



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE ARRANQUE DE
PERFORADORAS PIT-VIPER 351D EN COMPAÑÍA CONTRACTUAL
MINERA CANDELARIA**

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de ingeniero de ejecución en electricidad.

Profesor guía: Juan Carlos Madrigal Lobos

Fernando Rodrigo Peña Castillo
Andrés Josué Gómez Venegas

Copiapó, Chile 2022

AGRADECIMIENTOS

Con las siguientes palabras, queremos agradecer primeramente a nuestros padres, quienes nos han entregado valores importantísimos para nuestro crecimiento personal y profesional. También quisiéramos destacar el apoyo incondicional de nuestras parejas, ya que sin ello no podríamos haber llevado a cabo este proyecto; a nuestras familias; amigos y compañeros de trabajo que nos han impulsado en nuestro desarrollo personal. De igual manera resaltar la ayuda de todos nuestros profesores de la universidad, que nos han entregado herramientas de conocimiento necesarias para nuestro desarrollo profesional y en mayor parte a nuestro profesor guía, don Juan Madrigal, quien ha tenido la paciencia y el tiempo para ayudarnos en nuestras correcciones para guiar de la mejor manera este proyecto. Y por último hay que destacar el aporte que nos brindaron las personas de la Compañía Contractual Minera Candelaria, dado que, sin su información no podríamos haber concluido este tan anhelado proyecto.

RESUMEN

Actualmente en Compañía Contractual Minera Candelaria, tiene siete perforadoras de producción de la marca Epiroc del modelo Pit Viper 351d, para la creación de las mallas de tronadura, siendo este un proceso de operación crítico para el avance de la mina. Por lo cual, este proyecto presenta un análisis de confiabilidad al sistema eléctrico de estos equipos, con el fin de tomar una muestra de estudio, se presenta un análisis de la perforadora R30 (US080194), se toma como ejemplo este equipo, debido a que su puesta en marcha fue en enero del año 2018 y hasta la fecha de estudio no cuenta con un overhaul o reparación mayor. Los resultados indican que el sistema eléctrico con mayor cantidad de eventos es el sistema de arranque con 11 detenciones y además es el que cuenta con mayores tiempos de reparación con 110,25 horas, esto sustentado a través del diagrama de Jack-Knife, en donde indica que es un modo crónico por sobre la media, adicionalmente el diagrama de Pareto de los modos de fallas eléctricas, indican que la mayor cantidad de tiempos de detención los genera el sistema de arranque. Por este motivo se presentan mejoras enfocadas en este modo de falla, para los cuales se presentan protocolos de reparación, programa de cambios de componentes, recomendaciones de mantenimiento, y todo esto comparado a la actual forma de trabajo, esto con el fin de observar los cambios que se realizarán. Esto será mucho más evidente en las baterías del sistema de arranque, esto debido a que, en las recomendaciones de fábrica, son las que pueden generar fallas en otros componentes del sistema, como lo son, el alternador y los motores de arranque. Adicionalmente se presentan las pérdidas del modo de falla del sistema de arranque en el tiempo de estudio, considerando cambio de componentes, tiempos de detención y horas hombre para la reparación, esto comparado con la inversión asociada a las propuestas de mejoras presentadas, esto arroja que la inversión es una cuarta parte de las pérdidas generadas.

PERFORADORAS - FALLA - MANTENIMIENTO

ABSTRACT

Currently in Company Contractual Minera Candelaria, it has seven production drills of the Epiroc brand of the Pit Viper 351d model, for the creation of the blasting meshes, this being a critical operation process for the progress of the mine. Therefore, this project presents an analysis of reliability to the electrical system of these equipment, in order to take a study sample, an analysis of the R30 drill (US080194) is presented, this equipment is taken as an example, because its start-up was in January 2018 and to date of study it does not have an overhaul or major repair. The results indicate that the electrical system with the highest number of events is the starting system with 11 stops and is also the one with the longest repair times with 110.25 hours, this supported through the Jack-Knife diagram, where it indicates that it is a chronic mode above the average, additionally the Pareto diagram of the modes of electrical failures, indicate that the greatest number of stop times are generated by the boot system. For this reason, improvements focused on this failure mode are presented, for which repair protocols, component change program, maintenance recommendations, and all this compared to the current way of working are presented, this in order to observe the changes that will be made. This will be much more evident in the batteries of the starter system, this because, in the factory recommendations, they are the ones that can generate failures in other components of the system, such as the alternator and the starter motors. Additionally, the losses of the failure mode of the start-up system are presented in the study time, considering change of components, stopping times and man hours for repair, this compared to the investment associated with the proposals for improvements presented, this shows that the investment is a quarter of the losses generated.

