

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO
PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DE LA MINA EL SILENCIO
DEL GRUPO EMPRESARIAL DAMASA**

Autor:

SUGEY ELISA GALET PORTILLA

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, MARZO DE 2019**

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO
PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DE LA MINA EL SILENCIO
DEL GRUPO EMPRESARIAL DAMASA**

SUGEY ELISA GALET PORTILLA

**Anteproyecto presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director: William Javier Mora Espinosa
Ing. Mecánico

Codirector: Ramiro Sierra Echeverri
Ing. Mecánico
Gerente de mantenimiento mecánico

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, MARZO DE 2019**

DEDICATORIA

Dedico y agradezco, a Dios ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera.

A mi madre, por su sacrificio y esfuerzo. Por qué siempre estuvo a mi lado

Brindándome su apoyo y su consejo, siendo ella mi mayor motivación

Para hacer de mí una mejor persona y lograr este sueño.

AGRADECIMIENTOS

A William Javier Mora Espinosa por su disposición, orientación y paciencia, para dirigir este trabajo de grado.

A la Universidad de Pamplona y a el Programa de ingeniería mecánica por el aporte a mi formación profesional y proyecto de vida.

Al grupo empresarial DAMASA por confianza y la oportunidad de realizar a la cabalidad de este proyecto.

A Ramiro Sierra Echeverri, Gerente de mantenimiento, por la orientación, la oportunidad y la confianza, de hacer parte del área de mantenimiento y la gran responsabilidad asignada.

A Jhonatan Yepes, líder de área de mina y bombeo, por el tiempo y conocimiento brindado.

A cada una de las personas del área de mantenimiento de Navar S.A.S, por su apoyo y colaboración al desarrollo de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	10
2.	OBJETIVOS.....	11
2.1	Objetivo general	11
2.2	Objetivos específicos	11
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
4.	JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	13
5.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	14
5.1	Definición de mantenimiento	14
5.2	Objetivos del mantenimiento.....	15
5.3	Tipos de mantenimiento	15
6.	CONTEXTO OPERACIONAL	16
6.1	Equipos de bombeo	22
6.1.1	Bomba hidromac ANSI 2196	23
6.1.2	Bomba Hidromac ETN 150/500.....	23
6.1.3	Bomba Sihi Nowa.....	24
6.1.4	Bomba Durco.....	24
7.	ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	25
7.1	Búsqueda de historiales y sistemas de información	25
7.2	Codificación de los equipos.....	25
7.2.1	Codificación según el proyecto de pertenencia	26
7.3	Inventario	26
8.	ELABORACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN	26
8.1	Ficha técnica	26
8.2	Formato de hoja de vida	29
8.3	Formato de orden de trabajo	30
8.4	Formato de solicitud de servicio	31
8.5	Formato de mantenimiento	33

8.6	Formato de seguridad.....	34
9.	ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	35
9.1	Análisis nivel 7 (0).....	37
9.2	Análisis nivel 16 (0).....	38
9.3	Análisis nivel 19 (0).....	39
9.4	Análisis nivel 23 (0).....	40
9.5	Análisis nivel 30 (0).....	41
9.6	Análisis nivel 28 (450).....	42
9.7	Análisis nivel 31 (450).....	43
9.8	Análisis nivel 34 (450).....	44
9.9	Análisis nivel 39 (450).....	45
9.10	Análisis nivel 40 (485).....	46
9.11	Análisis nivel 43 (120).....	47
10.	IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE FALLAS EN LOS EQUIPOS.....	49
10.1	Funciones.....	49
10.2	Fallo funcional.....	49
10.3	Modo de fallo.....	49
10.4	Causa raíz.....	49
10.5	Consecuencia.....	49
10.6	NPR (número de prioridad de riesgos).....	50
11.	PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA DE BOMBEO.....	51
11.1	PM1.....	53
11.2	PM2.....	54
11.3	PM3.....	56
11.4	PM4.....	57
11.5	Instructivos.....	59
12.	PLAN DE MANTENIMIENTO AIRE COMPRIMIDO.....	63
12.1	PM1.....	63
12.2	PM2.....	65
12.3	PM3.....	66
13.	MANTENIMIENTO CIRCUNSTANCIAL.....	72

13.1	Nivel 23	72
13.2	Nivel 28,31 y 34	73
13.3	Nivel 39	73
13.4	Nivel 40	74
13.5	Nivel 43	74
14.	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	75
14.1	Costos de intervención	75
14.2	Costo de falla	76
14.3	Costos de nomina	77
14.4	Beneficio por tipo de mantenimiento	80
15.	RESULTADOS	Error! Bookmark not defined.
16.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
17.	ANEXOS.....	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Equipos por instalación de proceso.....	20
Tabla 2.	Trabajos de mantenimiento 1er semestre 2018.....	21
Tabla 3.	Tipos de bombas.....	22
Tabla 4.	Tipos de motores	22
Tabla 5.	Factores ponderados	36
Tabla 6.	Factores Bomba 1 Nivel 7	37
Tabla 7.	Criticidad bomba 1 nivel 7	38
Tabla 8.	Factores bomba nivel 16.....	38
Tabla 9.	Criticidad bombas nivel 16.....	39
Tabla 10.	Factores bombas nivel 19	39
Tabla 11.	Criticidad bombas nivel 19.....	40
Tabla 12.	Factores bomba nivel 23	40
Tabla 13.	Criticidad bomba nivel 23	41
Tabla 14.	Factores bomba nivel 30.....	41
Tabla 15.	Criticidad bomba nivel 30	42
Tabla 16.	Factores nivel 28.....	42
Tabla 17.	Criticidad bomba nivel 28	43
Tabla 18.	Factores bomba nivel 31.....	43

Tabla 19.Criticidad bomba nivel 31	44
Tabla 20.Factores bomba nivel 34.....	44
Tabla 21.Criticidad bomba nivel 34	45
Tabla 22. Factores bomba nivel 39	45
Tabla 23.Criticidad bomba nivel 39	46
Tabla 24.Factores bomba nivel 40.....	46
Tabla 25.Criticidad bomba nivel 40	47
Tabla 26.Factores bomba nivel 43.....	47
Tabla 27.Criticidad bomba nivel 43	48
Tabla 28. Escala de valoracion.....	50
Tabla 29.PM1, Semanal.....	53
Tabla 30.PM2 Quincenal	54
Tabla 31.PM3, Diario.....	56
Tabla 32.PM4, Basado en condición 1	57
Tabla 33.PM4, Basado en condición 2.	58
Tabla 34.Instructivo 1.....	59
Tabla 35.Instructivo 2.....	60
Tabla 36.Instructivo 3.....	61
Tabla 37.Instructivo 4.....	62
Tabla 38.PM1, Semanal.....	63
Tabla 39.PM2, Diario.....	65
Tabla 40.PM3, Basado en condición 1	66
Tabla 41.PM3, Basado en condición 2	67
Tabla 42.PM3, Basado en condición 3	68
Tabla 43.PM3, Basado en condición 4	69
Tabla 44.PM3, Basado en condición 5	70
Tabla 45.PM3, Basado en condición 6	71
Tabla 46.Costos por intervención en el mes de Agosto	75
Tabla 47.Costo por intervención en el mes de Septiembre.....	75
Tabla 48.Costo por intervención en el me de Octubre.....	75
Tabla 49.Costo por intervención en mantenimiento	76
Tabla 50. Nómina personal del sistema de bombeo.	77
Tabla 51.Costo mantenimiento semanal.	80
Tabla 52.Costo mantenimiento quincenal	80
Tabla 53.Costo mantenimiento correctivo	81

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Costos operacionales NAVAR	17
Ilustración 2. Cadena de valor NAVAR.	18
Ilustración 3. Personal por áreas NAVAR.	19
Ilustración 4. Organización jerárquica área de mantenimiento NAVAR.	19
Ilustración 5. Bomba Hidromac ANSI 2196	23
Ilustración 6. Bomba Sihi Nowa 150/50	24
Ilustración 7. Codificación de equipos	25
Ilustración 8. Código según proyecto	26
Ilustración 9. Ficha técnica	29
Ilustración 10. Hoja de vida	30
Ilustración 11. Formato de orden de trabajo	31
Ilustración 12. Formato de solicitud de servicio	32
Ilustración 13. Formato de mantenimiento.	33
Ilustración 14. Mapa de seguridad	34
Ilustración 15. Control diario.....	52
Ilustración 16. Operatividad nivel 23	72
Ilustración 17. Operatividad nivel 28,31 y 34	73
Ilustración 18. Operatividad nivel 39	73
Ilustración 19. Operatividad nivel 40	74
Ilustración 20. Operatividad nivel 43	74
Ilustración 21. Fallas en el año 2017	76
Ilustración 22. Costo por mantenimiento	82

LISTAS DE ESQUEMAS

Esquema 1. Estructura jerárquica NAVAR.	18
Esquema 2. Trabajos de mantenimiento 1er semestre 2018.	21

1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento industrial actualmente cuenta con una serie de técnicas predestinadas a conservar los equipos o instalaciones el mayor tiempo posible, el mantenimiento ha pasado por varias etapas, desde cuando los propios operarios realizaban todas las operaciones de los equipos hasta cuando se vio la necesidad de no solo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo prevenirlas (García Juan, 2003).

El grupo empresarial DAMASA, tiene como objetivo principal la exploración, explotación y transporte de minerales preciosos y sus derivados, entre otros. Su centro de operaciones se encuentra en los municipios de Segovia y Remedios en el nordeste Antioqueño, la empresa actualmente cuenta con un mantenimiento correctivo y se desarrolla en siete áreas las cuales son la industrial, mina y bombeo, eléctrico, ventilación, aire comprimido, montajes y obras civiles y área de plaza. El área de mina y bombeo actúa cuando el agua de la mina, producto de las excavaciones debe ser bombeada a la superficie para garantizar la continuidad de la producción, siendo una de las áreas de mayor importancia. El mantenimiento de esta área actualmente se desarrolla teniendo un conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se vayan presentando en los diferentes equipos, provocando paradas intempestivas que ocasionan pérdidas de tiempos y aumentos de costos.

Teniendo en cuenta lo anterior se propone realizar un plan de mantenimiento programado al área de mina y bombeo, comprendido en tres etapas, la primera comprende el análisis del estado actual del mantenimiento, donde se examinará el inventario de los equipos, el sistema de codificación de cada uno de ellos, se diseñaran los formatos de información para facilitar la búsqueda y análisis de cada una de las operaciones que se realicen con cada equipo; en la segunda etapa se realiza el análisis de criticidad para de esta forma reconocer cuales equipos causan mayores inconvenientes al momento de un fallo, seguidamente se pretende efectuar el análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) para los equipos críticos.

En la etapa final se usa el análisis AMEF como base para comenzar la planeación del mantenimiento programado, que pretende prevenir reparaciones mayores y más costosas, evitar paradas inoportunas y prolongar la vida útil de los equipos, entre otras. En esta etapa también se realizará un análisis costo beneficio del plan planteado.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento programado para el sistema de bombeo en la mina el silencio del grupo empresarial Damasa.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual del sistema de bombeo aplicando codificación de equipos, formatos de información y análisis de criticidad.
- Diseñar el plan de mantenimiento programado, implementando el análisis de modos y efectos de fallas.
- Realizar un estudio de mantenimiento circunstancial.
- Realizar una comparación costo-beneficio del mantenimiento correctivo con respecto al plan de mantenimiento propuesto.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años la minería de oro está pasando por un momento de conflicto debido a la caída de los precios, esto se puede reflejar ya que en el año 2015 representaba 37.553 millones de pesos del producto interno bruto, mientras que en el año 2016 se disminuyó a un 24.299%, (Ministerio de Minas y Energías, 2018). Esta razón ha llevado a las empresas colombianas a construir un plan de desarrollo nacional de mineros que le permita posicionarse como un sector que afianza progresivamente su seguridad jurídica, sostenibilidad y reputación en los territorios, además de consolidar a la minería como una actividad empresarial regulada, responsable y competitiva que contribuya a su proyección nacional e internacional, por otra parte es de gran interés promover la industria minera como un sector que aporta al desarrollo económico y social, además de permitir la inclusión de las buenas prácticas en temas estratégicos globales que permitan hacerse sostenible para sus inversionistas y poder seguir contribuyendo con el desarrollo de la región. (Agencia Nacional De Minería, 2018).

La optimización de recursos siempre ha sido el reto de las grandes empresas y el grupo empresarial Damasa no es ajena a esa situación, para esto se ha venido trabajando en diferentes alternativas y estrategias que le permitan a la compañía reducir los costos de operación.

El proceso de mantenimiento para el sistema de bombeo es de suma importancia para el funcionamiento de la empresa, el método de mantenimiento utilizado es netamente correctivo y por consiguiente se han percibido inconvenientes de paradas intempestivas y pérdidas de dinero, debido a que se pierde tiempo, además de que muchas veces no se cuenta con los repuestos necesarios para realizar la reparación o el recambio, provocando de esta forma incurrir mayores costos y de igual forma reducir la vida útil de los equipos.

4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El presente proyecto se plantea con el fin de aplicar un plan de mantenimiento programado para el grupo empresarial Damasa, debido a que este no posee un sistema que le permita prevenir las fallas que normalmente pueden ocurrir en el área de mina y bombeo. Una estrategia es precisamente llevar una gestión de mantenimiento programado en los sistemas de bombeo, debido a que es una de las áreas de mayor importancia en la empresa, la cual está constituida por 11 niveles de bombeo y 14 bombas operativas (Grupo empresarial DAMASA, 2017).

Por esta razón, se pretende primero analizar el estado actual del mantenimiento en la empresa para determinar sus debilidades y fortalezas, una vez identificadas se diseñarán los formatos de información pertinentes, además de aplicar el método de análisis de modos y efectos de falla para los equipos críticos del grupo empresarial. Todos estos insumos permitirán realizar el plan de mantenimiento programado, que busca administrar de una manera eficiente la información y lograr un mayor control de los equipos procurando un funcionamiento confiable y ajustando a los requisitos operacionales.

De igual forma el plan de mantenimiento programado permitirá obtener una herramienta de fácil acceso, permitiendo llevar los registros históricos de las actividades que se presenten en cada equipo, así como información de las herramientas presentes, aportando una solución a la problemática planteada logrando una mejora significativa en la programación y ejecución del mantenimiento en la empresa.

5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

5.1 *DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO*

Según la norma francesa AFNOR 60.010, define mantenimiento como “El conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien a un estado especificado o en capacidad de asegurar un servicio determinado” (Pascual, 2002). Además hay que agregar a este concepto que el mantenimiento puede ser considerado como un sistema enlazado con un conjunto de actividades que se realizan en relación con los sistemas de producción.

El mantenimiento a lo largo de los años ha generado mayor influencia, ya que el objetivo de este dio un rotundo cambio, cuando dejaron de pensar en cómo aumentar la cantidad de producción a preocuparse no solamente de corregir las fallas, sino también evitar que las mismas ocurriesen. Por esta razón se dio la iniciativa de tener una gestión de mantenimiento, teniendo en cuenta que los equipos son incapaces de mantenerse en funcionamiento por sí mismo, es necesario que a su vez haya un grupo de personas especializadas encargadas de esto y así poder constituir una organización del mantenimiento. (Alcaldía mayor de Bogota,2018)

5.2 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

El objetivo fundamental del mantenimiento no es solamente solucionar rápidamente las averías que se presenten, sino que también permite otros resultados, según, (García Santiago, 2009) el departamento de mantenimiento de una industria tiene cuatro objetivos principales los cuales son:

1. Cumplir un valor determinado de disponibilidad
2. Cumplir un valor determinado de fiabilidad
3. Asegurar una larga vida útil de la instalación en su conjunto, al menos acorde con el plazo de amortiguación de la planta
4. Conseguir todo ello ajustándose a un presupuesto dado, normalmente el presupuesto óptimo de mantenimiento para la instalación

5.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Tradicionalmente se han encontrado cinco tipos de mantenimiento, cada uno de ellos se diferencia por las tareas que incluyen, los cuales son los siguientes (RENOVETEC,2018):

- **Mantenimiento correctivo:** en cual se presentan un conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se vayan presentando en los diferentes equipos y son comunicados al departamento de mantenimiento por ellos mismos.
- **Mantenimiento Preventivo:** es el mantenimiento que tiene por objetivo mantener el nivel de servicio del equipo la mayor parte del tiempo, por consiguiente, se programan las intervenciones de sus puntos vulnerables en los momentos más oportunos.
- **Mantenimiento Predictivo:** este permite conocer e informar permanentemente el estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, cuya variación de estas variables presenta la indicación de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo.
- **Mantenimiento Cero Horas:** contiene tareas que permiten revisar los equipos a intervalos programados antes de que aparezca un fallo. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo
- **Mantenimiento en uso:** mantenimiento básico que se realiza por los mismos usuarios, en el cual se realizan unas series de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos)

6. CONTEXTO OPERACIONAL

El grupo empresarial DAMASA operador de la multinacional Gran Colombia Gold en el municipio de Segovia Antioquia, cuenta con 3 proyectos de minería aurífera en socavón (NAVAR, MASORA y STANDARD GOLD) y uno agropecuario (AGROINTEGRALES); situándose así en el sector minero energético como actividad económica principal.

