si	Procedimiento escrito para incluir la identificación de Fallas crónicas, la recopilación y conservación de datos	12	0,8	inmediato	24	48	no
Revisión, aplicación y comprobación de la eficacia de las medidas correctivas. Mecanismo de seguimiento para garantizar que las medidas correctivas se hayan completado y sean eficaces.	Cierre del programa, plena utilización de los resultados	si		16	1,1	yes	la mayoría del tiempo	algunas veces	no
					7,0				

Mejora de la Confiabilidad				100	8%			
Programa de mejora continua de la confiabilidad contratado y activo; basado en análisis de riesgos, oportunidades y Fallas; mejoras de confiabilidad aplicadas en cada oportunidad, incluyendo reparación, para mejorar el rendimiento y extender la vida útil de forma segura	Mejorar la confiabilidad, actualizar el equipo antiguo	si	Análisis de riesgos y oportunidades completo, requisitos de mejora especificados	24	1,9	si		no
Participación activa en el programa de mejora de la confiabilidad por Producción, Mantenimiento e Ingeniería. Confiabilidad define las funciones y responsabilidades del ingeniero.	Necesario para obtener una confiabilidad óptima		Procedimiento escrito que define la carta, la autoridad, las funciones y las responsabilidades	20	1,6	si		no
Creación de una base de conocimientos fácilmente accesible para determinar las oportunidades de mejorar la confiabilidad y el valor de las mejoras.	Necesario para priorizar las oportunidades de mejora		Base de conocimientos accesible	20	1,6			
. Participación activa de mantenimiento, producción e ingeniería (tecnicos, supervisores y profesionales), otros según sea necesario - objetivos escritos (reducción de costos, tiempo de inactividad) - metodología para identificar y priorizar oportunidades - oportunidades de mayor valor identificadas en términos de reducción de costos y tiempo de inactividad - establecimiento de planes de acción de máxima prioridad oportunidades, planes en marcha, con responsabilidad, tiempo y valor creados métricas de rendimiento	Método básico para identificar e implementar iniciativas de mejora	Formado, activo, mejoras en el progreso, la participación contada como "tiempo llave"	Demostrar actividades	26	2,1	si		no
Conocimiento de los objetivos y beneficios del programa de confiabilidad, prioridades del programa y tareas ampliamente publicitadas.	Crear entusiasmo por el programa, la conciencia de los beneficios	Revisar los conocimientos	Base de conocimientos accesible	10	0,8	si		no
					8,0			
Modelado de confiabilidad, predicción, análisis de por vida				100	2%			
Metodología definida: simulación, modelado, Weibull, aplicación y procedimientos definidos	Predicción de fracaso	si		100	2,0	si	algunos	no
					2,0			

Anexo B: Procedimiento de Análisis de Fallas

Qué	Responsable	Cómo
4.1. <i>Detección de la falla.</i>	Ingeniero de confiabilidad y Lubricación	Listando el reporte de tiempos perdidos “ABC” de paros en dragas de cucharas y succión, mediante el uso del listado de Avisos Operacionales “Z1” registrados en SAP. En Operadora minera, maquinaria Pesada, Transporte Fluvial, Terrestre y PCH el registro se obtendrá mediante el listado de avisos operacionales “Z4”. Además se tendrán en cuenta las fallas de acuerdo con la información suministrada por los jefes y/o directores de mantenimiento de cada área.
4.2. <i>¿La falla cumple con los requisitos listados en las condiciones generales?</i>	Ingeniero de confiabilidad y Lubricación	Se determina en cada caso si el costo asociado a cada falla supera los criterios descritos en las condiciones generales según los numerales 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6.
4.3. <i>Investigación de la falla.</i>	Ingeniero de Confiabilidad y Lubricación.	<p>El análisis de fallas está constituido por las siguientes etapas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preparación: Consiste en la recopilación de la documentación técnica y planos de los equipos y sistemas asociados. • Investigación: Consiste en visitar el lugar de los hechos y recopilar fotografías, solicitar el envío de materiales o componentes para análisis externos, revisión del estado de componentes que se encuentren asociados a la falla y recopilación de información sobre casos similares previos. • Entrevista al personal de producción: Descripción del problema por parte del operador del equipo y su jefe directo para identificar los sucesos ocurridos previamente y durante la falla e identificar posibles causas. • Entrevista al personal de mantenimiento: Descripción del problema por parte del mecánico o electricista y su jefe directo para identificar los sucesos ocurridos durante la reparación e identificar posibles causas. • Clasificación de las posibles causas describir según diagrama de Ishikawa.

<p>4.4. <i>Análisis y formulación de planes de acción.</i></p>	<p>Responsable de proceso, dependiendo del tipo de falla</p>	<p>Durante las reuniones se realiza la formulación de los planes de acción para cada una de las propuestas definiendo las actividades, el responsable y la fecha estimada de implementación y finalización en el formato C&L-FOR-001.”Formato Análisis de Falla”. cada análisis de falla deberá ser registrado en Mejoramiso con sus respectivos compromisos registrados en XIPE.</p> <p>Los planes de acción deben cubrir todos los posibles eventos que puedan desencadenar la falla.</p> <p>Dicho informe se envía a los responsables de los compromisos, encargados de cada área en operación y mantenimiento, al Jefe de Ingeniería de Mantenimiento y al Analista de Sistemas de Gestión a más tardar en una semana después de la reunión de Análisis.</p>
<p>4.5 <i>Implementación del plan de acción</i></p>	<p>Responsable de cada compromiso</p>	<p>De acuerdo a los compromisos adquiridos durante la formulación de planes de acción, cada responsable realizará las actividades necesarias para garantizar la ejecución de dichos planes. Cada compromiso adquirido en la reunión será retroalimentado desde el Mejoramiso y XIPE con su respectivo comentario.</p>
<p>4.6 <i>Seguimiento a planes de acción</i></p>	<p>Ingeniero de Confiabilidad y Lubricación</p>	<p>Mensualmente se realizará una reunión de análisis de fallas para el seguimiento a los compromisos adquiridos durante las reuniones previas. Luego de ejecutados todos los compromisos se definirá la forma y el tiempo en el que se medirá la eficacia del plan de acción.</p>
<p>4.7 <i>Verificación de la eficacia del plan de acción</i></p>	<p>Ingeniero de Confiabilidad y Lubricación</p>	<p>Una vez cumplido el periodo definido para la validación de la eficacia, se genera un informe donde se recopilan los resultados de dicha medición, indicando si fue o no eficaz. En el caso de que haya ocurrido la falla durante el periodo de validación se analizara nuevamente las posibles causas para la falla.</p>