DRILLS - FAILURE - MAINTENANCE

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Ubicación del proyecto	2
1.1.1 Lundin Mining.....	2
1.1.2 Complejo Minera Candelaria	2
1.2 Definición del problema.....	3
1.3 Objetivo general	3
1.4 Objetivos específicos.....	3
1.5 Metodología de trabajo	4
1.6 Resumen de capítulos.....	4
CAPITULO II	5
MARCO TEORICO	5
2.1 Baterías de ácido-plomo.....	5
2.1.1 Función Principal	6
2.1.2 Funcionamiento	6
2.1.3 Especificaciones de una batería.....	7
2.2 Motores diésel	10
2.2.1 Partes principales de un motor diésel	11
2.2.3 Funcionamiento del motor diésel	13
2.3 Sistemas de arranque en motores Diesel.....	16
2.3.1 Funcionamiento	18
2.4 Alternador	18
2.5 Mantenimiento industrial	19
2.5.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	22

2.5.2 Patrones de falla	23
2.6 Diagramas de Pareto	24
2.7 Jack Knife.....	25
CAPITULO III.....	27
DESCRIPCIÓN DE PERFORADORAS PIT-VIPER 351D	27
3.1 Sistema de propulsión y carrocería	28
3.2 Torre, carrusel y varilla.....	29
3.3 Cabeza giratoria	30
3.4 Sistema de alimentación.....	31
3.5 Compresor de aire	31
3.6 Sistema hidráulico.....	32
3.6.1 Característica de bombas principales.....	33
3.6.2 Característica de motores hidráulicos.....	34
3.7 Sistema RCS	35
3.7.1 Comunicación CAN	36
3.8 Generador Diesel.....	43
3.8.1 ECM	44
CAPÍTULO IV	45
ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	45
4.1 Calculo de Confiabilidad.....	45
4.1.1 Tiempos de operación	46
4.1.2 Prueba de aleatoriedad.....	47
4.1.3 Prueba de tendencia.....	47
4.1.4 Calculo de modelo de distribución de probabilidad.....	48
4.1.5 Grafica de confiabilidad vs tasa de falla	50
4.2 Diagrama de Pareto en perforadora R30.....	51
4.3 Jack-Knife de perforadora R30	52
CAPÍTULO V.....	54
MEJORAS PARA COMPONENTES CRÍTICOS.....	54
5.1 Baterías de perforadora R30.....	54
5.1.1 Procedimiento de cambio y carga.	55

5.1.2 Características técnicas de Baterías.....	56
5.1.3 Propuestas de mejoras	58
5.2 Motores de Arranque.....	60
5.2.1 Especificaciones de motor de arranque	60
5.2.2 Propuestas de mejora.....	61
5.4 Ordenes de mantenimiento de Sistema de arranque.	61
5.5 Evaluación económica de propuestas de mejora.....	63
CAPITULO VI	67
CONCLUSIONES.....	67
BIBLIOGRAFIA.....	68
ANEXO N°1.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Batería de ácido-plomo	5
Figura N° 2.2: Motor diésel	11
Figura N° 2.3: Ejemplo de bloque de motor.	11
Figura N° 2.4: Cigüeñal.	12
Figura N° 2.5: Ejemplo de culata.....	12
Figura N° 2.6: Ciclo de admisión en motores diésel.....	14
Figura N° 2.7: Ciclo de compresión en motores diésel.....	14
Figura N° 2.8: Ciclo de potencia en motores diésel.....	15
Figura N° 2.9: Ciclo de escape en motores diésel.....	16
Figura N° 2.10: Motor de arranque.....	16
Figura N° 2.11: Investigaciones sobre comportamiento de activos.....	21
Figura N° 2.12: Curvas de falla.	23
Figura N° 2.13: Representación gráfica de dispersión Jack-Knife.	26
Figura N° 3.1: Perforadora Pit-Viper 351d.....	28
Figura N° 3.2: Ubicación de componentes principales en torre.	29
Figura N° 3.3: Cabeza giratoria.	30
Figura N° 3.4: Caja de transferencia (PTO) y Bombas.....	32
Figura N° 3.5: Sistemas de comunicación CAN.....	37
Figura N° 3.6: Modulo I/O con descripción de conectores.....	38
Figura N° 3.7: Tapón de direccionamiento X13	39
Figura N° 3.8: CCI.....	40
Figura N° 3.9: Controlador electrónico del compresor de aire (MC2)	40
Figura N° 3.10: Conectores de comunicación de decodificadores	41
Figura N° 3.11: Pantalla GUI.....	42
Figura N° 3.12: Motor diésel Caterpillar 3512	44
Figura N° 4.1: Perforadora Pit-Viper 351d R30 (US080194).	45
Figura N° 4.2: Grafico de dispersión de perforadora R30.	47
Figura N° 4.3: Estadística descriptiva y prueba de bondad de Perforadora R30.	48
Figura N° 4.4: Estimacion de parametros de distribución.	49