NAVAR actualmente es la empresa más grande y representativa, allí se ejecuta un modelo denomina pequeña minería o minería artesanal. La cual consiste en la extracción de oro en socavón por medio de procedimientos manuales donde se clasifica o escoge los sectores y lugares a pequeña escala para su explotación. Al ser procedimientos manuales de precisión, se requiere una alta logística entre las áreas involucradas geología, desarrollo, explosivos, corteros, transporte, elevada, procesamiento y el área financiera; no obstante, estas áreas además de estar soportadas por un equipo administrativo y de talento humano, cuenta con un área de mantenimiento con 8 especialidades: Mina y bombeo, Taller industrial, Ventilación, Aire comprimido, Electricidad, Montajes, Obras civiles y Mantenimiento plaza.

El modelo de negocio es la prestación de servicio por extracción y operación de equipos y personal para la obtención de mono-producto (Oro) y al ser Gran Colombia Gold el propietario del título minero en la región es único cliente. Este se encarga de realizar la transformación final por medio del proceso de cianuración y posterior venta en la bolsa de valores canadiense.

NAVAR cuenta actualmente con 750 empleados vinculados a la empresa y otros 350 bajo el modelo de cuentas por participación; debido a esto el costo operacional más alto de la compañía es el valor de la nómina, seguido de la compra de insumos para producción, costo de consumo de energía eléctrica, gastos administrativos y por último los repuestos e insumos para mantenimiento.

Costos operacionales NAVAR
Promedio segundo semestre del 2017

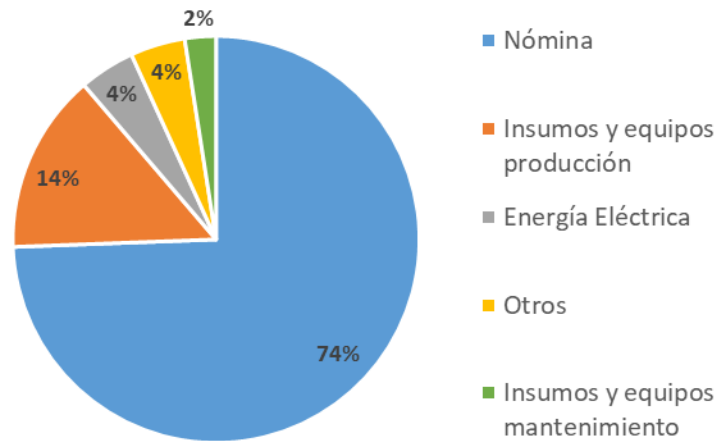


Ilustración 1. Costos operacionales NAVAR
Fuente: Autor

NAVAR tiene como misión desarrollar servicios de explotación minera de alta eficiencia y calidad que sea responsable con la sociedad y el medio ambiente a través de operaciones seguras que cumplan con la normatividad, generando un crecimiento sostenible para nuestra compañía, para nuestros colaboradores y para nuestra comunidad en general. La visión para el 2020 es ser reconocidos por la excelencia en nuestros servicios y contribución al desarrollo de nuestra región y su gente.

La gestión de la empresa se rige en dos actividades, una primaria la producción de material aurífero y una secundaria de apoyo o como soporte a la anterior. El sistema de bombeo no depende de la producción, pero la producción si de él, es prioridad por que este debe estar operativo 19 horas promedio al día, para evitar inundaciones que generen riesgo al lugar de trabajo, como al personal.

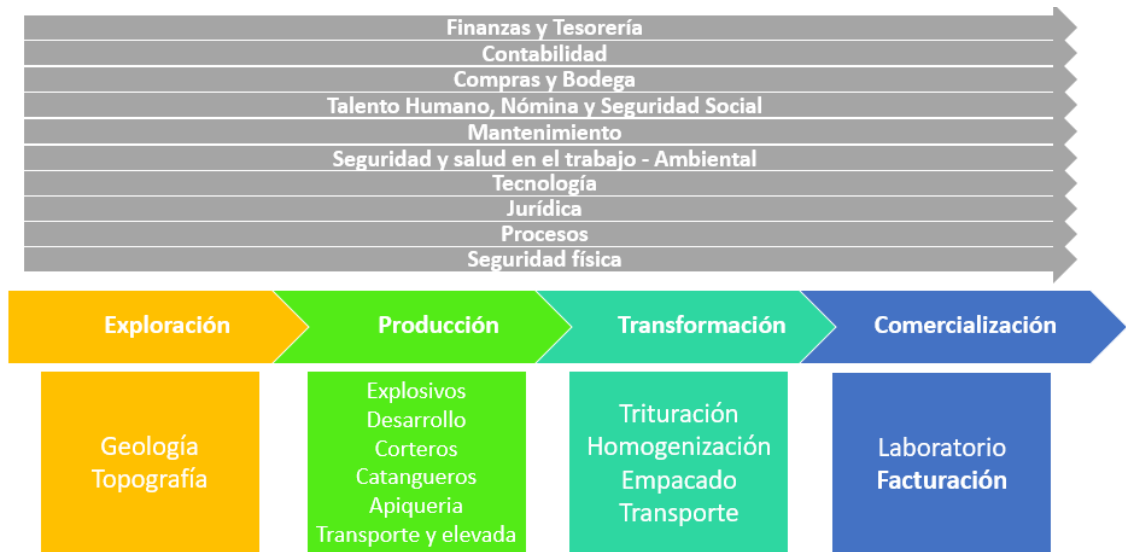


Ilustración 2. Cadena de valor NAVAR.

Fuente: Autor

Actualmente la estructuración jerárquica de la empresa es funcional así:



Esquema 1. Estructura jerárquica NAVAR.

Fuente: Autor

El área de mantenimiento es la cuarta más grande de la empresa con el 11% de los empleados y su estructura jerárquica y organizacional esta especificada en la **Error! Reference source not found.**

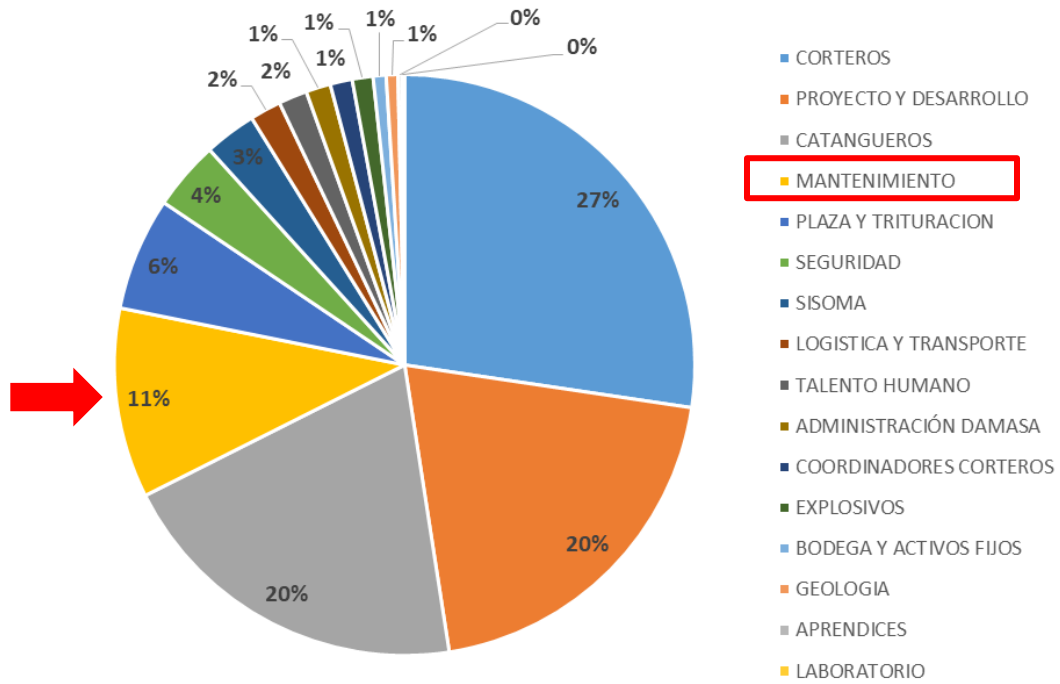


Ilustración 3. Personal por áreas NAVAR.
Fuente: Autor

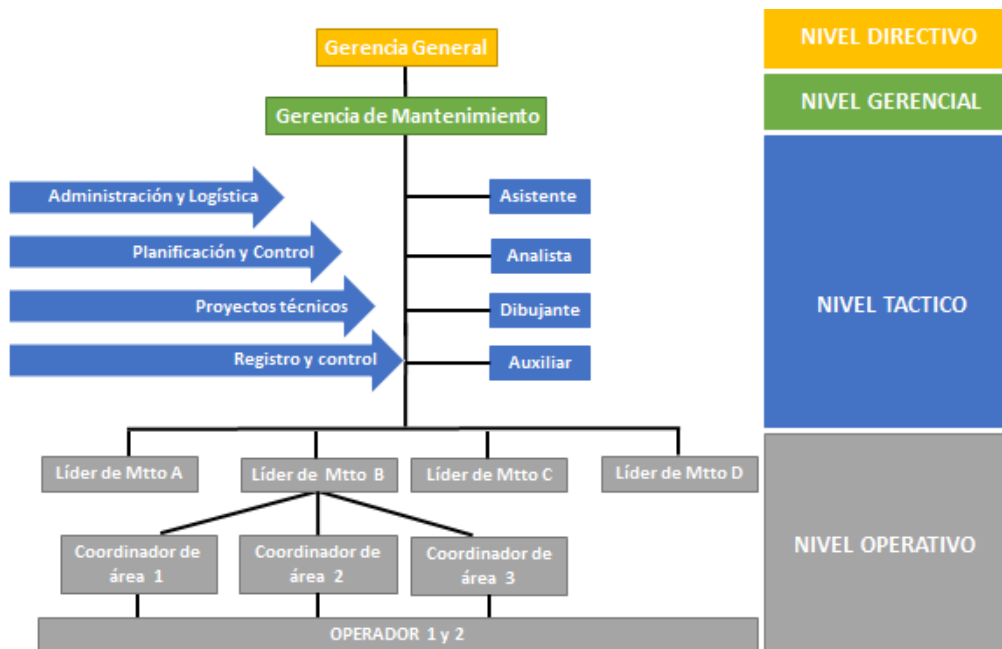


Ilustración 4. Organización jerárquica área de mantenimiento NAVAR.
Fuente: Autor

A nivel tecnológico el área de mantenimiento cuenta con la plataforma MANTUM. El sistema respalda la ejecución y programación de las intervenciones de mantenimiento. Almacena todos los datos relevantes sobre los equipos, componentes y piezas, tales como la ficha técnica, el historial y los planes de mantenimiento. A través de las Solicitudes de Servicio y las Órdenes de Trabajo es posible controlar los costos y tiempos de ejecución y respuesta. Además, permite calcular en tiempo real los principales indicadores que miden la eficiencia y eficacia de los servicios de mantenimiento, resumidos en un informe de gerencia ágil y veraz.

El software almacena, registra y notifica toda la información para el esquema de mantenimiento integral, a partir de módulos de aplicación como Instalaciones y Equipos, Gestión de activos, Ordenes de Trabajo, Solicitudes de Servicios, Gestión de Inventarios, Gestión de Talento Humano y Gestión de Proveedores, lo cual permite acceso en tiempo real de las condiciones y necesidades de la totalidad de la planta, además de una retroalimentación permanente para una mejora progresiva de la confiabilidad operacional y la calidad de los servicios prestados.

Actualmente se tienen registrados 468 equipos organizados por procesos y a los cuales se le realiza registro de todas las intervenciones efectuadas por mantenimiento predictivo, preventivo o correctivo, el bombeo esta entre las áreas de prioridad con 58 equipos.

Tabla 1. Equipos por instalación de proceso.

PROCESO	EQUIPOS	%
EQUIPOS DE PERFORACIÓN	110	24%
TRANSPORTE DE MINERAL	63	13%
BOMBEO	58	12%
SUMINISTRO ELÉCTRICO	45	10%
TALLER INDUSTRIAL	39	8%
LOGISTICA Y TRANSPORTE	37	8%
ELEVADO DE MINERAL	29	6%
TRITURACIÓN	23	5%
VENTILACIÓN Y EXTRACCIÓN DE AIRE	21	4%
SUMINISTRO DE AIRE COMPRIMIDO	17	4%
PULVERIZACIÓN	12	3%
TRANSPORTE DE PERSONAL	9	2%
TALLERES	5	1%
TOTAL	468	100%

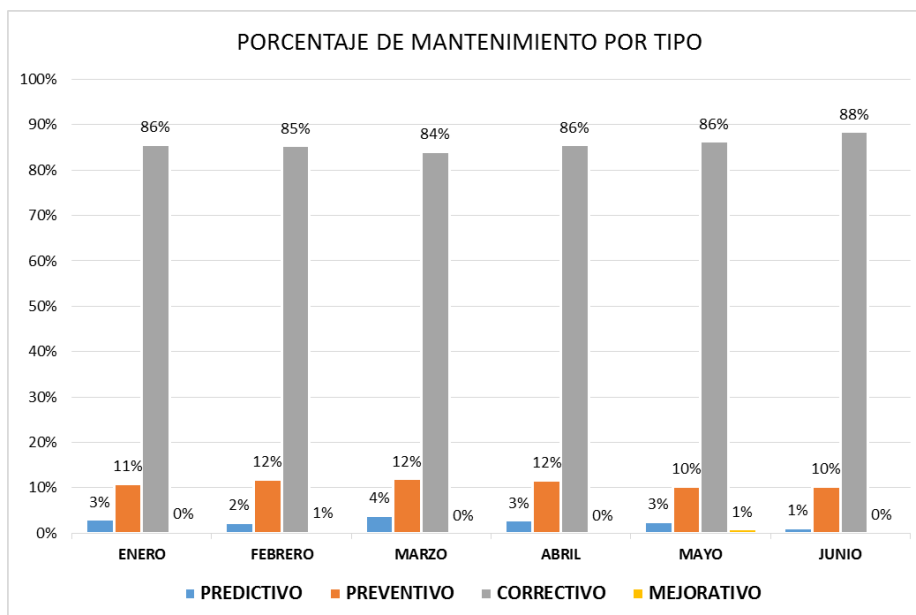
Fuente: Autor

Según informe de órdenes de trabajo extraído de MANTUM, en el primer semestre del año 2018 se han registrado un total de 3.047 trabajos realizados, discriminados por tipo de mantenimiento así:

Tabla 2. Trabajos de mantenimiento 1er semestre 2018.

	2018						PROMEDIO
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	
PREDICTIVO	3%	2%	4%	3%	3%	1%	3%
PREVENTIVO	11%	12%	12%	12%	10%	10%	11%
CORRECTIVO	86%	85%	84%	86%	86%	88%	86%
MEJORATIVO	0%	1%	0%	0%	1%	0%	0%

Fuente: Autor



Esquema 2. Trabajos de mantenimiento 1er semestre 2018.

Fuente: Autor

La alta tendencia en la elaboración de mantenimiento correctivo dentro de la empresa se debe a que la mayoría de estos equipos se encuentran en condiciones de locación y operación de difícil acceso y de maniobrabilidad reducida para una adecuada intervención preventiva, además, a la alta demanda productiva que obliga a que cada proceso esté operativo aproximadamente 20 horas al día.

Sin embargo, como objetivo para el 2018 en el área de mantenimiento se busca que las intervenciones por mantenimiento predictivo y preventivo aumenten y que esto ayude a mitigar el alto costo operativo que demandan las intervenciones correctivas; esto ligado también a la mejora en la documentación, elaboración de planes de mantenimiento por

equipos y elementos de seguridad (fichas técnicas, mapas de seguridad, fichas de mantenimiento y formato de registro e inspección), contemplados en el decreto 1072 de 2015 para el sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SG-SST) y en el decreto 1886 de 2015 sobre el reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas.

6.1 EQUIPOS DE BOMBEO

El área de mina y bombeo, cuenta con 41 bombas centrífugas y 16 motores eléctricos. El sistema de bombeo de la mina el silencio, actualmente está constituido por 14 bombas operativas, distribuidas en 11 niveles, (Anexo 1.) se observa lo planos del sistema de bombeo.

El sistema de bombeo está constituido por seis tipos de bombas y dos de motores, las cuales se mencionan a continuación:

Tabla 3. Tipos de bombas

NOMBRE	MODELO	FABRICANTE	CANTIDAD
BOMBA HIDROMAC	ANSI 2196	MALMEDI	8
BOMBA HIDROMAC	150/500	MALMEDI	8
BOMBA SIHI	NOWA 150/500	-	11
BOMBA DURCO	DURCO	-	2
BOMBA MONOBLOC	BARNES	-	10
BOMBA HIDROMAC	150/400 ZNNY	-	1

Fuente: Autor

Tabla 4. Tipos de motores

NOMBRE	FABRICANTE	CANTIDAD
MOTOR	WEG	13
MOTOR	SIEMENS	3

Fuente: Autor

6.1.1 Bomba hidromac ANSI 2196

El modelo 2196 (Ilustración 5. Bomba Hidromac ANSI 2196, es una bomba centrífuga de impulsor abierto de proyección horizontal, que cumple con los requerimientos de la norma ANSI B73.1. Este tipo de bomba contiene una carcasa de descarga central superior y autocebante. Además de una empaquetadura totalmente sellada.

Por otra parte, el impulsor es completamente abierto y va atornillado al eje. Para este modelo las roscas están aisladas del líquido bombeado mediante un anillo de grafito. (D.Vallares, R.Texeira, 2018.)