Anexo C: Seguimiento a Materiales a Prueba

Que	Responsable	Como
4.1 <i>Hacer solicitud de seguimiento al material a probar</i>	Ingeniero de confiabilidad y Lubricación	Luego de tomada la decisión sobre el material a probar, se debe generar un aviso M2 en SAP donde se indique que se desea probar y donde se implementará éste, además se debe indicar en qué lugar se encuentra dicho material.
4.2 <i>Ingresar materiales a los que se le realizará seguimiento en la base de datos</i>	Ingeniero de confiabilidad y Lubricación	<p>Ingresar la siguiente información en la base de datos C&L-FOR-009 destinada para este fin:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nombre del material, repuesto o insumo. 2. Nombre del proveedor. 3. Descripción del material. 4. Código de bodega (si existe). 5. Código de Rastreabilidad. 6. Número del consecutivo del certificado de control de calidad. 7. Costo (\$). 8. Lugar de la prueba. 9. Fecha de inicio seguimiento. 10. Fecha de retiro o fin seguimiento. 11. Duración (en días). 12. Observaciones (características, objetivo del ensayo –por ejemplo- durabilidad por cambio de composición química). 13. Periodicidad seguimiento. 14. Seguimientos. <p>La base de datos se deberá actualizar a medida que se realicen los seguimientos.</p>
4.3 <i>Identificar e instalar material a prueba</i>	Ingeniero de confiabilidad y Lubricación	<p>Si el material se puede marcar físicamente se hará por medio de metal market, indicando “Material en prueba” y número de certificado de control de calidad cuando aplique.</p> <p>Los demás artículos que no se puedan marcar, se identificarán sus empaques como “Material para prueba” y con el número del control de calidad respectivo con marcador o pintura según el caso.</p> <p>Nota: Cuando se presente el caso que el material a ser probado sea un subconjunto de una pieza mayor, (por ejemplo, labio de cuchara en prueba, instalado en cuchara vendida a bodega); es responsabilidad del ejecutor de la O.T., marcar la pieza mayor con la leyenda “Contiene</p>

	<p>Instalación: Responsable de Proceso</p> <p>Ingeniero de confiabilidad y Lubricación</p>	<p>material en prueba” (en el ejemplo anterior se marcaría como se indica en el cuerpo de la cuchara).</p> <p>Al momento de instalar el material en prueba al cual se le hará seguimiento, el responsable de proceso debe diligenciar el formato elaborado y enviado previamente por Ingeniería de Mantenimiento Información seguimiento material a prueba C&L-FOR-009.</p> <p>El formato diligenciado por los responsables de procesos debe ser enviado a Ingeniería de Mantenimiento, a más tardar cinco (5) días hábiles luego de haber instalado o puesto en uso el material, repuesto o insumo en prueba.</p>
4.4 Seguimiento	Ingeniero de confiabilidad y Lubricación	<p>De acuerdo con la periodicidad definida para el plan de seguimiento, se deben ejecutar los seguimientos a través de OT’s en SAP hasta que el producto sea retirado; bien sea para ser analizado, reparado, reformulado o dado de baja.</p> <p>La OT diligenciada se debe hacer llegar a más tardar el tercer día después de haberse elaborado la OT.</p> <p>Una vez el usuario haga llegar la OT elaborada, el secretario de la División de Mantenimiento debe vaciar la información consignada en ésta, en la base de datos creada.</p> <p>El Jefe de Ingeniería de Mantenimiento, deberá analizar los resultados parciales y finales del desempeño del material en prueba, informando al usuario y los interesados el seguimiento en cuestión. C&L-DOC-002</p>
4.5 Analizar resultados	Ingeniero de confiabilidad y Lubricación	<p>De acuerdo con los resultados parciales y/o finales, se procederá a tomar una de las siguientes decisiones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rechazar el material en ensayo. 2. Homologar el mismo. 3. Retroalimentar al proveedor, para que éste haga variaciones dimensionales, químicas u otras; buscando que el producto mejore su desempeño; y de esta forma se repita el ensayo del producto.
4.6 Actualizar información del producto	Jefe de Ingeniería de Mantenimiento.	<p>En el caso que el desempeño del material en prueba cumpla satisfactoriamente los resultados esperados, y por este hecho se decida homologar el producto; se debe hacer las modificaciones respectivas a los documentos asociados al producto; tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plano(s) de fabricación. • Especificación técnica. • Variables físicas o químicas. • Código de bodega

		<ul style="list-style-type: none"> • Etc. <p>La anterior información deberá ser enviada al Departamento de Bodega y Suministros vía memorando.</p>
4.7 <i>Retroalimentar al proveedor</i>	Director División de Ing. y planeación de Mantenimiento.	Cuando se considere conveniente, se informará oficialmente al proveedor el desempeño final del material en ensayo, mediante correo electrónico o convencional, con copia a todos los funcionarios involucrados.