Figura N° 4.5: Grafica de probabilidad de distribución.....	49
Figura N° 4.6: Graficas del modelo Weibull de 3 parámetros para la perforadora R30.	50
Figura N° 4.7: Pareto de fallas R30	51
Figura N° 4.8: Pareto fallas eléctricas en R30	52
Figura N° 4.9: Jack-Knife de modos de fallas de Perforadora R30.....	53
Figura N° 5.1: Baterías Caterpillar en perforadoras Pit Viper 351d.....	54
Figura N° 5.2: Instrumento de revisión de baterías.	56
Figura N° 5.3: Conexión de baterías en equipo	57
Figura N° 5.4: Diagrama de flujo para cambio o carga de baterías	59
Figura N° 5.5: Trabajos eléctricos en el sistema de arranque en orden de 250 horas.....	61
Figura N° 5.6: Trabajos eléctricos en el sistema de arranque en orden de 500 horas.....	62
Figura N° 5.7: Propuesta de mejora en el sistema de arranque en orden de 500 horas ...	62
Figura N° 5.8: Comparativa de costo e inversión	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1: Motores hidráulicos.....	34
Tabla N° 4.1: Muestra de datos de tiempos de operación de perforadora R30.....	46
Tabla N° 5.1: Características principales de Baterías Caterpillar 153-5720.....	57
Tabla N° 5.2: Especificaciones de motor de arranque 10R9815.	60
Tabla N° 5.3: Costo de componentes cambiados en periodo de estudio	63
Tabla N° 5.4: Costos total en el tiempo de estudio	64
Tabla N° 5.5: Inversión inicial	65

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria es cada vez más exigente en lo referente a las metas de producción, costos y seguridad, de aquí surge la necesidad de optimizar los procesos de producción. El presente proyecto atiende una problemática situada en la compañía contractual Minera Candelaria, ubicada en la región de Atacama de Chile, específicamente en las perforadoras Pit-Viper 351d, las cuales son utilizadas para la generación de pozos de producción para las tronaduras esto en concordancia con el avance de la mina a rajo abierto.

Este proyecto presenta un análisis de confiabilidad a la perforadora R30 (US080194), en el periodo comprendido entre el 14 de diciembre del 2018 al 03 de marzo del 2021, el cual entregará como resultado en qué etapa de vida se encuentra. Luego se utilizan otras herramientas, siendo una de ellas el Diagrama de Pareto del equipo y de los eventos eléctricos. Adicionalmente, se presenta un Diagrama Jack-Knife con el fin de conocer el estado de cada modo de falla eléctrico, comparado con la media de los eventos del equipo.

De acuerdo con los resultados, este proyecto presenta propuestas de mejora las cuales van enfocadas en el modo de falla eléctrico con mayor cantidad de problemas u horas de falla, entregados por diagramas de Pareto o por Jack-Knife. Luego estas propuestas serán llevadas al costo de la inversión y serán comparadas con las pérdidas que se produjeron en el tiempo de estudio, esto para concluir el costo de la inversión versus las pérdidas generadas.

1.1 Ubicación del proyecto

1.1.1 Lundin Mining

Es una empresa canadiense que trabaja en diversos metales, con operaciones en Brasil, Chile, Portugal, Suecia y los Estados Unidos, principalmente produce Cobre, Zinc, Oro y Níquel. Sus operaciones más importantes son: Candelaria (Chile), Chapada (Brasil), Eagle (USA) y Neves-Corvo (Portugal).

1.1.2 Complejo Minera Candelaria

El Complejo Minera Candelaria se comprende de dos explotaciones mineras de cobre, las cuales son Ojos del Salado y Candelaria, que producen a través de una mina subterránea y la otra a cielo abierto respectivamente. El complejo es propiedad indirecta de Lundin Mining debido a que a ella le pertenece el 80 % y el restante 20 % le pertenece a Sumitomo. La compra del 80 % se produjo en el año 2014 a Freeport McMoran Inc. Está emplazado en Chile, en la región de Atacama, a una altura geográfica aproximada de 650 metros sobre el nivel del mar y a 20 kilómetros de la ciudad de Copiapó. Las Operaciones se iniciaron en el año 1965 con la corporación Phelps Dodge, quien inició sus operaciones en Chile con su primera inversión en “Cobre Cerrillos S. A.” (COCESA) una planta elaboradora de cables y alambre de cobre, de la cual actualmente posee un 90 % de sus acciones. Luego en el año 1982, compró una parte importante de Compañía Minera Ojos Del Salado S.A., que opera en Tierra Amarilla, adquiriendo en 1985 la totalidad de las acciones. Posteriormente, Phelps Dodge inicio el proyecto Candelaria. En un tiempo récord de 723 días después del inicio de actividades, la Compañía Contractual Minera Candelaria inauguro oficialmente sus actividades productivas el 9 de marzo de 1995. Por lo que en el año 1993 comenzaron las actividades de extracción con la remoción de 75 millones de toneladas de estéril, luego de lo cual en 1994 se logró al cuerpo mineralizado, en agosto del mismo año dos meses antes de lo proyectado comenzó a operar la planta concentradora y el 6 de enero de 1995 se efectuó el primer embarque por el puerto mecanizado de Punta de Padrones en Caldera.