Ilustración 5. Bomba Hidromac ANSI 2196

Fuente: Autor

6.1.2 Bomba Hidromac ETN 150/500

La bomba hidromac ETN 150/500, es horizontal de una etapa, con aspiración simple horizontal y descarga vertical hacia arriba. La cual está construida dimensionalmente según las normas DIN 24256/ISO 2858.

Su diseño "back-pull-out", permite su desmontaje por la parte trasera para mantenimiento, sin necesidad de desmontar las tuberías. Contiene excepcional eficiencia, alta intercambiabilidad de partes y larga vida útil bajo severas condiciones de erosión y corrosión. (D.Vallares, R.Texeira, 2018)

6.1.3 Bomba Sihi Nowa

La bomba sihi nowa (Ilustración 6.Bomba Sihi Nowa 150/50), es una bomba centrífuga con carcasa en espiral, horizontales de una sola etapa, con dimensiones y características de funcionamiento según EN 733 / DIN 24255 en construcción proceso.

El sistema proceso permite desmontar las partes giratorias hacia el lado del motor, sin necesidad de desacoplar las conducciones de aspiración y de impulsión. Si además se utiliza un acople de extensión, tampoco es necesario mover el motor (Fluid & Group, 2000).



Ilustración 6.Bomba Sihi Nowa 150/50

Fuente: Autor

6.1.4 Bomba Durco

La bomba durco, contiene una carcasa “Heavy Duty” con pie integral y bridas de descarga con múltiples refuerzos que proporcionan una resistencia superior a las cargas de las tuberías y mejoran la fiabilidad. Además posee un rodete de álabes invertidos con fundido de precisión que ofrece unas prestaciones reajustables de la bomba durante toda su vida útil.

7. ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

7.1 BÚSQUEDA DE HISTORIALES Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Esta etapa fue la base para el desarrollo del proyecto, la cual nos arrojó toda la documentación que tiene la empresa sobre esta área. Para la ejecución de esta etapa se contó con el apoyo físico y logístico del personal de mina y bombeo, además se encontró un libro donde se encuentran los registros de las actividades de mantenimiento que hace cada operario después de cada turno y algunas de estas actividades se encuentran registradas en el software de gestión de mantenimiento MANTUM CMMS. Conociendo CMMS (computerized Maintenance management system).

Por otra parte, no se contaba con ningún sistema de información técnico de los equipos de bombeo, por lo cual por medio de proveedores y portales web, tales como HIDROMAC, FLOWSERVE, SIHI, WEG Y SIEMENS, se recopiló la información de fichas técnicas, catálogos de mantenimiento, algunas listas preoperacionales entre otros.

7.2 CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS

La codificación de equipos es uno de los aspectos importantes en una empresa, ya que con esto facilita la búsqueda e identificación de estos. Los diferentes equipos del grupo empresarial DAMASA, están debidamente codificados según al proyecto que pertenezcan, seguido de un número consecutivo que va aumentando según los equipos que lleguen al área de mantenimiento. En este ítem no se modificó la codificación existente ya que esta se encuentra registrada de esta forma en mantum cmms. La codificación se refleja en la

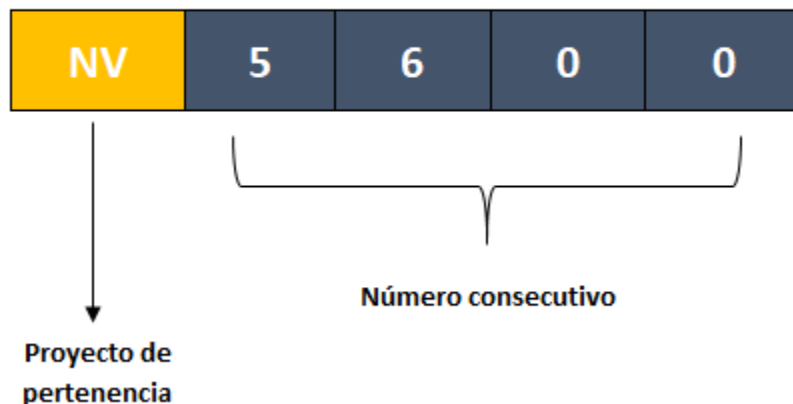


Ilustración 7.Codificación de equipos

Fuente: Autor

7.2.1 Codificación según el proyecto de pertenencia

Este código se aplica según al proyecto del grupo empresarial al que pertenezca, donde se toma dos letras que represente el nombre del proyecto de la siguiente manera:

PROYECTO	CÓDIGO
NAVAR	NV
ZANDOR CAPITAL	ZC
MASORA	MS
STANDARD GOLD	ST

Ilustración 8. Código según proyecto
Fuente: Autor

7.3 INVENTARIO

El inventario es uno de los procesos repetitivos que se deben realizar en toda organización, con el fin de saber con qué equipos se cuenta en determinado proceso. Este ítem contó con gran dificultad, ya que no se tenía un inventario desde hace varios meses, se usó como base los equipos registrados en el software mantum cmms y se empezaron a ubicar cada uno de ellos. Para los equipos que están en cada una de las estaciones de bombeo se contactó al bombero, el cual es el operario de turno en la estación y este suministró el código de la bomba que se ubicaba según el nivel. Las bombas restantes se encontraron en el taller industrial, algunas por que necesitaban reparación y otras porque estaban de respaldo. Ver (Anexo 2.)

8. ELABORACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN


En esta fase del proyecto se diseñan los formatos de información e instructivos necesarios, para llevar un control en las actividades de mantenimiento, que puedan garantizar la vida útil de los equipos. Para ejecución de esta fase se tomó como base catálogos e información suministrada por personas que están involucradas en cada uno de los procesos. Ver (Anexo 3.)

8.1 FICHA TÉCNICA

Este formato es el que contiene toda la información de importancia de la maquina o sistema. En este caso se diseñó un formato que a partir de catálogos y fabricantes se logra obtener los datos técnicos de cada uno de los equipos. Este formato recopila la información como lo es: características hidráulicas, generales, eléctricas, los componentes del sistema, además de repuestos con los que se recibe el equipo.

 GRUPO EMPRESARIAL DAMASA PASIÓN POR LA MINERÍA	FICHA TÉCNICA EQUIPOS DE BOMBEO			CÓDIGO	MITTO-FTB-01
	NAVAR S.A.S			VERSIÓN	V.1
				FECHA	10/07/2018

EQUIPO	BOMBA SIHI 150/500
--------	---------------------------

DESCRIPCIÓN EQUIPO						
UBICACIÓN	MINA EL SILENCIO	CÓDIGO	NV5600			
MARCA	SIHI	CRITICIDAD	ALTA	MEDIA	BAJA	
MODELO	NOWA 150/500	FABRICANTE	NA			
FUNCIÓN	BOMBEO DE FLUIDO DENTRO DEL SOCAVÓN					

CARACTERÍSTICAS GENERALES							
PESO	NA	Φ DESCARGA	6 in	Φ SUCCIÓN	8 in	Φ IMPULSOR	475 mm
MATERIAL IMPULSOR	HIERRO GRIS	LUBE	GRASA	H	136 M		
CAUDAL	400 M3/H			TEMPERATURA	HASTA 160 °C		
POTENCIA	240 HP			RPM	1750		
TIPO DE SUCCIÓN	POSITIVA			PERMITE SOLIDOS	SI	NO	

SISTEMA MECANICO		CONSUMIBLES Y COMBUSTIBLES			
ELEMENTOS	CANTIDAD	TIPO	CANTIDAD	CAUDAL	
CARCASA	1				
IMPULSOR	1				
SELLO MECANICO	1				
RODAMIENTOS	2				
EJE	1				

REPUESTOS BODEGA	CANTIDAD	HERRAMIENTAS ESPECIALES	CANTIDAD
BOMBA SIHI	6	NINGUNO	NA

OBSERVACIONES

DATOS DE RESPONSABLE					
NOMBRE	JHONATAN YEPES	CARGO	LIDER DE MINA Y BOMBEO	FECHA	10/07/2018

EQUIPO		BC	
DESCRIPCIÓN EQUIPO			
UBICACIÓN	TALLER NAVAR		
MARCA	SIHI		
MODELO	NOWA 150/500		
FUNCIÓN	BOMBEO DE LIQUIDOS DENTRO D		
CARACTERISTICAS GENERAL			
PESO	N/A	Φ DESCARGA	
MATERIAL IMPULSOR	HIERRO GRIS	LUBE	
CAUDAL	400 M3/H		
POTENCIA	240 HP		
TIPO DE SUCCIÓN	POSITIVA		
SISTEMA MECANICO			
ELEMENTOS			
CARCASA			
IMPULSOR			
SELLOS MECANICO			
RODAMIENTOS			
EJE			
REPUESTOS BODEGA			
BOMBA SIHI			
OBSERVACIONES			
DATOS DE RESPONSABLE			

NOMBRE	JHONATAN YEPES
--------	----------------

Ilustración 9.Ficha técnica
Fuente: Autor

8.2 FORMATO DE HOJA DE VIDA

Este formato se diseña con el fin de llevar un control en las intervenciones por mantenimiento, ya sea preventivo o correctivo que se han presentado en un equipo. Además, se incluye información tanto del personal que realizó dicha intervención y que insumos utilizó para el desarrollo de esta. Facilitando de esta forma el seguimiento de cada equipo de bombeo.

GRUPO EMPRESARIAL DAMASA PASIÓN POR LA MINERÍA		HOJA DE VIDA EQUIPOS DE BOMBEO						CÓDIGO	MTTO-HVB-01				
NAVAR S.A.S							VERSIÓN	V.1					
							FECHA	10/07/2018					
DESCRIPCIÓN EQUIPO													
EQUIPO	BOMBA HIDROMAC 150/500			UBICACIÓN	MINA EL SILENCIO			CÓDIGO	ZN017				
MARCA	ANSI			SERIE				CRITICIDAD					
MODELO	ETN			FABRICANTE	MALMEDI	ALTA	MEDIA	BAJA					
FECHA	UBICACIÓN	PRIORIDAD			O.T	TIEMPO DE PARADA	TIPO DE MANTENIMIENTO	DETALLE DE REPARACIÓN	TIEMPO DE TRABAJO	RESPONSABLE	OBSERVACIONES		
		A	M	B							INSUMOS	PERSONAL	TOTAL
1/08/2018	NIVEL 30(0)		x		31240	Correctiva Programada	SE CORTA Y SUELDA BRIDA-NIPLE DE 6" EN ACERO INOXIDABLE LONGITUD 47 CM A LA SALIDA	2:00:00	AICARDO CALLE		\$ 25.153,38	\$ 53.660,54	
									BREINER VASQUEZ		\$ 28.507,16		
1/08/2018	NIVEL 30(0)		x		31241	Correctiva Programada	SE SUELDA PORO A TUBERÍA DE 4" EN EL 29 1/2 APIQUE CERO	2:00:00	AICARDO CALLE		\$ 25.153,38	\$ 53.660,54	
									BREINER VASQUEZ		\$ 28.507,16		
9/08/2018	NIVEL 30(0)		x			correctiva	SE INSTALAN DOS TUERCAS DE 3/8 A PRENSA ESTOPAS	8:00:00	DUBAN SUAREZ			\$ -	
30/08/2018	NIVEL 30(0)		x		32646	correctiva	SE EMPACA BOMBA DURCO	1:00:00	JORGE JARAMILLO		\$ 14.253	\$ 14.253,00	
4/09/2018	NIVEL 30(0)		x		32791	correctiva	SE CAMBIA COPLA DE 6" DE LA LINEA DE BOMBEO DE LA BOMBA DURCO DE 100	4:59:00	AICARDO CALLE		\$ 84.604	\$ 180.494,00	
									BREINER VASQUEZ		\$ 95.890		
4/09/2018	NIVEL 30(0)		x		32858	correctiva	SE CORTA Y SE SUELDA BRIDA-NIPLE DE 4" LONGITUD 30cm	1:58:00	JHON TORO		\$ 35.398	\$ 68.789,00	
									BREINER VASQUEZ		\$ 33.391		
5/09/2018	NIVEL 30(0)		x		32859	correctiva	SE CORTA Y SE SUELDA BRIDA-NIPLE DE 4" LONGITUD 30cm	3:59:00	JHON TORO		\$ 71.696	\$ 139.327,00	
									BREINER VASQUEZ		\$ 67.631		
6/09/2018	NIVEL 30(0)		x		32973	correctiva	SE CORTA Y SE SUELDA VITOL DE 4"	1:58:00	AICARDO CALLE		\$ 33.391	\$ 33.391,00	
7/09/2018	NIVEL 30(0)		x		33025	correctiva	SE SUELDAN POROS A SALIDA DE BOMBA	5:00:00	YOLMAN ARANGO		\$ 62.883	\$ 62.883,00	

Ilustración 10. Hoja de vida

Fuente: Autor

8.3 FORMATO DE ORDEN DE TRABAJO

La Orden de Trabajo es el documento en el que el mando de mantenimiento informa al operario o al técnico de mantenimiento sobre la tarea que tiene que realizar (García, 2003). Estas órdenes son una de las fuentes de información más importantes de mantenimiento, se utiliza cuando llega una solicitud de servicio. El auxiliar de mantenimiento es el encargado de despachar la orden y la registra en mantum. Posteriormente la orden la recibe el coordinador de área que este le da la asignación al técnico adecuado para la reparación.


		ORDEN DE TRABAJO				CÓDIGO	/ITTO-OTB-0		
						VERSIÓN	V.1		
NAVAR S.A.S					FECHA	/08/2018			
NÚMERO DE ORDEN									
DESCRIPCIÓN EQUIPO									
EQUIPO					CÓDIGO				
UBICACIÓN									
TIPO DE MANTENIMIENTO					ACTIVIDAD				
PRIORIDAD	ALTA		MEDIA		BAJA				
TIEMPOS									
FECHA INICIO PROGRAMADA	DD	MM	AAAA	FECHA INICIO REAL	DD	MM	AAAA		
FECHA FIN PROGRAMADA	DD	MM	AAAA	FECHA FIN REAL	DD	MM	AAAA		
PERSONAL									
ACCIÓN	CÓDIGO	NOMBRE		CARGO	TRABAJO REAL (h)				
SOLICITADO POR									
AUTORIZADO POR									
REALIZADO POR									
DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS									
REALIMENTACIÓN TÉCNICA									
MANO DE OBRA				MATERIALES					
NOMBRE	HORAS	COSTO		NOMBRE	CANTIDAD	UND	COSTO		
APROBADO POR									
REALIZADO POR									
FECHA DE TERMINACIÓN									
REVISADO POR									

Ilustración 11.Formato de orden de trabajo
Fuente: Autor

8.4 FORMATO DE SOLICITUD DE SERVICIO

Este formato se diseña con el objetivo, que el operario tenga a su disposición un soporte para solicitar el servicio que crean necesario al momento de que se presente una falla. En el formato define el equipo al cual se le pretende hacer la intervención, con la descripción de la falla que está presentando, junto a la severidad que esta influye.


	SOLICITUD DE SERVICIO					CÓDIGO	MTTO-SSB-01
	NAVAR S.A.S					VERSIÓN	V.1
						FECHA	
NÚMERO DE SOLICITUD					CÓDIGO DE SOLICITUD		
EQUIPO			TIPO	P	A	B	CÓDIGO
P: Principal		A: Auxiliar		B: Back Up			
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SOLICITUD							
FECHA CREACIÓN	DD	MM	AAAA	0:00		am/pm	
FECHA ESPERADA	DD	MM	AAAA	0:00		am/pm	
AREA				PRIORIDAD	ALTA	MEDIA	BAJA
TIPO DE S.S							
DATOS PERSONALES DEL SOLICITANTE							
IDENTIFICACIÓN	NOMBRE		TELÉFONO		EMAIL		
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA							
DESCRIPCIÓN (Motivo por el cual solicita el servicio)							
ESTADO	EN OPERACIÓN		PARADO POR FALLO		PARADO POR MANTENIMIENTO		
FECHA DE PARO	DD	MM	AAAA	0:00		am/pm	
ÁREAS AFECTADAS	MANTENIMIENTO	PRODUCCIÓN	SEGURIDAD	MEDIO AMBIENTE	CALIDAD		
FIRMA SOLICITANTE							

Ilustración 12.Formato de solicitud de servicio

Fuente: Autor

8.5 FORMATO DE MANTENIMIENTO

En este formato se presentan los tipos de intervenciones que se le hacen al equipo por mantenimiento. Donde se indica el equipo, código, ubicación y periodicidad de intervención.


		FICHA MANTENIMIENTO DE EQUIPOS		FECHA ELABORACIÓN 29/10/2018	
DATOS GENERALES					
UBICACIÓN		MINA EL SILENCIO-NIVEL 28			
EQUIPO		BOMBA SIHI NOWA			
TIPO DE EQUIPO		<input type="checkbox"/> TRITURACIÓN PLAZA <input type="checkbox"/> VENTILACIÓN <input type="checkbox"/> PERFORACIÓN <input type="checkbox"/> AIRE COMPRIMIDO <input checked="" type="checkbox"/> BOMBEO <input type="checkbox"/> HERRAMIENTA <input type="checkbox"/> ELECTRICO <input type="checkbox"/> ELEVADORA <input type="checkbox"/> MOTOR <input type="checkbox"/> TRANSPORTE MINERAL			
Nro. DE SERIE	NA	MARCA	SIHI		
TIPO	150-50	MODELO	NOWA		
DATOS TÉCNICOS					
CAPACIDAD	NA		POTENCIA	240	<i>hp</i>
DIMENSIONES	Φ Descarga	6	<i>in</i>	VELOCIDAD	1750
	Φ Succión	8	<i>in</i>		<i>rpm</i>
	Φ Impulsor	20	<i>in</i>		
DATOS MANTENIMIENTO					
PREDICTIVO	DESCRIPCIÓN Mantenimiento Semanal				PERIODICIDAD DÍAS
					7
PREVENTIVO	DESCRIPCIÓN Mantenimiento Quincenal				PERIODICIDAD DÍAS
					15
AUTÓNOMO	DESCRIPCIÓN Mantenimiento Autónomo Diario				PERIODICIDAD DÍAS
					1
BASADO EN CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN Cambio de aceite				CONDICIÓN
	Cambio de empaque				200 Horas
	Limpieza de impulsores				200 Horas
	Inspección de sistema eléctrico				250 Horas 400 Horas

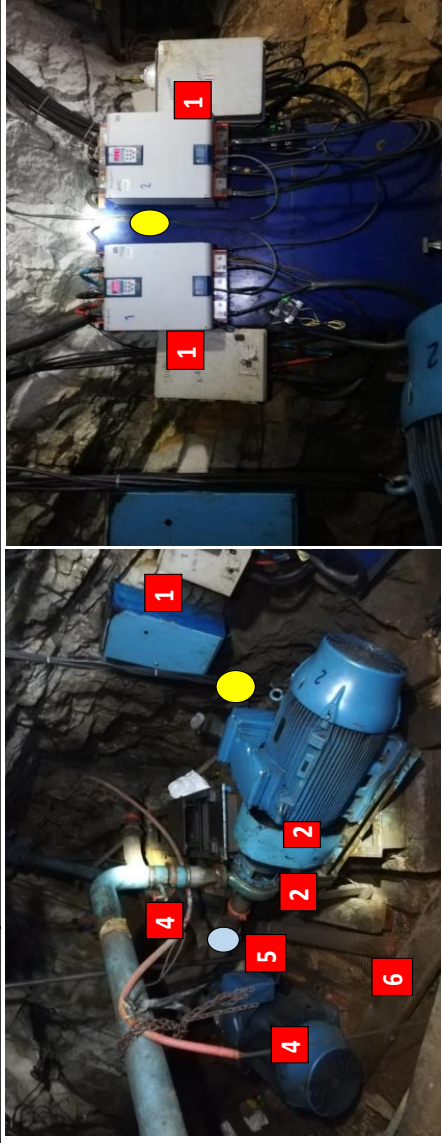

Ilustración 13. Formato de mantenimiento.

Fuente: Autor

8.6 FORMATO DE SEGURIDAD

Este formato se realizó con el objetivo, de que cada uno de los operarios conozca los implementos de seguridad que deben de portar al momento de intervenir el equipo, además de los riesgos a los cuales están expuestos.

Ilustración 14. Mapa de seguridad

MAPA DE SEGURIDAD			CÓDIGO	VERSIÓN	FECHA	
GRUPO EMPRESARIAL DAMASA <small>PASTÓN, PÓZ, LA WINERIA</small> UBICACIÓN MINA EL SILENCIO - NIVEL 23 ÁREA O PROCESO SISTEMA DE BOMBEO			MITO-MS-02	V.1	17/10/2018	
						EPP 
FUENTES DE ALIMENTACIÓN						
ALIMENTACIÓN HIDRÁULICA			ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA			
ALIMENTACIÓN NEUMÁTICA			ALIMENTACIÓN MATERIA PRIMA			
FACTOR DE RIESGO 1. Electrocuación en gabinetes de alto voltaje 2. Contacto con superficies calientes 4. Contacto con agua de escape 5. Efectos negativos temporales y/o permanentes de la audición 6. Deslizamiento			SISTEMA DE SEGURIDAD DE LA MÁQUINA Compuertas con seguro y señalización Compuertas con seguro y señalización valvulas de alivio Utilización de protección auditiva para el operario			
F	Q	M	B	E	ER	L
				X		
X						
	X					
X						
X					X	
F (FÍSICO) - Q (QUÍMICO) - M (MECÁNICO) - B (BIOLÓGICO) - E (ELÉCTRICO) - ER (ERGONOMICO) - L (LOCATIVO)						

Fuente: Autor

9. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

La técnica de análisis de criticidad es una herramienta que permite identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan (Parra & Crespo, 2012). Para este proyecto, se hizo análisis de criticidad a los equipos de bombeo que se encuentran dentro del socavón. Basándonos en las intervenciones de mantenimiento registradas en mantum y en la experiencia de campo del coordinador de área de mina y bombeo.

El método utilizado para el análisis de criticidad en este proyecto es el modelo semicuantitativo llamado, factores ponderados bajo el concepto de riesgo. Para evaluar este método se debe tener en cuenta los ítems de la tabla y su ponderación respectiva según la situación.

Los sectores a analizar son los siguientes:

Frecuencias de fallas: tiene una escala de 1 al 4 la cual es asignada dependiendo las reiteraciones con las que ocurre una intervención al equipo.

Impacto operacional: en este caso se le asignan valores del 1 al 10 según el impacto que genera la falla.

Flexibilidad operacional: Este tiene la posibilidad de recibir un valor sea 1 o 2, esto depende si en el nivel de bombeo existe una bomba de respaldo o no.

Costos de mantenimiento: aquí se dan valores de 1 si el valor es inferior a \$1000000, 2 si esta entre \$1000000 o \$2000000 y por ultimo 4 si el valor es superior a \$2000000

Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene: este ítem recibe valores del 1 al 10 dependiendo de la severidad.

Horas tanque de almacenamiento: se selecciona un valor del 1 al 4, dependiendo si el nivel de bombeo tiene respaldo de tanque de almacenamiento y las horas en la que soporta su capacidad.

La expresión para jerarquizar el proceso es la mostrada a continuación

$$\textit{Críticidad total} = \textit{Frecuencias de fallas} * \textit{Consecuencias}$$

Ecuación 1. Críticidad total

Donde, la frecuencia de fallas es el rango de fallas en un determinado tiempo (mes/año)

Y las consecuencias se obtienen según la siguiente expresión

$$\textit{Consecuencias} = (IO * FO) + CM + SHA + HA$$

Ecuación 2. Consecuencias

Siendo cada una de ellas,

IO: Impacto operacional

FO: flexibilidad operacional

CM: Costos de mantenimiento

SHA: Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene

HA: Horas tanque de almacenamiento

Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados por Ecuación 1. Críticidad total se presentan a continuación:

Tabla 5. Factores ponderados

Método de factores ponderados bajo el concepto de riesgo	
ítem	valores
Frecuencia fallas	
ALTA mayor a 2 fallas por año	4
MODERADA 1- 2 fallas por año	3
OCASIONAL 0.5 – 1 falla por año	2
BAJA menos de 0.5 fallas por semestre año	1
Impacto operacional	
MUY ALTA Pérdida producción mayores al 75%	10
ALTO Pérdida producción entre el 50% y el 74%	8
MODERADO Pérdida producción entre el 25% y el 49%	6
BAJO Pérdida producción entre el 10% y el 24%	4
MUY BAJO Pérdida producción menores al 10%	1
Flexibilidad operacional	
ALTO No existe opción de repuesto en la estación	2

MODERADO Hay bomba de respaldo	1
Costos de Mantenimiento	
Mayor a \$2000000	4
entre 1000000 a 2000000	2
Inferior a \$100000	1
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere notificación a entes externos de la organización	8
Afecta el ambiente / instalaciones	7
Afecta las instalaciones causando daños severos	5
Provoca daños menores (ambiente – seguridad)	3
No provoca ningún tipo de daños a personas instalaciones o ambientes	1
Horas tanque de almacenamiento	
No tiene tanque de almacenamiento	4
Menor o igual a 2 h	2
Mayor a 2 h	1

Fuente: Autor

9.1 ANÁLISIS NIVEL 7 (0)

El nivel 7 de la mina el silencio se encuentra a 636.3 MSNM¹ y en este se encuentran dos bombas operativas. Este nivel bombea un caudal de 1250 GPM². Los valores de la bomba 1 (Ver **Error! Reference source not found.** y la bomba 2 son dados de acuerdo al conocimiento de los operarios y reportes de fallas registradas en mantum. Los cuales al momento de ser evaluados se obtuvieron resultados iguales para las dos bombas de este nivel.

Tabla 6.Factores Bomba 1 Nivel 7

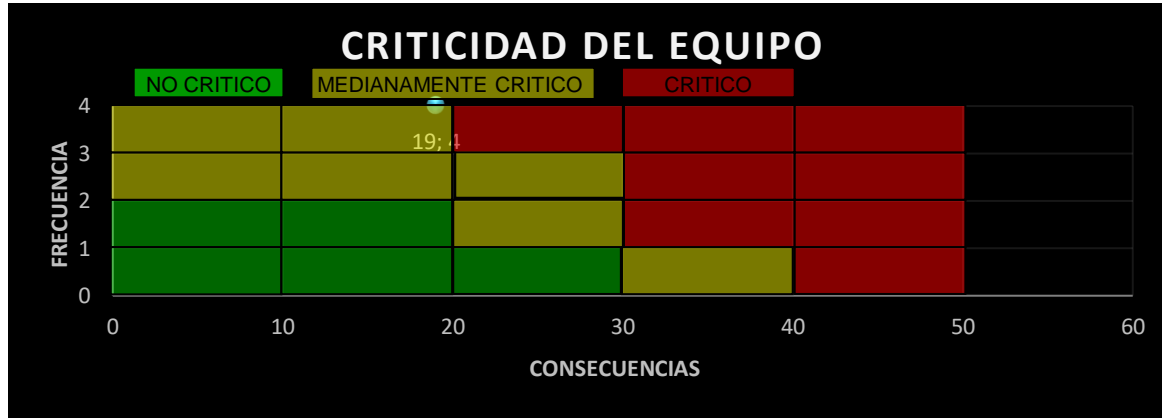
Frecuencia fallas	4
Impacto operacional	6
Flexibilidad operacional	1
Costos de Mantenimiento	4
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	7
Horas tanque de almacenamiento	2

¹ MSNM: Metros sobre el nivel del mar

²GPM: Galones por minuto

Fuente: Autor

Tabla 7.Criticidad bomba 1 nivel 7



Fuente: Autor

9.2 ANÁLISIS NIVEL 16 (0)

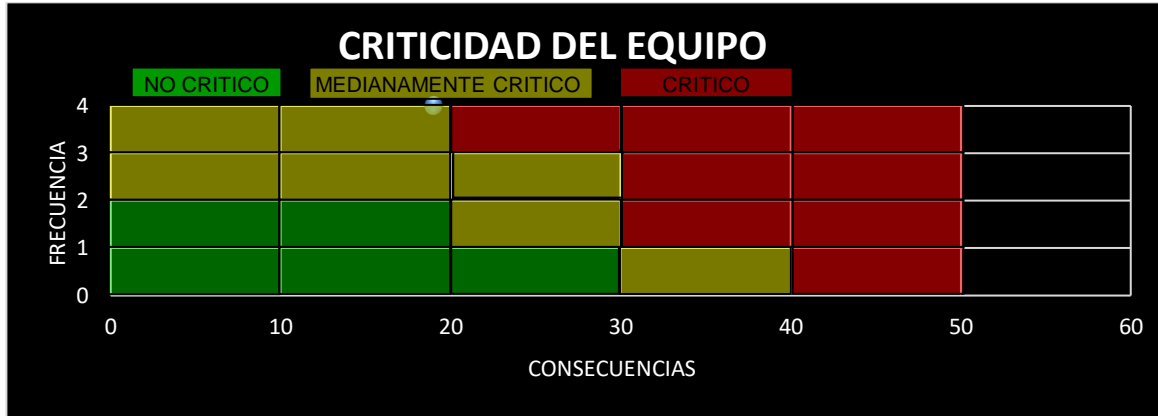
Este nivel se sitúa a 505.3 MSNM, el cual está comprendido por dos bombas operativas de marca hidromac modelo ANSI 2196. Los factores ponderados se tomaron respecto a las opiniones del líder de área de mina y bombeo, además de algunos registros de mantum (Ver **Error! Reference source not found.**).

Tabla 8.Factores bomba nivel 16

Frecuencia fallas	4
Impacto operacional	6
Flexibilidad operacional	1
Costos de Mantenimiento	4
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	7
horas tanque de almacenamiento	2

Fuente: Autor

Tabla 9. Criticidad bombas nivel 16



Fuente: Autor

9.3 ANÁLISIS NIVEL 19 (0)

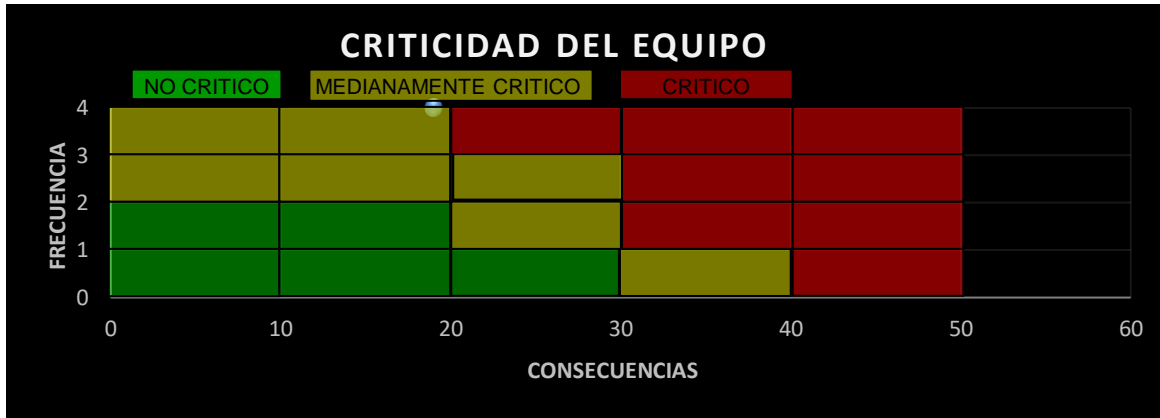
En el nivel 19 se encuentran dos bombas, una sihi nowa y una hidromac ANSI 2196. Este nivel se encuentra a 446.5 MSNM, cuenta con tuberías de 6 in de diámetro. Según los datos obtenidos este nivel es medianamente crítico.

Tabla 10. Factores bombas nivel 19

Frecuencia fallas	4
Impacto operacional	6
Flexibilidad operacional	1
Costos de Mantenimiento	4
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	7
horas tanque de almacenamiento	2

Fuente: Autor

Tabla 11. Criticidad bombas nivel 19



Fuente: Autor

9.4 ANÁLISIS NIVEL 23 (0)

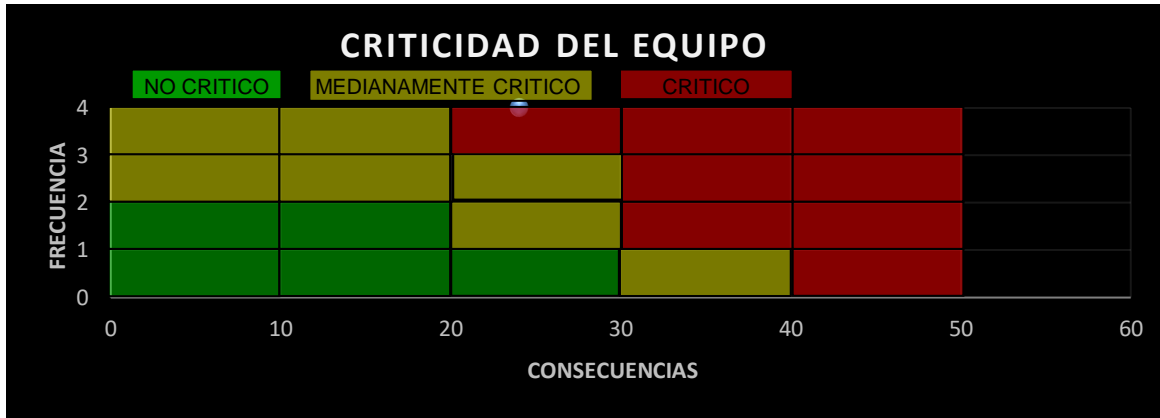
Este nivel se encuentra a 361.1 MSNM, tiene una bomba sihi nowa 150-500 y contiene un tanque de almacenamiento, al cual llega el agua de las bombas del apique 450 y del fondo del cero "0", para ser bombeada al nivel 19. Por esto esta bomba es de suma importancia en la línea de bombeo y mediante el análisis de criticidad nos arrojó que esta bomba es crítica.