1.2 Definición del problema

Actualmente la Compañía Contractual Minera Candelaria tiene siete perforadoras Pit Viper del modelo 351d, que tienen motor Diesel Caterpillar 3512, este cuenta con un sistema de arranque en el que existen varios componentes, tales como motores de arranque, relés, baterías, etc. Este sistema no tiene un programa de mantenimiento específico y mucho menos programa de cambio, por lo tanto, se tiene registro de eventos en donde la falla de estos componentes críticos genera una gran cantidad de horas de detenciones, esto se incrementa cuando se producen activaciones del sistema contra incendio por las altas temperaturas que se generan en los motores de arranque, alternadores, combinado a que el personal de estos sistemas contra incendio solo trabajan hasta las 20 horas del día, generando una detención más larga en la cual el equipo sólo puede ser puesto en marcha durante el turno de día quedando fuera de servicio durante la noche.

1.3 Objetivo general

Realizar un análisis de falla en el sistema de arranque de las perforadoras Pit Viper 351d, con el fin de mejorar un plan de mantenimiento eléctrico situado en la Compañía Contractual Minera Candelaria.

1.4 Objetivos específicos

- ✚ Describir la perforadora R30 (US080194).
- ✚ Desarrollar un análisis de fallas a la perforadora R30 (US080194) enfocado en el sistema eléctrico.
- ✚ Mejorar el plan de mantenimiento del sistema de arranque de las perforadoras Pit Viper 351d.
- ✚ Analizar los resultados de la propuesta.

1.5 Metodología de trabajo

La metodología utilizada, consiste en realizar un análisis de los datos de falla generados en el periodo de estudio, de la perforadora Pit-Viper 351d, específicamente del equipo R30 (US080194). Con estos datos se obtiene un análisis de confiabilidad, Diagramas de Pareto y el Jack-Knife.

Luego de acuerdo con los resultados obtenidos, se entregan las propuestas de mejoramiento, además de cómo inciden, tanto en los costos y en las horas de detención del equipo. Adicionalmente se detectan malas prácticas en el mantenimiento correctivo y se plantean nuevos métodos de trabajo.

1.6 Resumen de capítulos

- ✚ **Capítulo II:** El capítulo consta con el marco teórico, el cual plantea la gran parte de los conocimientos utilizados en este proyecto.
- ✚ **Capítulo III:** Este es el capítulo que describe de manera breve los componentes principales de la perforadora Pit-Viper 351d, este es el equipo utilizado como objeto de estudio.
- ✚ **Capítulo IV:** Este capítulo presenta el análisis de confiabilidad del equipo analizado, en donde se obtiene, la curva de confiabilidad, los diagramas de Pareto y el Jack-Knife.
- ✚ **Capítulo V:** Este capítulo define las propuestas de mejoras, de acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo 4.
- ✚ **Capítulo VI:** En este capítulo se encuentran las conclusiones, en donde se plasma un análisis de los resultados y las mejoras que presento el proyecto.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Baterías de ácido-plomo

Una batería es un dispositivo electroquímico que transforma energía química en energía eléctrica y viceversa. Una batería almacena energía eléctrica para el uso cuando es necesario. El proceso de transformación es reversible, lo que significa que la batería puede ser cargada y descargada varias centenas de veces [1].

Todos los tipos de baterías contienen un electrodo positivo y uno negativo sumergidos en un electrolito, y el conjunto completo se encuentra dentro de un recipiente.

La mayoría de las baterías son de plomo-ácido, lo que significa que tienen electrodos positivos y negativos formados por compuestos de plomo en un electrolito de ácido sulfúrico diluido [2]. (Ver figura N° 2.1).

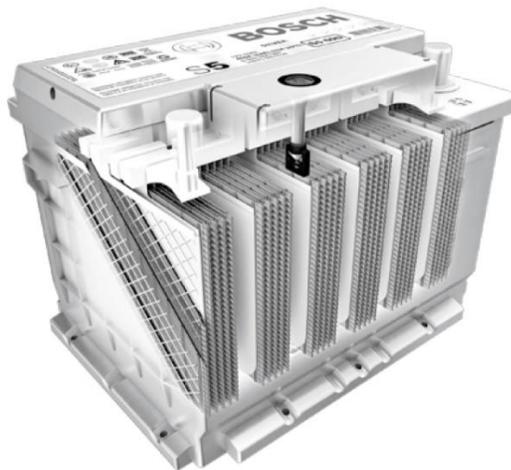


Figura N° 2.1: Batería de ácido-plomo

Fuente: Manual de baterías Bosch.