Tabla 12. Factores bomba nivel 23

Frecuencia fallas	4
Impacto operacional	6
Flexibilidad operacional	2
Costos de Mantenimiento	4
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	7
horas tanque de almacenamiento	1

Fuente: Autor

Tabla 13.Criticidad bomba nivel 23



Fuente: Autor

9.5 ANÁLISIS NIVEL 30 (0)

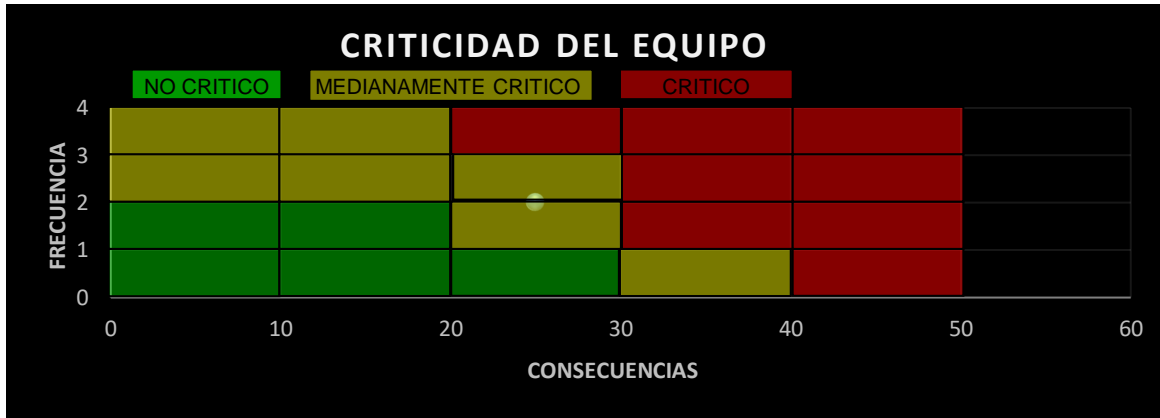
Este nivel se encuentra a 206.4 MSNM, este es el último nivel que se encuentra en el apique cero. Cuenta con una bomba durco la cual suministra 500 GPM en una tubería de diámetro de 4 in. Esta

Tabla 14..Factores bomba nivel 30

Frecuencia fallas	2
Impacto operacional	6
Flexibilidad operacional	2
Costos de Mantenimiento	2
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	7
horas tanque de almacenamiento	4

Fuente: Autor

Tabla 15.Criticidad bomba nivel 30



Fuente: Autor

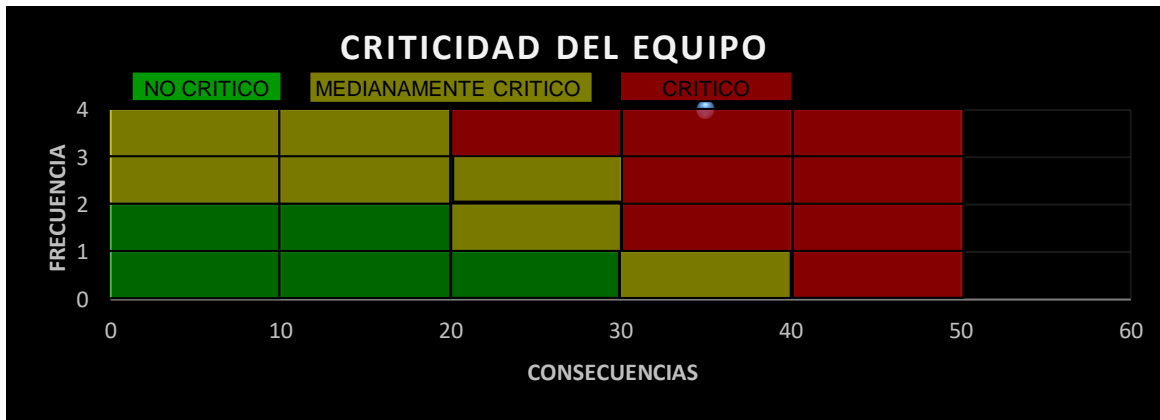
9.6 ANÁLISIS NIVEL 28 (450)

En este nivel se encuentra una bomba sihi nowa, ubicada a 265.5 MSNM. No cuenta con bomba de respaldo, ni con tanque de almacenamiento debido a esto su criticidad es alta.

Tabla 16.Factores nivel 28

Frecuencia fallas	4
Impacto operacional	10
Flexibilidad operacional	2
Costos de Mantenimiento	4
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	7
horas tanque de almacenamiento	4

Tabla 17.Criticidad bomba nivel 28



Fuente: Autor

9.7 ANÁLISIS NIVEL 31 (450)

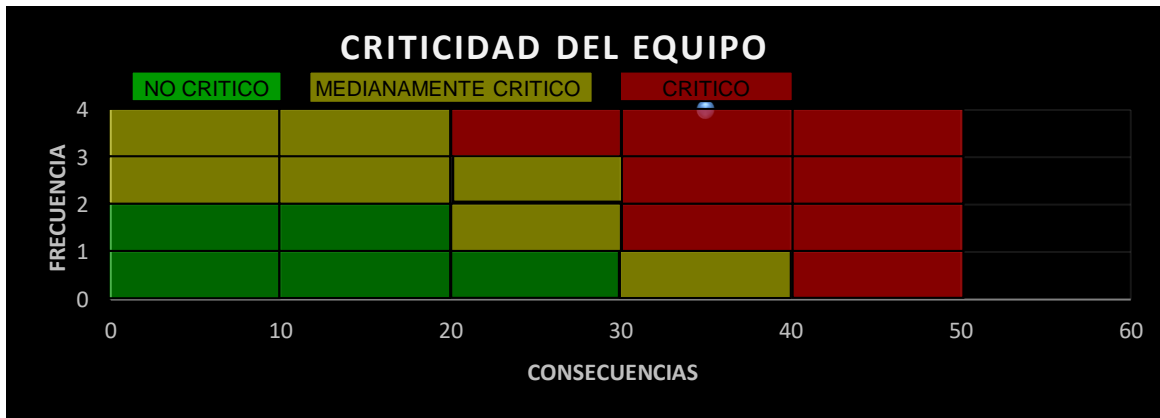
Este nivel eta ubicado a 178 MSNM. Cuanta con una bomba sihi nowa, la cual conduce 1500 GPM en tubería de diámetro de 8 in.

Tabla 18.Factores bomba nivel 31

Frecuencia fallas	4
Impacto operacional	10
Flexibilidad operacional	2
Costos de Mantenimiento	4
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	7
horas tanque de almacenamiento	4

Fuente: Autor

Tabla 19.Criticidad bomba nivel 31



Fuente: Autor

9.8 ANÁLISIS NIVEL 34 (450)

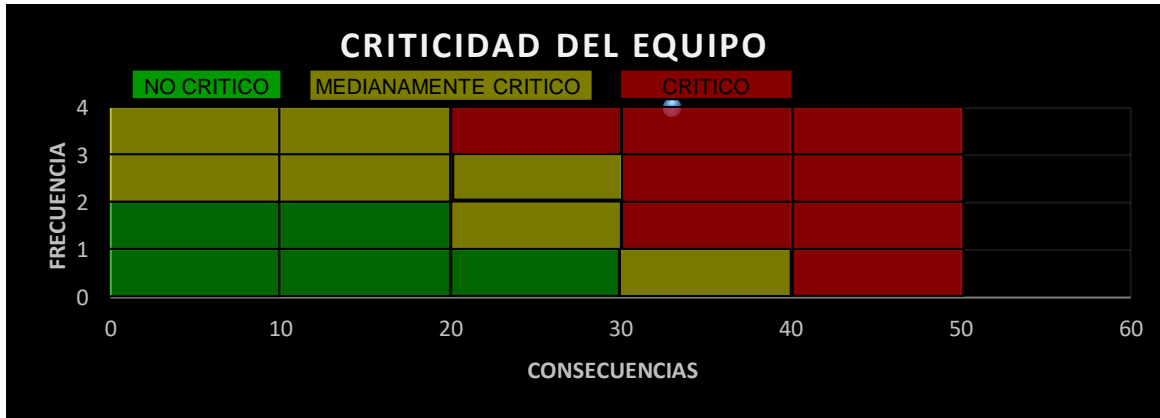
Este nivel se encuentra a 91.4 MSNM. Donde se encuentra ubicada una bomba hidromac 150-500.la cual cuenta con un tanque de almacenamiento.

Tabla 20.Factores bomba nivel 34

Frecuencia fallas	4
Impacto operacional	10
Flexibilidad operacional	2
Costos de Mantenimiento	4
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	7
horas tanque de almacenamiento	2

Fuente: Autor

Tabla 21. Criticidad bomba nivel 34



Fuente: Autor

9.9 ANÁLISIS NIVEL 39 (450)

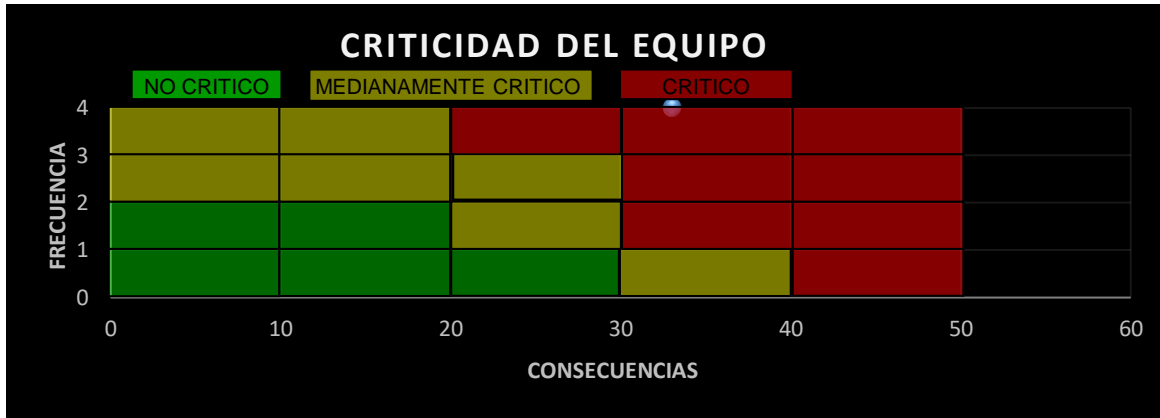
La bomba sihi nowa, se encuentra ubicada en este nivel a 10.05 MSNM. Según el análisis de criticidad nos arrojó que esta bomba es crítica.

Tabla 22. Factores bomba nivel 39

Frecuencia fallas	4
Impacto operacional	10
Flexibilidad operacional	2
Costos de Mantenimiento	4
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	7
horas tanque de almacenamiento	2

Fuente: Autor

Tabla 23.Criticidad bomba nivel 39



Fuente: Autor

9.10 ANÁLISIS NIVEL 40 (485)

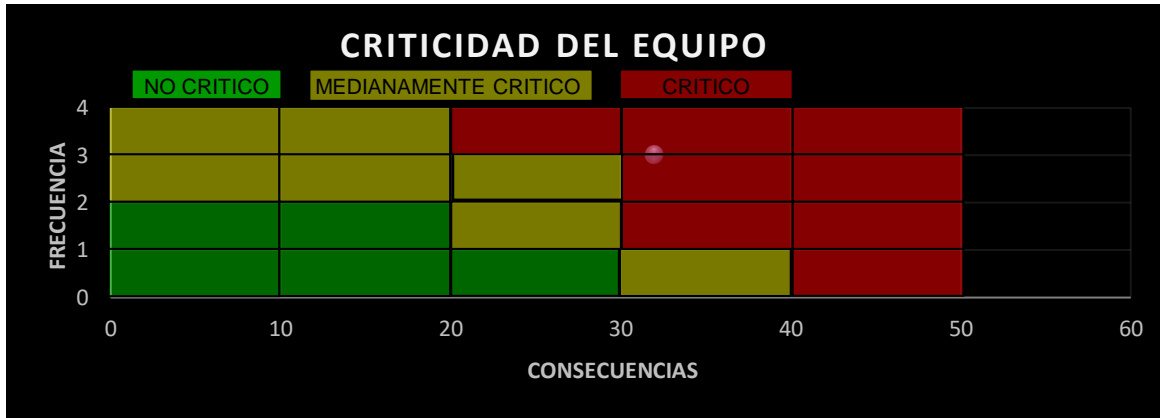
Este nivel está ubicado a -16.7 MSNM. Cuenta con una bomba hidromac monobloc, esta bomba según el respectivo análisis nos indicó que su estado es crítico.

Tabla 24.Factores bomba nivel 40

Frecuencia fallas	3
Impacto operacional	10
Flexibilidad operacional	2
Costos de Mantenimiento	1
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	7
horas tanque de almacenamiento	4

Fuente: Autor

Tabla 25.Criticidad bomba nivel 40



Fuente: Autor

9.11 ANÁLISIS NIVEL 43 (120)

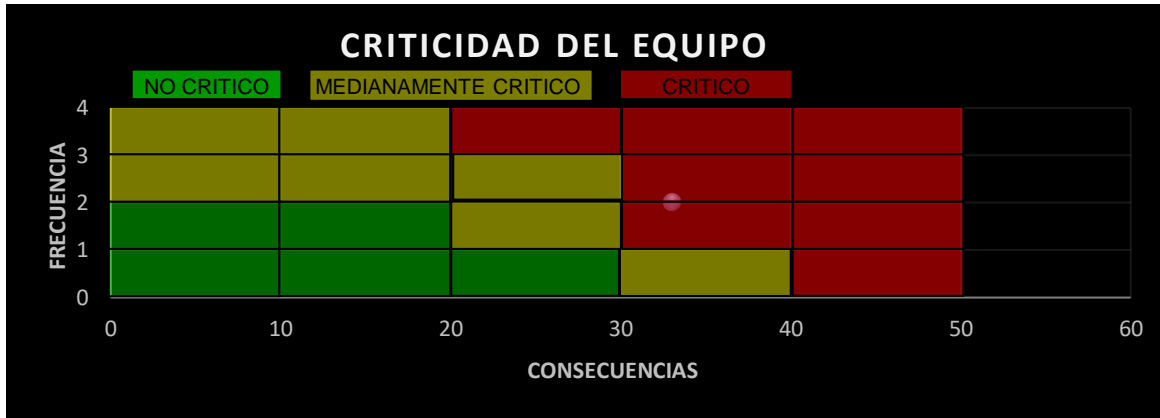
En este nivel se encuentra una bomba durco, la cual está a -89.1 MSNM y es altamente crítica.

Tabla 26.Factores bomba nivel 43

Frecuencia fallas	2
Impacto operacional	10
Flexibilidad operacional	2
Costos de Mantenimiento	2
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	7
horas tanque de almacenamiento	4

Fuente: Autor

Tabla 27.Criticidad bomba nivel 43



Fuente: Autor

10. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE FALLAS EN LOS EQUIPOS

Este análisis está basado en un conjunto de directrices, que ayudan a identificar los problemas potenciales y las posibles causas de ellos. Mediante las experiencias y competencias disponibles de los estudios, métodos, mantenimiento, fabricación, calidad en los equipos, componentes o sistemas de una empresa. Con el fin de priorizarlos para así tomar medidas preventivas.

Para este método se utiliza una hoja estructurada que guía el análisis, en la cual se tiene en cuenta los siguientes componentes para su desarrollo.

10.1 FUNCIONES

Se describen las especificaciones (características) y expectativas de desempeño que se le exigen al activo físico que se está analizando.

10.2 FALLO FUNCIONAL

Se refiere a la falta o incumplimiento de la función. El fallo funcional se define como la incapacidad de un ítem para satisfacer un parámetro de desempeño deseado en cada uno de los componentes a evaluar.

10.3 MODO DE FALLO

Esta describe la forma en que el dispositivo o el sistema pueden dejar de funcionar ó funcionar anormalmente. El tipo de fallo es relativo a cada función de cada elemento. Se expresa en términos físicos como rotura, aflojamiento, atascamiento, fuga, agarrotamiento, cortocircuito, etc.

10.4 CAUSA RAÍZ

Este ítem se refiere a las anomalías iniciales que puede conducir al fallo. Un mismo tipo de fallo puede conducir a varias causas como falta de lubricante, lubricante en mal estado, suciedad, etc.

10.5 CONSECUENCIA

La consecuencia es efecto del fallo sobre la máquina, la producción, el producto, sobre el entorno inmediato.

10.6 NPR (NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGOS)

Luego para realizar la valoración de cada uno de los ítems anteriormente mencionados se proporciona una estimación numérica de los respectivos parámetros, como lo son:

F: frecuencia. Estimación subjetiva de la ocurrencia del modo de fallo

G: gravedad. Estimación subjetiva de las consecuencias

D: detección. Estimación subjetiva de la probabilidad de ser detectado el fallo potencial

Estos serán la base para calcular el NPR, este es el producto de multiplicar la severidad, la ocurrencia, y la detección. La estimación para cada uno de estos parámetros se tiene en cuenta a continuación según el grado representativo de cada uno. El RPN es un número entre 1 y 1000 que nos indica la prioridad que se le debe dar a cada falla para eliminarla.

Tabla 28. Escala de valoración

FRECUENCIA (1-10)	
<i>Imposible</i>	1-2
<i>Remoto</i>	3-4
<i>Ocasional</i>	5-6
<i>Frecuente</i>	7-8
<i>Muy frecuente</i>	9-10
GRAVEDAD (1-10)	
<i>Insignificante</i>	1-2
<i>Moderado</i>	3-4
<i>Importante</i>	5-6
<i>Critico</i>	7-8
<i>Catastrófico</i>	9-10
DETECCIÓN (1-10)	
<i>Probabilidad de detección muy elevada</i>	1-2
<i>Probabilidad de detección elevada</i>	3-4
<i>Probabilidad de detección moderada</i>	5-6
<i>Probabilidad de detección escasa</i>	7-8
<i>Probabilidad de detección muy escasa</i>	9-10


Fuente: Autor

Se evaluó cada uno de los componentes para los equipos que conforman el sistema de bombeo, para el cual podemos observar que los problemas más críticos y los que requieren

atención inmediata son el daño de rodamientos, bujes, sellos mecánicos, impulsor, caracoles, vitoles, obstrucciones y vibraciones. Ver (Anexo 5.)

11. PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA DE BOMBEO

Primero se crea una plantilla en Excel para llevar el control diario del horómetro de las bombas, el cual nos indicara en color rojo cuando sea necesario el mantenimiento preventivo a las 200 horas de operación. Esta será una primera plantilla, ya que se está trabajando para crearla en el software MANTUMCMMS.

		NAVAR S.A.S DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO AREA DE MINA Y BOMBEO																				
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21
NIVEL 7 (0)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 7 (0)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 16 (0)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 16 (0)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 19 (0)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 19 (0)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 23 (0)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 30 (0)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 28 (450)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 31 (450)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 34 (450)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 39 (450)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 40 (485)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 40 (485)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 43 (120)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 43 (120)	Agregar nuevo equipo																					
NIVEL 45(400)	Agregar nuevo equipo																					

PM1	PREDICTIVO
PM2	PREVENTIVO

11.1 PM1

Este plan de mantenimiento se ejecuta cada semana, en promedio a la 90 horas de operación, en donde se realizaran mediciones de variables de este sistema.

Tabla 29.PM1, Semanal

NOMBRE		Mantenimiento Semanal	
DESCRIPCIÓN			
Realizar Medición de:			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura en motor. 2. Voltaje 3. Corriente 4. Potencia eléctrica 5. Presión. 6. Caudal. 7. Medición del nivel estático y dinámico del pozo. 8. Registro de horómetro. 			
PERSONAL			
Cargo		Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico		1	NA
Electricista		1	CONTE
HERRAMIENTAS			
Nombre			Cantidad
Electricista - Pinza voltiamperimetrica			1 Und
Mecánico - Termómetro Infrarrojo			1 Und
INSUMOS			
Nombre			Cantidad
Ninguno			NA
PERIODICIDAD			
Frecuencia [Días]			Día
Cada Semana [7 días]			Lunes
FORMATOS			
Código	Nombre		
RT-NXX	Mantenimiento Predictivo Semanal Bombas		
MANTUM			
TIPO	Nombre		
RT-NXX	Mantenimiento Predictivo Semanal Bombas		

Fuente: Autor

11.2 PM2

Este plan de mantenimiento se realiza cada 15 días, en promedio a las 200 horas de operación, es una revisión preventiva, donde incluye: limpiezas, lubricación, Inspecciones, reemplazos etc.

Tabla 30.PM2 Quincenal

NOMBRE		
Mantenimiento semanal		
DESCRIPCIÓN		
Mecánico: <ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar el polvo y la suciedad de las superficies de la máquina. 2. Limpiar impulsor. 3. Verificar ausencia de fugas en el cuerpo de la bomba. 4. Verificar el nivel del lubricante y de ser necesario cambiarlo. 5. Revisar el sello mecánico/prensaestopa. 6. Revisar alineación entre bomba-motor. 7. Inspeccionar válvulas. 8. Revisar compuertas internas de las válvulas. 9. Examinar tubería de succión y descarga. 10. Reengrasar soportes del motor. 11. Lubricar los rodamientos del motor. 12. Limpiar con aire comprimido la parte interna del motor. 13. Limpiar la carcasa del motor. 14. Inspeccionar el cimiento y los pernos de sujeción para verificar que estén apretados. 		
PERSONAL		
Cargo	Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico	1	NA
HERRAMIENTAS		
Nombre	Cantidad	
Mecánico – Llave mixta (3/4", 1 1/8", 15/16", 3/4", 1/2", 11/16")	1 Und	
Mecánico – Llave expansiva(10")	1 Und	
Mecánico – Llave americana	1 Und	
Mecánico – Juego de llave hexagonal milimétricas	1 Und	
Mecánico – Martillo de bola	1 Und	
Mecánico – Nivel	1 Und	
Mecánico – Gancho de prensaestopa	1 Und	
Mecánico – Cuchillo	1 Und	
INSUMOS		

Nombre		Cantidad
Recipiente		1 Und
ACPM		1 Und
Estopa		1 Und
Lamina de caucho ¼		1 Und
Laminillas		5 Und
Grasa Ep 2		
PERIODICIDAD		
Frecuencia [Días]		Día
Cada 250 horas [15 días]		Domingo
FORMATOS		
Código	Nombre	
RT-N	Mantenimiento semanal	
MANTUM		
TIPO	Nombre	
RT-N	Mantenimiento semanal	

Fuente: Autor

11.3 PM3

Este plan de mantenimiento se realiza diario, como un método de verificación del funcionamiento del sistema de bombeo.

Tabla 31.PM3, Diario

NOMBRE		
Mantenimiento Autónomo Diario		
DESCRIPCIÓN		
Realizar una inspección con 5 sentidos de todos los equipos y componentes. <ol style="list-style-type: none"> 1. Estado de carteles, señalización de seguridad y etiquetas. 2. Estado de la placa de características. 3. Estado de pintura exterior. 4. Estado del nivel y la condición del aceite a través del tubo indicador 5. Prestar atención a los ruidos o vibraciones inusuales. 6. Estado las tuberías para verificar que no haya fugas. 7. Estado la cámara del sello /prensaestopas para verificar que no haya fugas. 8. Estado de la tornillería. 9. Estado de las bases bomba-motor. 10. Estado del alineamiento. 11. Estado del motor. 12. Estado de la válvula de entrada. 13. Estado del cheque de entrada. 14. Estado de los acople. 15. Estado de flujo de la bomba. 16. Estado de temperatura de los cojinetes. 17. Estado del variador. 18. Estado del tablero de control. 		
PERSONAL		
Cargo	Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico	1	NA
HERRAMIENTAS		
Nombre		Cantidad
Ninguno		NA
INSUMOS		
Nombre		Cantidad
Ninguno		NA
PERIODICIDAD		
Frecuencia [Días]		Día
Todos los días turno mañana [1]		NA
FORMATOS		
Código	Nombre	
RT-N	Mantenimiento autónomo diario	

MANTUM	
TIPO	Nombre
RT-N	Mantenimiento autónomo diario

Fuente: Autor

11.4 PM4

Este plan de mantenimiento es basado en condición según las horas de operación en ciertos elementos del bombeo.

Tabla 32.PM4, Basado en condición 1

NOMBRE		Cambio de aceite	
DESCRIPCIÓN			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desenergizar motor. 2. Retirar tapón del drenaje. 3. Drenar aceite. 4. Limpiar cilindro con ACPM. 5. Colocar tapón de drenaje. 6. Retire el tapón de llenado y agregue aceite hasta que el nivel esté en el centro del tubo indicador. 7. Reinstale el tapón de llenado. 			
PERSONAL			
Cargo		Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico		2	NA
HERRAMIENTAS			
Nombre			Cantidad
Mecánico – Llave de expansión (10")			1
INSUMOS			
Nombre			Cantidad
Aceite Iso 68			1.5 L
ACPM			1 Und
Recipiente			1 Und
Estopa			1 Und
PERIODICIDAD			
Frecuencia [Días]			Día
Cada 200 Horas [12 días]			NA
FORMATOS			
Código	Nombre		

Orden de trabajo	Cambio de aceite
MANTUM	
TIPO	Nombre
Orden de trabajo	Cambio de aceite

Fuente: Autor

Tabla 33.PM4, Basado en condición 2.

NOMBRE	Inspección eléctrica	
DESCRIPCIÓN		
<p>Eléctrico:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar el polvo, la suciedad y mitigar humedad de los gabinetes eléctricos variadores y/o arrancadores suaves y estación de mando start/stop. 2. Verificar las terminales del cableado eléctrico de entrada y salida en el variador y/o arrancador suave. 3. Verificar el torque y la sujeción que tienen las borneras del variador y/o arrancadores suaves con cada terminal de línea eléctrica. 4. Corroborar capacidad de conducción en la que se encuentra la estación de mando al igual que su apariencia física (start/stop). 5. Inspección de la pantalla de mando que trae cada variador y/o arrancador suave. 6. Compara los valores de corriente entregado por el variador y/o arrancador entregados por el mismo y las pinzas voltiamperimetrica. 7. Verificar la entrada del cable eléctrico al motor, ajuste en prensa estopa. 8. Revisión general al cableado eléctrico en zona de bombeo, línea eléctrica 440v e aislar cableado. 		
PERSONAL		
Cargo	Cantidad	Condiciones Especial
Electricista	1	CONTE
HERRAMIENTAS		
Nombre		Cantidad
Mecánico – Llave mixta (3/4", 1/4", 9/16", 3/4", 1/2", 7/16")		1 Und
Mecánico – Llave expansiva(10")		1 Und
Mecánico – Juego de llave hexagonal milimétricas		1 Und
Mecánico – Destornillador punta estrella		1 Und
Mecánico – Destornillador punta de pala		1 Und

Mecánico – Cuchillo o navaja		1 Und
INSUMOS		
Nombre		Cantidad
Recipiente.		1 Und
Varsol.		1 Und
Estopa.		1 Und
Hoja de lija calibre 240.		1 Und
Limpiador de contactos electrónicos.		1 Und
Cinta aislante		1 Und
PERIODICIDAD		
Frecuencia [Días]		Día
Cada 400 horas [30 días]		Lunes
FORMATOS		
Código	Nombre	
	Inspección eléctrica	
MANTUM		
TIPO	Nombre	
	Inspección eléctrica	

Fuente: Autor

11.5 INSTRUCTIVOS

Se realizó una serie de instructivos, con el fin de ser guía para cada operador al momento de intervenir el equipo.

Tabla 34. Instructivo 1

NOMBRE	Cambio de empaque	
DESCRIPCIÓN		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desconecte el suministro eléctrico. 2. Cerrar válvula de entrada. 3. Drenar agua. 4. Retirar prensaestopas. 5. Retirar cordón grafitado. 6. Ingresar el nuevo empaque. 7. Instalar prensaestopa teniendo un ajuste lineal. 		
PERSONAL		
Cargo	Cantidad	Condiciones Especial

Mecánico	2	NA
HERRAMIENTAS		
Nombre		Cantidad
<i>Mecánico</i> – Llave de Mixta (15/16")		1 Und
<i>Mecánico</i> – Gancho para prensaestopa		1 Und
INSUMOS		
Nombre		Cantidad
Cordón grafitado de 1/2		3 Und
PERIODICIDAD		
Frecuencia [Días]		Día
Cada 250 Horas [15 días]		Domingo
FORMATOS		
Código	Nombre	
Orden de trabajo	Cambio de empaque	
MANTUM		
TIPO	Nombre	
Orden de trabajo	Cambio de empaque	

Fuente: Autor

Tabla 35. Instructivo 2.

NOMBRE	Alineación	
DESCRIPCIÓN		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desconecte el suministro eléctrico. 2. Retirar guarda de seguridad del acople. 3. Retirar acople bomba-motor. 4. Verificar la alineación. 5. Aflojar tornillería del motor. 6. Dependiendo de la condición agregar o retirar laminillas. 7. Ajustar tornillería en forma de x. 8. Armar nuevamente. 		
PERSONAL		
Cargo	Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico	2	NA
HERRAMIENTAS		
Nombre		Cantidad
<i>Mecánico</i> – Llave de mixta (1 1/8")		2 Und
<i>Mecánico</i> – Llave mixta (3/4")		2 Und
INSUMOS		

Nombre		Cantidad
Nivel		1 Und
Laminillas		Und
PERIODICIDAD		
Frecuencia [Días]		Día
Cada 250 Horas [15 días]		Domingo
FORMATOS		
Código	Nombre	
Orden de trabajo	Alineación	
MANTUM		
TIPO	Nombre	
Orden de trabajo	Alineación	

Fuente: Autor

Tabla 36. Instructivo 3.

NOMBRE	Revisar válvulas		
DESCRIPCIÓN			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desconecte el suministro eléctrico. 2. Desocupar el tanque de almacenamiento. 3. Drenar tubería. 4. Revisar compuertas internas de las válvulas. 			
PERSONAL			
Cargo	Cantidad	Condiciones Especial	
Mecánico	2	NA	
HERRAMIENTAS			
Nombre	Cantidad		
Ninguno	NA		
INSUMOS			
Nombre	Cantidad		
Ninguno	NA		
PERIODICIDAD			
Frecuencia [Días]			Día
Cada 250 Horas [15 días]			Domingo
FORMATOS			
Código	Nombre		
Orden de trabajo	Revisar válvulas		

MANTUM	
TIPO	Nombre
Orden de trabajo	Revisar válvulas

Fuente: Autor

Tabla 37. Instructivo 4.

NOMBRE	Inspección de tubería	
DESCRIPCIÓN		
1. Desconecte el suministro eléctrico. 2. Revisar tornillería. 3. Revisar empaque. 4. Revisar acople.		
PERSONAL		
Cargo	Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico	2	NA
HERRAMIENTAS		
Nombre	Cantidad	
<i>Mecánico</i> – Llave mixta (15/16")	2 Und	
<i>Mecánico</i> – Llave mixta (1 1/8")	2 Und	
<i>Mecánico</i> – Martillo de bola 4 libras	1 Und	
INSUMOS		
Nombre	Cantidad	
Lamina de caucho de ¼"	1 Und	
PERIODICIDAD		
Frecuencia [Días]	Día	
Cada 250 Horas [15 días]	Domingo	
FORMATOS		
Código	Nombre	
Orden de trabajo	Inspección de tubería	
MANTUM		
TIPO	Nombre	
Orden de trabajo	Inspección de tubería	

Fuente: Autor

12. PLAN DE MANTENIMIENTO AIRE COMPRIMIDO

El sistema de aire comprimido cuenta con 4 compresores principales en el nivel 0, con dos tanques de almacenamiento en este nivel y 9 dentro del socavón. El plan de mantenimiento según los requerimientos de la empresa, se realizó para los compresores principales.

12.1 PM1

Este plan de mantenimiento se realiza cada semana, son una serie de actividades de limpieza, lubricación, inspección y reajuste. Las herramientas son diferentes según el tipo de compresor.

Tabla 38.PM1, Semanal

NOMBRE	Mantenimiento Semanal	
DESCRIPCIÓN		
<p>Mecánico:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar radiadores, enfriadores de aceite y aire. 2. Limpiar filtro de aire. 3. Verificar nivel de aceite. 4. Revisar electro-válvula reguladora de aire comprimido. 5. Inspeccionar sensores de temperatura. 6. Revisar válvula de cheque de mínima presión. 7. Revisar ventiladores de motores eléctricos. 8. Inspeccionar transductores de presión de aire comprimido. 9. Revisar mangueras hidráulicas. 10. Revisar desviadores de aire. 11. Revisar filtro de barrido de aceite. 12. Revisar trampa de condensado de aire comprimido. 13. Revisar válvula termostática. 14. Revisar válvula de succión. 15. Lavar filtro purificado de aire. 16. Lubricar motores eléctricos. 17. Reajustar tornillería. 18. Limpiar en general el equipo. 		
PERSONAL		
Cargo	Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico	2	NA

HERRAMIENTAS	
Nombre	Cantidad
Mecánico – Juego de llaves de copas (3/4" a 2 1/2")	1 Und
Mecánico – llave estrella (3/4" y 15/16")	1 Und
Mecánico – Destornillador (Estrella y Pala)	1 Und
Mecánico – Llave cadena para filtro	1 Und
Mecánico – Llave americana	1 Und
Mecánico – Llave Hexagonal	1 Und
Mecánico – Engrasadora Manual	1 Und
INSUMOS	
Nombre	Cantidad
Lubricante CRC	250 ml
Grasa unirex #2 de la exxon	
Gasolina	3 L
Detergente	500 gr
Estopa	0,5 kg
Manguera	1 Und
PERIODICIDAD	
Frecuencia [Días]	Día
Cada Semana [7]	NA
FORMATOS	
Código	Nombre
RT-N-	Mantenimiento semanal compresor
MANTUM	
TIPO	Nombre
RT-N-	Mantenimiento semanal compresor

Fuente: Autor

12.2 PM2

Este plan de mantenimiento se realiza cada día, con el fin de llevar un control del estado de cada componente del compresor.

Tabla 39.PM2, Diario

NOMBRE		Mantenimiento Autónomo Diario	
DESCRIPCIÓN			
Realizar una inspección con 5 sentidos de todos los equipos y componentes.			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estado de temperatura de descarga paquete. 2. Estado de temperatura de inyección de aceite. 3. Estado de temperatura de descarga unidad. 4. Estado entrada de filtros de aire. 5. Estado entrada de filtros de aceite. 6. Estado filtro separador de aire y aceite. 7. Estado del voltaje. 8. Estado de Amperaje. 9. Estado de horas de marcha. 10. Estado de horas de trabajo. 11. Estado de drenaje del condensado. 12. Estado de los niveles 28-45. 			
PERSONAL			
Cargo		Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico		1	NA
HERRAMIENTAS			
Nombre			Cantidad
Ninguno			NA
INSUMOS			
Nombre			Cantidad
Ninguno			NA
PERIODICIDAD			
Frecuencia [Días]			Día
Todos los días [1]			NA
FORMATOS			
Código	Nombre		
RT-N	Mantenimiento Autónomo Diario		
MANTUM			
TIPO	Nombre		

RT-N	Mantenimiento Autónomo Diario
------	-------------------------------

Fuente: Autor

12.3 PM3

Estos planes de mantenimiento se basan debido a las horas de trabajo que lleva el compresor. Según los parámetros de los fabricantes.