2.1.1 Función Principal

En un máquina o vehículo, la batería desempeña el papel de una unidad de almacenamiento químico para la energía eléctrica generada por el alternador cuando la máquina está en funcionamiento. Esa energía debe estar disponible para arrancar el motor después que este haya sido apagado. Por ese motivo, la batería también es llamada de “batería de arranque”.

Por un lado, cuando el motor esté parado (y, por lo tanto, el alternador también), la batería debe ser capaz de suministrar una alta corriente por un tiempo limitado para arrancar el motor, lo que es especialmente crítico en bajas temperaturas. Por otro lado, cuando el motor esté funcionando sin marcha, apagado o cuando el alternador no produce energía suficiente para cubrir la necesidad de todos los consumidores, la batería debe conseguir suministrar una parte de la energía eléctrica a los otros componentes importantes del sistema eléctrico de la máquina.

La batería también absorbe los picos de voltaje del sistema eléctrico de la máquina para que ellos no dañen los componentes electrónicos sensibles [3].

2.1.2 Funcionamiento

Una batería almacena electricidad para cederla en el momento que los consumos la demanden. Transforma la energía eléctrica que recibe en energía química a partir de la reacción que se produce cuando dos materiales diferentes, como los de las placas positiva y negativa, se sumergen en el electrolito, una solución de ácido sulfúrico y agua. En una batería de plomo-ácido convencional, la tensión es de aproximadamente 2 voltios por celda, con un total de 12 voltios. La electricidad fluye desde la batería en cuanto hay un circuito conectado entre los polos positivo y negativo. Esto ocurre cuando un consumo que necesita electricidad, como la radio, se conecta a la batería.

La mayoría de la gente no es consciente de que una batería de plomo-ácido funciona llevando a cabo un proceso constante de carga y descarga. Cuando una batería se conecta a un consumo que necesita electricidad, como el motor de arranque de un automóvil, fluye corriente desde la batería. Al hacerlo, la batería comienza a descargarse. A medida que la batería se va descargando, la composición del plomo de las placas es más parecida, disminuye la densidad del ácido y como consecuencia la tensión entre bornes disminuye. Hasta que la batería está tan descargada que ya no puede suministrar electricidad a una tensión útil; una batería descargada se puede recargar volviendo a alimentarla con corriente eléctrica. La carga completa restablece la diferencia química entre las placas y deja la batería lista para proporcionar toda su energía.

Este proceso único de descarga y carga de la batería de plomo-ácido significa que la batería se puede descargar de energía y restablecer una y otra vez. La capacidad de someterse a este proceso una y otra vez es lo que se conoce como resistencia a los ciclos de una batería [4].

2.1.3 Especificaciones de una batería

Las baterías cumplen con distintas especificaciones definidas por el fabricante, esto para llevar al cliente la mejor elección, la siguiente sección entrega las características más relevantes.

2.1.3.1 Voltaje de celda

El voltaje de celda es la diferencia entre los potenciales que son generados entre las placas positivas y negativas en el electrólito. Esos potenciales dependen de los materiales de las placas, del electrólito y de su concentración. El voltaje de celda no es un valor constante, sino que depende del estado de la carga (densidad del electrólito) y de la temperatura del electrólito.

2.1.3.2 Voltaje nominal

En el caso de las baterías plomo-ácido, el voltaje (teórico) nominal de una única celda es definido en 2 voltios. El voltaje nominal de la batería como un todo resulta de la multiplicación de los voltajes de las celdas individuales por el número de celdas conectadas en serie. El voltaje nominal de las baterías de arranque es de 12 V. Los 24 V necesarios para los sistemas eléctricos de las máquinas son suministrados a través de la conexión en serie de dos baterías de 12 V.

2.1.3.3 Capacidad disponible

La capacidad es la cantidad de potencia eléctrica que la batería consigue suministrar en determinadas condiciones. Ella es el producto de la corriente y del tiempo (ampere-hora, Ah). Sin embargo, la capacidad no es un parámetro fijo. Ella depende de los siguientes factores, entre otros:

- ✚ Nivel de la corriente de descarga.
- ✚ Densidad y temperatura del electrolito.
- ✚ Proceso de descarga en función del tiempo (la capacidad es mayor cuando es hecha una pausa durante la descarga que cuando el proceso de descarga esté continuo).
- ✚ Edad de la batería (debido a la pérdida del material activo de las placas, la capacidad Ah disminuye cuando la batería se aproxima del final de su vida útil).
- ✚ Si se mueve la batería durante el uso, o si ella permanece estacionaria (estratificación del electrolito).
- ✚ La corriente de descarga desempeña un papel especialmente importante. Cuanto mayor es la corriente de descarga, menor es la capacidad disponible.

2.1.3.4 Capacidad nominal

Para poder comparar las baterías de arranque entre sí, sus capacidades nominales son definidas en una medida para la energía que puede ser almacenada por una nueva batería.

Esa capacidad depende de la cantidad del material activo usado en la batería y de la densidad del electrolito.

2.1.3.5 Desempeño de arranque en frío

Para una batería que suministra energía eléctrica al motor de arranque, la capacidad de arranque en temperaturas bajas es muy importante. La corriente de arranque en frío o los amperes de arranque en frío son la medida de su capacidad de arranque, pues ellos representan un drenaje de corriente en temperaturas bajas.

Al seleccionar la batería de arranque correcta para una máquina, la capacidad y el desempeño de arranque en frío deben estar correctos, lo que significa que la batería no debe ser demasiado pequeña. Si no, si la batería tiene el tamaño incorrecto, hay riesgo de que ella no tenga energía suficiente para dar el arranque en el motor.

El desempeño de arranque en frío es indicado en amperes. Él depende mucho del área de superficie total del material activo (número de placas, área de superficie de las placas), pues cuanto mayor sea el área de contacto entre el material de plomo y el electrolito, más alta será la corriente que puede ser suministrada por un corto período. El espaciamiento entre las placas y el material del separador son dos variables que afectan la velocidad del proceso químico del electrolito y que también determinan los amperes del arranque en frío.

2.1.3.6 Autodescarga

Todas las baterías con ácido se auto descargan, tanto si son usadas como si son almacenadas. Aunque ningún consumidor esté conectado a la batería, las reacciones químicas siguen ocurriendo, como en un circuito eléctrico interno cerrado. La autodescarga es causada por impurezas. El antimonio, usado como aleación para endurecer las rejillas de plomo, es una de esas impurezas metálicas que causa la autodescarga.

En las baterías que utilizan esta tecnología, una cantidad relativamente alta de antimonio es usada, lo que resulta en una alta tasa de autodescarga. En las baterías de arranque más modernas, el contenido de antimonio es mucho menor, pues él fue reemplazado por otras aleaciones como, por ejemplo, calcio.

Consecuentemente, la tasa de autodescarga de las baterías más modernas es inferior a 0,1 % de la capacidad de la batería por día. Además del contenido de antimonio (la tecnología de la batería), la tasa de autodescarga depende principalmente de los siguientes factores:

- ✚ **Temperatura:** Una temperatura más alta acelera los procesos químicos en la batería plomo-ácido, lo que aumenta la tasa de autodescarga.
- ✚ **Edad de la batería:** Cuanto más vieja sea la batería, mayor será la tasa de autodescarga.
- ✚ **Humedad:** Una alta humedad resulta en una tasa de autodescarga mayor. Los dos factores más importantes de autodescarga son la temperatura media de almacenamiento y la tecnología de rejillas.

Durante el proceso de autodescarga, y también durante la descarga normal, sulfato de plomo se forma en las placas positivas y negativas y se distribuye de manera fina en ellas. Pero, cuanto más tiempo la batería se deje en el estado descargado, más los finos cristales de sulfato de plomo se desarrollarán en cristales mayores y estos difícilmente podrán ser transformados otra vez en dióxido de plomo o plomo puro. Ese fenómeno se llama sulfatación y él influye negativamente en el desempeño y en la vida útil de la batería [3].

2.2 Motores diésel

El motor diésel (ver figura N° 2.2), es un motor térmico de combustión interna en el cual el encendido se logra por la temperatura elevada debido a la compresión del aire en el interior del cilindro, de acuerdo con esto se presentan las partes principales de un motor diésel [5].



Figura N° 2.2: Motor diésel.

Fuente: Motores, mantenimiento de vehículos propulsados de Santiago Sanz

2.2.1 Partes principales de un motor diésel

2.2.1.1 Bloque

El bloque es la estructura básica del motor, es donde van alojados los cilindros, cigüeñal, árbol de levas, etc. Por lo general son de fundición de hierro o aluminio, los cilindros pueden ir puestos en línea o en V, tal como se aprecian los ejemplos en la figura N° 2.3.

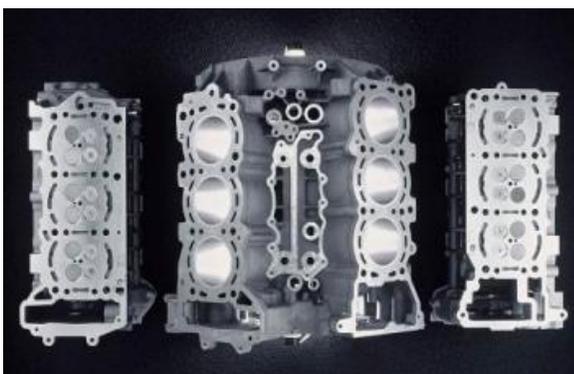


Figura N° 2.3: Ejemplo de bloque de motor.

Fuente: Motores Diesel de Salomón Consuegra Pacheco.

2.2.1.2 Cigüeñal

Este es un componente mecánico que cambia el movimiento alternativo en movimiento rotatorio. Está montado en el bloque, se puede considerar como una serie de pequeñas manivelas, una por cada pistón, tal y como se aprecia en la figura N° 2.4.