Tabla 40.PM3, Basado en condición 1

NOMBRE		Cambio De Aceite	
DESCRIPCIÓN			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desenergizar el equipo. 2. Despresurizar el equipo. 3. Remover tapa. 4. Abrir grifo. 5. Drenar aceite del tanque separador un 80%. 6. Drenar aceite por la unidad compresora un 10%. 7. Drenar aceite por el radiador un 10%. 8. Apretar mangueras. 9. Apretar tambores. 10. Cerrar grifo del tanque de almacenamiento del aceite. 11. Bombear aceite. 12. Arrancar el compresor dejando en posición de descanso, no comprimiendo el aire aproximadamente 2 minutos. 13. Observar la temperatura de inyección de aceite, la cual debe ser mayor de 120 °F o 50 °C. 14. Verificar el nivel de aceite, el cual debe estar entre ¼ y ½ del visor de aceite. 			
PERSONAL			
Cargo		Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico		2	NA
HERRAMIENTAS			
Nombre			Cantidad
Mecánico – Llave de expansión (12",18" y ½ 9/16")			1 Und
INSUMOS			
Nombre			Cantidad
Aceite sintético ultra coolant			36 gal
Recipiente			1 Und
PERIODICIDAD			
Frecuencia			Día
Cada 8.000 Horas [380]			NA

FORMATOS	
Código	Nombre
Orden de trabajo	Cambio de aceite compresor
MANTUM	
TIPO	Nombre
Orden de trabajo	Cambio de aceite compresor

Fuente: Autor

Tabla 41.PM3, Basado en condición 2

NOMBRE	Cambio de filtros de aceite	
DESCRIPCIÓN		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar parada del equipo durante 1 hora aproximadamente para proceso de enfriamiento del lubricante a extraer. 2. Remover tapa. 3. Desalojar aceite utilizado. 4. Depositar aceite desalojado en su respectiva zona. 5. Instalar filtros. 6. Apretar rodamientos. 7. Registrar horómetro. 		
PERSONAL		
Cargo	Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico		NA
HERRAMIENTAS		
Nombre	Cantidad	
<i>Mecánico</i> – Llave de cadena	1 Und	
<i>Mecánico</i> – Estopa	0,5 kg	
INSUMOS		
Nombre	Cantidad	
Filtro Balwin BT8876MP6	2 Und	
Balde	1 Und	
PERIODICIDAD		
Frecuencia	Día	
Cada 2.000 Horas [95]	NA	
FORMATOS		
Código	Nombre	
Orden de trabajo	Cambio de filtros de aceite	
MANTUM		

TIPO	Nombre
Orden de trabajo	Cambio de filtros de aceite

Fuente: Autor

Tabla 42.PM3, Basado en condición 3

NOMBRE		Cambio De Filtro Separador De Aire Y Aceite	
DESCRIPCIÓN			
1. Des energizar equipo. 2. Despresarizar equipo. 3. Abrir puertas de acceso. 4. Desmontar filtro separador. 5. Instalar nuevo filtro. 6. Cerrar puertas.			
PERSONAL			
Cargo		Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico		2	NA
HERRAMIENTAS			
Nombre			Cantidad
<i>Mecánico</i> – Llave de copa (1" y 1/8")			1 Und
<i>Mecánico</i> – Llave de estrella (16/15")			1 Und
<i>Mecánico</i> – Llave de estrella mixta (½ 9/16")			1 Und
<i>Mecánico</i> – Llave de expansión (18")			1 Und
<i>Mecánico</i> – Palanca de fuerza			1 Und
<i>Mecánico</i> – Diferencial			1 Und
INSUMOS			
Nombre			Cantidad
Filtro Ingersoll rand referencia 39890660			1 Und
PERIODICIDAD			
Frecuencia			Día
Cada 12 PSI de obstrucción			NA
FORMATOS			
Código	Nombre		
Orden de trabajo	Cambio De Filtro Separador De Aire Y Aceite		
MANTUM			
TIPO	Nombre		
Orden de trabajo	Cambio De Filtro Separador De Aire Y Aceite		

Fuente: Autor

Tabla 43.PM3, Basado en condición 4

NOMBRE	Cambio De Rodamientos Del Motor Eléctrico Principal	
DESCRIPCIÓN		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desenergizar equipo. 2. Despresurizar equipo. 3. Abrir puertas de acceso. 4. Desacoplar motor unidad compresora. 5. Desarmar motor. 6. Desconectar sistema eléctrico. 7. Retirar piñón de engranaje. 8. Bajar radiador de aire. 9. Cambiar rodamiento delantero y trasero. 10. Cambiar retenedor de aceite. 11. Cambiar esleve. 12. Armar nuevamente. 		
PERSONAL		
Cargo	Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico	2	NA
HERRAMIENTAS		
Nombre	Cantidad	
Mecánico – Extractor de rodamiento	1 Und	
Mecánico – Bomba hidráulica	1 Und	
Mecánico – Gato hidráulico	1 Und	
Mecánico – Juego de llaves hexágono (1/8" a 3/8")	1 Und	
Mecánico – Llave de copa (1 1/2", 1 1/8", 15/16", 3/4")	1 Und	
Mecánico – Llave de estrella(15/16", 3/4")	1 Und	
Mecánico – Palanca fuerza 3/4	1 Und	
INSUMOS		
Nombre	Cantidad	
Rodamiento referencia 6222-22R-C3	1 Und	
Rodamiento código 1303000019	1 Und	
Lamina asbesto 32"	1 Und	
PERIODICIDAD		
Frecuencia	Día	
Cada 10.000 horas [476]	NA	
FORMATOS		
Código	Nombre	
Orden de trabajo	Cambio De Rodamientos Del Motor Eléctrico Principal	

MANTUM	
TIPO	Nombre
Orden de trabajo	Cambio De Rodamientos Del Motor Eléctrico Principal

Fuente: Autor

Tabla 44.PM3, Basado en condición 5

NOMBRE	Cambio De Rodamientos Del Motor Eléctrico Del Ventilador		
DESCRIPCIÓN			
1. Desenergizar equipo. 2. Despresurizar equipo. 3. Abrir compuertas. 4. Retirar ventilador. 5. Retirar carcasa de ventilador. 6. Retirar tapa lateral del rodamiento. 7. Retirar estator. 8. Extraer rodamientos. 9. Instalar rodamientos. 10. Armar de nuevo.			
PERSONAL			
Cargo		Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico		2	NA
HERRAMIENTAS			
Nombre			Cantidad
<i>Mecánico</i> –Extractor de rodamiento			1 Und
<i>Mecánico</i> – Juego de llaves mixtas (½” a ¾ “)			1 Und
<i>Mecánico</i> – Diferencial			1 Und
INSUMOS			
Nombre			Cantidad
Rodamiento referencia 6309			1 Und
Rodamiento referencia 6209			1 Und
Manila			1 Und
PERIODICIDAD			
Frecuencia			Día
Cada 8.000 horas [380]			NA
FORMATOS			
Código	Nombre		
Orden de trabajo	Cambio De Rodamientos Del Motor Eléctrico Del Ventilador		
MANTUM			

TIPO	Nombre
Orden de trabajo	Cambio De Rodamientos Del Motor Eléctrico Del Ventilador

Fuente: Autor

Tabla 45.PM3, Basado en condición 6

NOMBRE		
Lubricación De Motores Eléctricos		
DESCRIPCIÓN		
1. Desenergizar equipo. 2. Despresurizar equipo. 3. Abrir puertas de acceso. 4. Quitar Válvula de alivio a la carcasa del rodamiento. 5. Inyectar grasa.		
PERSONAL		
Cargo	Cantidad	Condiciones Especial
Mecánico	2	NA
HERRAMIENTAS		
Nombre	Cantidad	
<i>Mecánico</i> – Bomba	1 Und	
<i>Mecánico</i> – Llave mixta (9/16")	1 Und	
INSUMOS		
Nombre	Cantidad	
Grasa unirex #2 de la Exxon		
PERIODICIDAD		
Frecuencia	Día	
Cada 2.000 horas [95]	NA	
FORMATOS		
Código	Nombre	
Orden de trabajo	Lubricación De Motores Eléctricos	
MANTUM		
TIPO	Nombre	
Orden de trabajo	Lubricación De Motores Eléctricos	

Fuente: Autor

13. MANTENIMIENTO CIRCUNSTANCIAL

Según la norma venezolana CONVENIN 3049-93 (Normalización, 2001), define este tipo de mantenimiento como una mezcla de mantenimiento rutinario, programado, de avería y correctivo, ya que por su intermedio se ejecutan acciones de rutina pero no tienen un punto fijo en el tiempo para iniciar su ejecución, debido a que los sistemas atendidos funcionan de manera alterna.

13.1 NIVEL 23

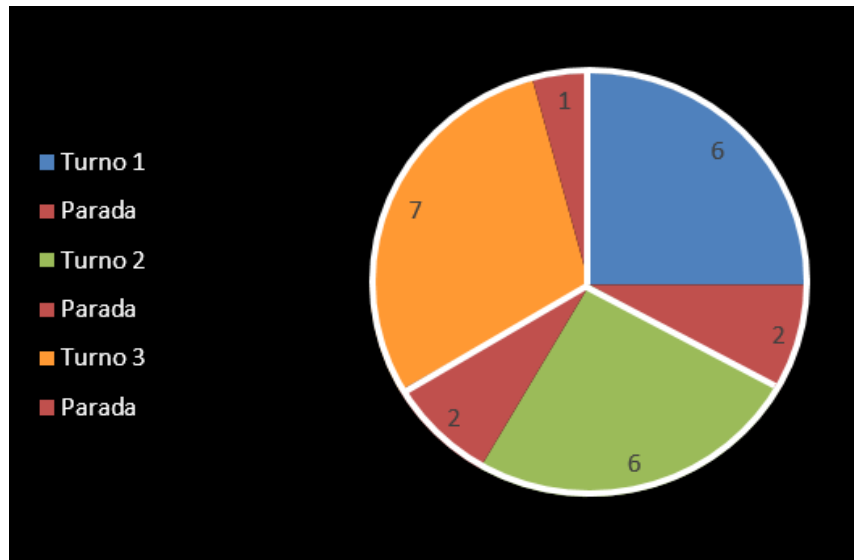


Ilustración 16. Operatividad nivel 23

Fuente: Autor

Esta bomba opera en promedio de 16 a 19 horas al día, las horas restantes según la circunstancia estará disponible para realizar el plan de mantenimiento PM2, PM3.

13.2 NIVEL 28,31 Y 34

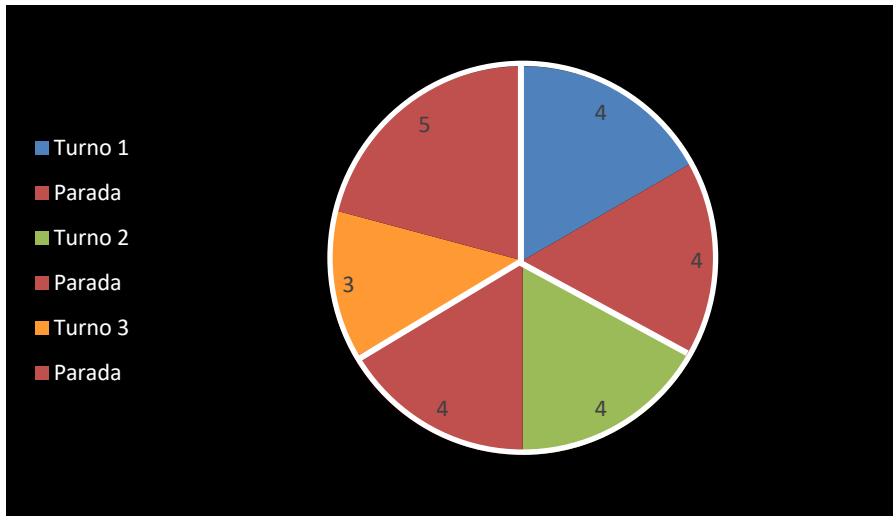


Ilustración 17. Operatividad nivel 28,31 y 34

Fuente: Autor

Las bombas ubicadas en el nivel 28,31 y 34, se encuentran en secuencia por lo que operan en el mismo intervalo de tiempo. Tiene 13 horas promedio al día de parada, las cuales son utilizadas para realizar los mantenimientos PM2, PM3.

13.3 NIVEL 39

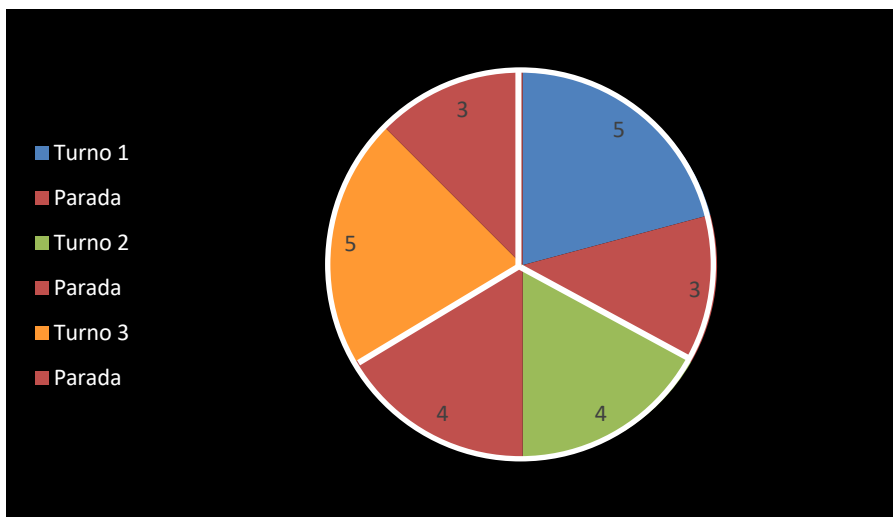


Ilustración 18. Operatividad nivel 39

Fuente: Autor

Este nivel opera 14 horas promedio al día, teniendo así disponibilidad para ejecutar el mantenimiento según la circunstancia de paro las 10 horas restantes.

13.4 NIVEL 40

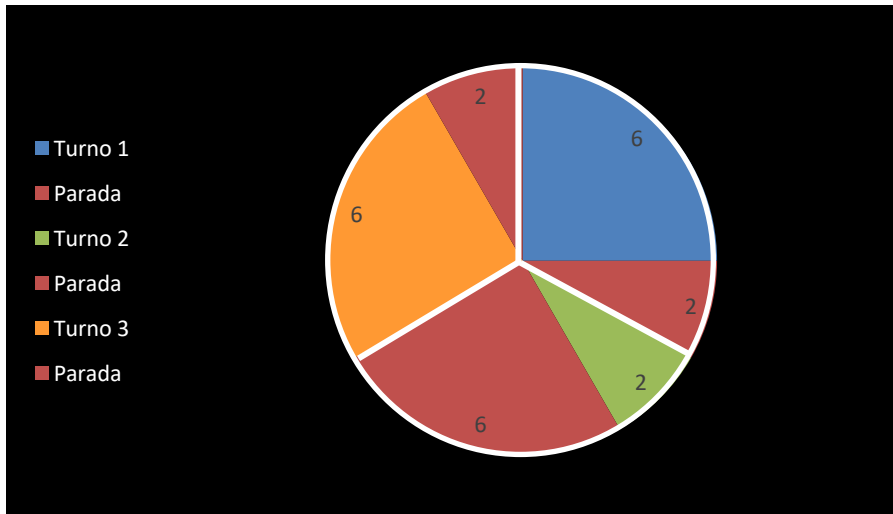


Ilustración 19. Operatividad nivel 40

Fuente: Autor

Este nivel tiene 10 horas promedio de inactividad durante el día, en las cuales se puede disponer para realizar el mantenimiento.

13.5 NIVEL 43

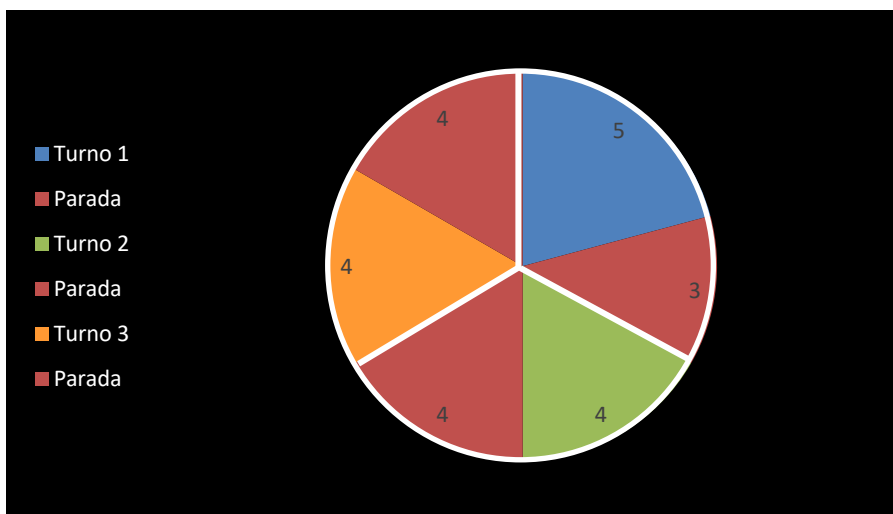


Ilustración 20. Operatividad nivel 43

Fuente: Autor

Este nivel cuenta con 13 horas promedio de operación y 11 horas promedio de parada.

14. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

El análisis Costo–Beneficio es una herramienta financiera que tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de rentabilidad de los equipos utilizados, respecto a la producción de la empresa. Para su realización se tiene en cuenta los costos generales necesarios para que el sistema de bombeo cumpla su función.

14.1 COSTOS DE INTERVENCIÓN

En el costo de las intervenciones se incluyen los gastos relacionados con mantenimiento preventivo y correctivo. Este tipo de costo está compuesto por la mano de obra interna o externa, los repuestos de bodega o comprados para la intervención y material fungible ocupado en la intervención.(Fernando, 2001)

Tabla 46.Costos por intervención en el mes de Agosto

	Actividades	Costo
1	Reparación General	COP 5.178.742
2	Fabricación de Repuestos	COP 372.620
3	Inspección General Mecánica	COP 58.816
4	Lubricación y Ajuste en General	COP 322.018
5	Mantenimiento General	COP 452.600
6	Traslado y Conexión de Equipos	COP 181.104
	Costo total	COP 6.565.901

Fuente: Autor

Tabla 47.Costo por intervención en el mes de Septiembre

	Actividades	Costo
1	Reparación General	COP 3.878.024
2	Fabricación de Repuestos	COP 50.307
3	Lubricación y Ajuste en General	COP 39.923
4	Mantenimiento General	COP 490.780
5	Traslado y Conexión de Equipos	COP 235.585
	Costo total	COP 4.694.618

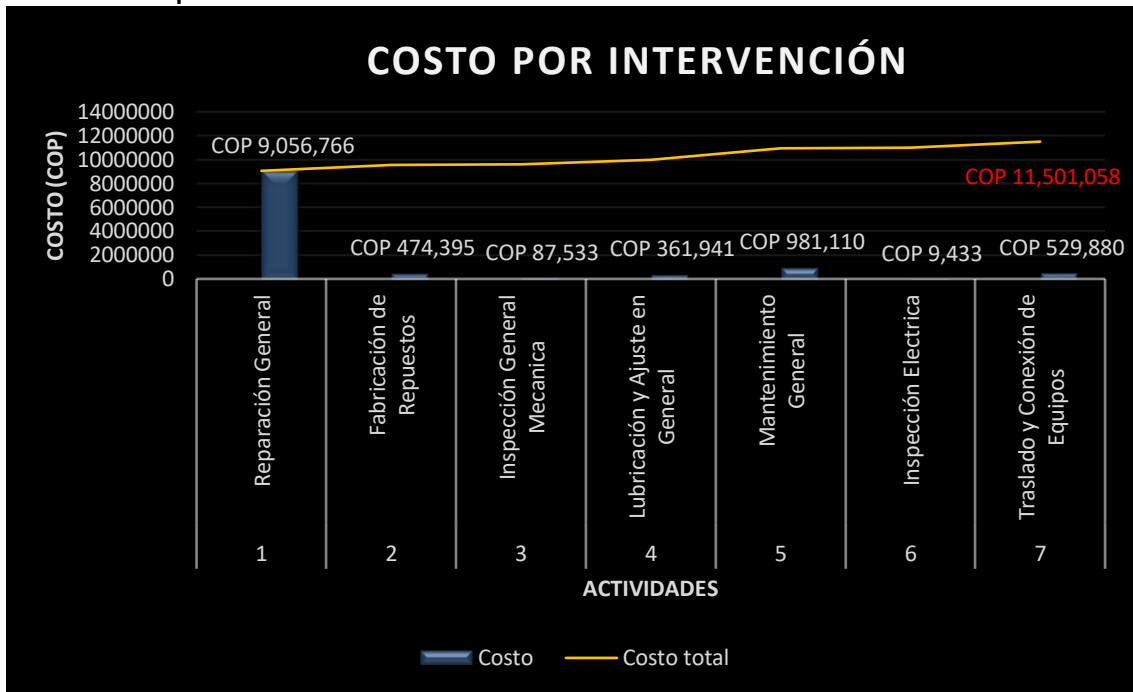
Fuente: Autor

Tabla 48.Costo por intervención en el me de Octubre

	Actividades	Costo
1	Inspección General Mecánica	COP 28.717
2	Fabricación de Repuestos	COP 51.468
3	Inspección Eléctrica	COP 9.433
4	Mantenimiento General	COP 37.730
5	Traslado y Conexión de Equipos	COP 113.190
	Costo total	COP 240.538

Fuente: Autor

Tabla 49. Costo por intervención en mantenimiento



Fuente: Autor

14.2 COSTO DE FALLA

Este tipo de costo según (Fernando, 2001), corresponde a las pérdidas del margen de utilidad, debido a problemas directos del mantenimiento que haya redundancia en la tasa de la producción de productos con calidad deseada.



Ilustración 21. Fallas en el año 2017

Fuente: Autor

14.3 COSTOS DE NOMINA

La nómina mensual sujeta al sistema de bombeo se observa a continuación:

Tabla 50. Nómina personal del sistema de bombeo.

N°	APELLIDOS	NOMBRES	CARGO	OFICIO	SALARIO BASICO	TOTAL PRESTACIONES
1	ACEVEDO	LUIS EMILIO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
2	AVENDAÑO CEBALLOS	JHON FREDY	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
3	BARRERA VASQUEZ	ALVARO AUGUSTO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
4	CANO CANO	WILMAR DE JESUS	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
5	CARDENAS LONDOÑO	RAFAEL ALEXANDER	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
6	CARRILLO URIBE	EDWIN ARTURO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
7	CASTRO PINEDA	LUIS CARLOS	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
8	CONTRERAS VARELAS	RAMON NONATO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
9	DIAZ ATEHORTUA	DEIBY STIVEN	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
10	ESCALANTE	JHONY ALBERTO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
11	FONNEGRA	OSCAR DARIO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
12	FRANCO PALACIO	LUIS ANGEL	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
13	GARCIA HERNANDEZ	GUMERCINDO ROMAN	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
14	GOMEZ ARIAS	CRISTIAN	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
15	GONZALEZ SEPULVEDA	SERGIO ALBERTO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
16	GUEVARA CARREÑO	JAVIER	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
17	HENAO BETANCUR	CARLOS ALBERTO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500

18	JARAMILLO PEREZ	DANI DANIEL	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
19	MONTIEL	HUGO ALBERTO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
20	MORA OLIVARES	BENJAMIN ISNEL	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
21	MORALES CASAS	CARLOS EMILIO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
22	MORENO NISPERUZA	JOSE GREGORIO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
23	PAMPLONA GIRALDO	JOSE ARQUIBAL	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
24	QUINTERO MADRID	DAIRO ALBERTO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
25	RESTREPO GRAJALES	JOSE RICARDO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
26	RIVEROS RIOS	LOR FERRISON	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
27	RUA JIMENEZ	EDISON DE JESUS	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
28	RUIZ ATEHORTUA	SANDRO ANDREY	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
29	RUIZ MARIN	FRANCISCO JAVIER	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
30	SALDARRIAGA JARAMILLO	JOHN FREDY	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
31	SANCHEZ LOPERA	DUBAN DARIO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
32	SANTANA RODRIGUEZ	HUGO ALBERTO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
33	SERNA VELEZ	JHORMAN ANDRES	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
34	TABARES BERNAL	JOSE REINEL	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
35	TANGARIFE BARRERA	JAMES ANDRES	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
36	URIBE MENESES	DIEGO ALONSO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
37	URIBE VILLA	CAMILO ANDRES	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
38	URREGO URREGO	FABIAN ALBERTO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
39	VELEZ VARGAS	VICTOR JAIRO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500

40	VILLA RAMIREZ	JORGE IVAN	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
41	ZULETA AGUDELO	ANDRES CAMILO	OPERADOR 1 MANTENIMIENTO	BOMBERO	\$ 1.770.000	\$ 2.743.500
42	MACIAS CONTRERAS	BLADIMIR YOLIE	COORDINADOR DE ÁREA	COORDINADOR DE MINAS	\$ 2.500.000	\$ 3.875.000
43	TORO MENESES	JOHN ALEXANDER	COORDINADOR DE ÁREA	COORDINADOR DE MINAS	\$ 2.500.000	\$ 3.875.000
44	VASQUEZ VANEGAS	NICOLAS REISON	COORDINADOR DE ÁREA	COORDINADOR DE MINAS	\$ 2.500.000	\$ 3.875.000
45	TRUJILLO	LUIS ALBEIRO	COORDINADOR DE ÁREA	COORDINADOR DE MONTAJES	\$ 2.500.000	\$ 3.875.000
46	ALZATE SANCHEZ	FERNANDO ESNIDES	OPERADOR 2 MANTENIMIENTO	ELECTRICISTA	\$ 1.950.000	\$ 3.022.500
47	AREIZA AREIZA	JUAN CAMILO	OPERADOR 2 MANTENIMIENTO	ELECTRICISTA	\$ 1.950.000	\$ 3.022.500
48	CARDONA	ARIEL DE JESUS	OPERADOR 2 MANTENIMIENTO	ELECTRICISTA	\$ 1.950.000	\$ 3.022.500
49	CONTRERAS HERRERA	JUAN CARLOS	OPERADOR 2 MANTENIMIENTO	ELECTRICISTA	\$ 1.950.000	\$ 3.022.500
50	YEPES SUAREZ	JHONATAN	LIDER DE BOMBEO	LIDER DE BOMBEO	\$ 3.750.000	\$ 5.812.500
51	PIEDRAHITA LOAIZA	FRAN ANDREY	OPERADOR 2 MANTENIMIENTO	MECANICO DE BOMBAS	\$ 1.950.000	\$ 3.022.500
52	RESTREPO AGUDELO	YOHAN SEBASTIAN	OPERADOR 2 MANTENIMIENTO	MECANICO DE BOMBAS	\$ 1.950.000	\$ 3.022.500
53	SANCHEZ	JADER ALEXIS	OPERADOR 2 MANTENIMIENTO	MECANICO DE BOMBAS	\$ 1.950.000	\$ 3.022.500
54	SOLANO SARRAZOLA	MANUEL SALVADOR	OPERADOR 2 MANTENIMIENTO	MECANICO DE BOMBAS	\$ 1.950.000	\$ 3.022.500
55	ARANGO LOPEZ	ANDRES STIBENSON	OPERADOR 2 MANTENIMIENTO	MECANICO SOLDADOR	\$ 1.950.000	\$ 3.022.500
56	BURITICA GUZMAN	JULIAN DAVID	OPERADOR 2 MANTENIMIENTO	MECANICO SOLDADOR	\$ 1.950.000	\$ 3.022.500
57	CASTAÑEDA PULGARIN	JORGE ELIECER	OPERADOR 2 MANTENIMIENTO	MECANICO SOLDADOR	\$ 1.950.000	\$ 3.022.500
58	DUQUE GOMEZ	HIRLAN DAINOVER	OPERADOR 2 MANTENIMIENTO	MECANICO SOLDADOR	\$ 1.950.000	\$ 3.022.500
				Total	\$ 109.720.000	\$ 170.066.000

Fuente: Autor

14.4 BENEFICIO POR TIPO DE MANTENIMIENTO

Son 16 bombas operativas distribuidas en los diferentes niveles de la mina, para los cuales se les programa un plan de mantenimiento programado según las horas de operación. Para los costos de estos planes de mantenimiento comparado con el mantenimiento correctivo, se tuvo en cuenta las herramientas, insumos y personal necesarios para ejecutarlo.

Tabla 51. Costo mantenimiento semanal.

Mantenimiento Semanal		
Herramientas	pinza voltiamperimetrica	\$ 149.999
	termómetro infrarrojo	\$ 59.999
personal	mecánico	\$ 100.614
	electricista	\$ 100.614
Total por mtto para una bomba		\$ 411.225
Total por mtto en todas las bombas		\$ 6.579.601

Fuente: Autor

Tabla 52. Costo mantenimiento quincenal

Mantenimiento Quincenal		
Herramientas	juego de llaves mixtas	\$ 240.300
	llave expansiva 10"	\$ 44.125
	llave americana	44.663
	juego de llave hexagonal	\$ 30.111
	martillo de bola	\$ 17.890
	nivel	\$ 10.752
	cuchillo	\$ 3.641
	destornillador pala	\$ 3.260
	destornillador estrella	\$ 3.575
insumos	ACPM	\$ 7.965
	Estopa	\$ 5.417
	lamina de caucho de 1/4	\$ 140.000
	grasa ep2	\$ 220.960
	prensaestopa	\$ 8.400
	aceite	\$ 70.000
	engrasadora	\$ 55.065
	lija calibre 240	\$ 798
	limpiador contactos eléctricos	\$ 17.475
personal	Mecánico	\$ 100.614
	electricista	\$ 100.614

Total por mtto para una bomba	\$ 1.137.840
Total por mtto en todas las bombas	\$ 18.205.440

Fuente: Autor

Tabla 53.Costo mantenimiento correctivo

Mantenimiento correctivo		
Herramientas	juego de llaves mixtas	\$ 240.300
	llave expansiva 10"	\$ 44.125
	llave americana	44.663
	juego de llave hexágono	\$ 30.111
	martillo de bola	\$ 17.890
	nivel	\$ 10.752
insumos	cuchillo	\$ 3.641
	destornillador pala	\$ 3.260
	destornillador estrella	\$ 3.575
	ACPM	\$ 7.965
	Estopa	\$ 5.417
	lamina de caucho de 1/4	\$ 140.000
	grasa ep2	\$ 220.960
	prensaestopa	\$ 8.400
	aceite	\$ 70.000
	engrasadora	\$ 55.065
	lija calibre 240	\$ 798
	limpiador contactos eléctricos	\$ 17.475
	cinta aislante	\$ 12.217
	repuestos	caracol
rodamiento		\$ 205.881
motor		\$ 1.439.000
impulsor		\$ 6.500.000
válvula		\$ 3.193.277
cheque		\$ 1.084.403
personal	Mecánico	\$ 100.614
	electricista	\$ 100.614
Total por mtto para una bomba		\$ 14.822.561
Total por mtto		\$ 59.290.244

Fuente: Autor

Ilustración 22. Costo por mantenimiento



Fuente: Autor

15. CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado al sistema de bombeo mostro falencias en el inventario de equipos y algunos formatos, esto se corrigió realizando una actualización y posterior registro en el software de mantenimiento Mantum, además de formalizar algunos formatos que facilitaran el manejo del historial de cada equipo

El resultado del análisis de criticidad hecho a las estaciones muestra que las más críticas o con mayor riesgo son nivel 23, 28, 31, 34, 39,40 y 43.

Mediante el análisis de modos y efectos de falla se pudo determinar que las fallas más comunes son: el daño de rodamientos, bujes, sellos mecánicos, impulsor, caracoles, vitoles, obstrucciones y vibraciones. Estos resultados permitieron diseñar un plan de mantenimiento programado para las estaciones del nivel 23, 28, 31, 34, 39,40 y 43.

Se determinó mediante un estudio de mantenimiento circunstancial que existen 6 horas disponibles para realizar mantenimiento preventivo, dado que las bombas trabajan 18 de las 24 horas.

Mediante el análisis de costo beneficio se pudo demostrar que el ahorro al aplicar el plan de mantenimiento frente al correctivo que se viene ejecutando es de aproximadamente COP 41.084.804.

16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Nacional De Minería. (2018). Plan Nacional de desarrollo minero 2018-2025. Retrieved June 1, 2018, from <http://www1.upme.gov.co/simco/Paginas/Plan Nacional de desarrollo minero 2018-2025.aspx>
- Alcaldia mayor de Bogota (2018). Buenas practicas de operación en la actividad de mantenimiento industrial.
- Fuentes, F. (2001). Aspectos financieros en el mantenimiento. Universidad de Talca, Escuela de Ingenieria Mecanica.
- Garrido, G. (2009). Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial. 2009, 1–4. Retrieved from <http://www.renovetec.com/ingenieria-del-mantenimiento.pdf>
- García, S. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*.
- Gobierno de Colombia. (n.d.). Ministerio de Minas y Energía - MinMinas. Retrieved June 1, 2018, from <https://www.minminas.gov.co/>.
- Grupo empresarial DAMASA. Navar S.A.S (2018).Segovia Antioquia.
- Norma Venezolana (2001). Norma Covenin 3049-93, Mantenimiento.Definiciones.
- Parra,C. & Crespo, A. (2012). Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos. Nota técnica 5: Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos. *Ingeman*. Retrieved from www.ingeman.net%5Cnwww.confabilidadoperacional.com
- Pascual, R. (2002). Gestión Moderna del Mantenimiento 1. *Gestion Moderna de Mantenimiento*, 17–18.
- RENOVETEC, (n.d.). Tipos de Mantenimiento. Retrieved May 31, 2018, from <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>.
- Sterling fluid systems colombia (2000). Bombas Centrífugas de Carcasa Espiral, (1205), 1–8.
- Vallares, D. & Texeira, R. (n.d.). Manual de instalación y mantenimiento, Bomba ANSI 2196. *Hidromac , Malmedi*.
- Valladares,D. & Texeira, A. (2018). Bombas ETA ETN, Manual de Instalación y Mantenimiento.

17. ANEXOS

1. Plano sistema de bombeo.
2. Inventario equipos de bombeo.
3. Formatos de información equipos de bombeo.
4. Análisis de criticidad equipos de bombeo.
5. Formato AMEF equipos de bombeo.
6. Plan de mantenimiento equipos de bombeo.
7. Plan de mantenimiento equipos de aire comprimido.