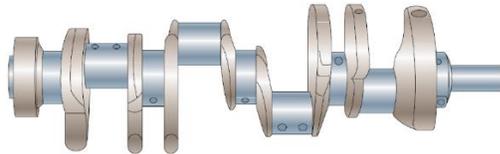


Figura N° 2.4: Cigüeñal.

Fuente: Motores, mantenimiento de vehículos propulsados de Santiago Sanz.

2.2.1.3 Culata

Es el elemento del motor que cierra los cilindros por la parte superior, sirve de soporte para otros elementos del motor como lo son: válvulas, balancines, inyectores, etc. Lleva orificios en la parte superior que son para darle apriete entre la culata y el bloque, además los de entrada de aire por las válvulas de admisión, salida de gases de escape, entrada de combustible, paso de varillas de empujadoras de árbol de balancines, pases de agua entre el bloque y la culata para refrigerar, etc. (Ver figura N° 2.5).



Figura N° 2.5: Ejemplo de culata.

Fuente: Motores.es

2.2.3 Funcionamiento del motor diésel

Las transformaciones del fluido en el interior del motor se realizan en un ciclo cerrado, utiliza aire a presión atmosférica o con mayor presión para sistemas sobrealimentado, y la inyección de un combustible líquido, el cual se enciende debido a la alta temperatura generada por la compresión del aire. El modo de funcionamiento es cuando en la carrera descendente del pistón aspira aire, el cual ingresa a una cámara, luego cuando sube comprime el aire y cuando llega al punto muerto superior se encuentra a alta temperatura, en ese momento se inyecta el combustible finamente pulverizado en la cantidad exacta, el cual a medida que ingresa, se enciende y produce la combustión, para luego expandirse y con esto realiza la carrera útil, luego en la carrera ascendente se eliminan los gases de la combustión, para volver a iniciar el ciclo [6].

Una de las tecnologías que se ha alcanzado es el sistema de inyección de motores diésel de alta presión, es de origen europeo de excelentes resultados. En la cual la inyección es controlada por un dispositivo electrónico, con el que se consigue la mayor eficiencia de combustible. Adicionalmente existen motores diésel de dos y cuatro tiempos. El ciclo de los motores de cuatro tiempos se describe de la siguiente forma [6]:

Admisión: En el ciclo de admisión, el pistón se mueve hacia abajo, aspirando aire por la abertura de la válvula de admisión, ingresándolo a la cámara de combustión, tal y como se presenta en la figura N° 2.6.

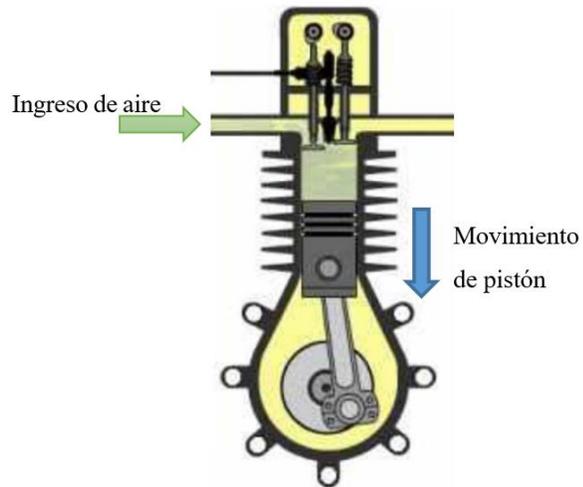


Figura N° 2.6: Ciclo de admisión en motores diésel.

Fuente: Motores Diesel de Salomón Consuegra Pacheco.

Compresión: Durante la compresión, todas las válvulas están cerradas y el pistón se mueve hacia arriba comprimiendo el aire. Acorde se comprimen las moléculas de aire aumenta la temperatura. Cuando el pistón llega a la parte superior se inyecta combustible en la cámara de combustión, y al realizar la mezcla con el aire caliente comprimido se genera la combustión, tal como se muestra en la figura N° 2.7.

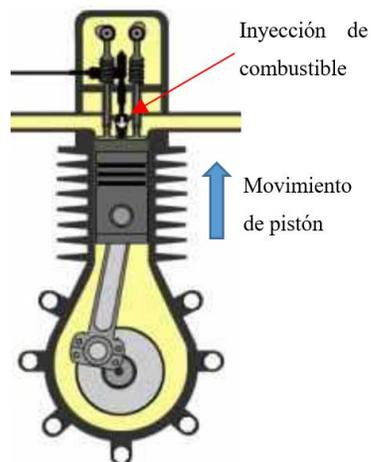


Figura N° 2.7: Ciclo de compresión en motores diésel.

Fuente: Motores Diesel de Salomón Consuegra Pacheco.

Potencia: Durante la carrera de potencia, se cierran las válvulas, luego a medida que la fuerza de combustión empuja hacia abajo el pistón y la biela, lo cual hace girar el cigüeñal, en este punto la energía térmica se convierte en energía mecánica, tal y como se muestra en la figura N° 2.8.

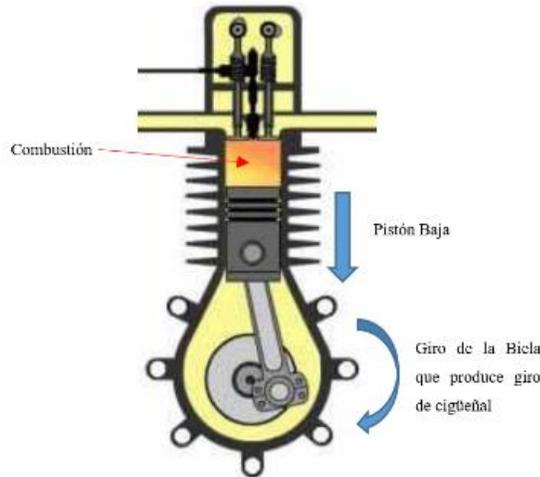


Figura N° 2.8: Ciclo de potencia en motores diésel.

Fuente: Motores Diesel de Salomón Consuegra Pacheco.

Escape: Durante la etapa de escape, la fuerza de inercia creada por la rotación del volante ayuda a que la rotación del cigüeñal empuje hacia arriba al pistón dentro del cilindro, lo cual fuerza la salida de los gases quemados por las válvulas de escape, que se encuentran abiertas, tal y como se muestra en la figura N° 2.9. Lo cual completa las cuatro carreras del pistón, las cuales se repiten de manera cíclica mientras funcione el motor.

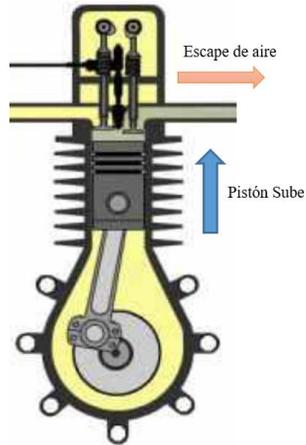


Figura N° 2.9: Ciclo de escape en motores diésel.

Fuente: Motores Diesel de Salomón Consuegra Pacheco.

2.3 Sistemas de arranque en motores Diesel

Los motores de combustión han sido siempre el claro ejemplo de búsqueda de la excelencia técnica. A través de muchas generaciones de progreso se han conseguido alcanzar niveles de eficiencia, rentabilidad y potencia utilizando diferentes sistemas. En la actualidad, nuestra vida es mucho más fácil y sencilla gracias a la combinación de sistemas como el motor de arranque. Los motores de combustión no pueden ponerse en marcha por sí solos, sino que para ello necesitan energía externa. Este proceso de arranque puede tener lugar de manera eléctrica, hidráulica o neumática. En la figura N° 2.10, se aprecia un motor de arranque del tipo eléctrico como ejemplo [7].



Figura N° 2.10: Motor de arranque.

Fuente: Manual Caterpillar.

En la mayoría de las maquinarias o vehículos se suele utilizar motores eléctricos, también llamados motores de arranque o starters. Debido a que en el proceso de arranque deben superarse grandes resistencias de roce y de compresión, el motor de excitación en serie de corriente continua es el más indicado debido a su elevado número inicial de revoluciones. Las partes principales del sistema de arranque son las siguientes [7]:

- ✚ El interruptor de encendido, que es la parte más sencilla del sistema y da paso a la corriente eléctrica a través del bombín de llave única.
- ✚ La batería, encargada de proporcionar corriente a todos los sistemas eléctricos y, por lo tanto, al motor de arranque.
- ✚ El solenoide o automático es el encargado de desplazar el piñón (por medio de la horquilla) hacia el volante de inercia y al mismo tiempo cerrar el circuito que activa el motor eléctrico.
- ✚ La horquilla es el elemento que desplaza el bendix hacia la corona dentada del motor de inercia o "bimasa".
- ✚ La tapa lateral es la pieza que une el solenoide al motor eléctrico y permite su anclado al motor.
- ✚ El motor de arranque, que es el encargado de convertir la energía eléctrica en mecánica para dar al cigüeñal el primer impulso, la primera fuerza que desencadena su funcionamiento. Es alimentado con corriente continua gracias a imanes de tamaño reducido, por lo que técnicamente funciona como cualquier otro motor eléctrico (gracias a la inducción) y se une a este a través de un piñón que acciona el volante de inercia.

Desglosando el motor de arranque encontramos el motor eléctrico, que es la base del del sistema de arranque y está formado como cualquier otro motor eléctrico sencillo, por los siguientes componentes:

- ✚ La carcasa, es la parte externa que sujeta los mecanismos internos del motor eléctrico.

- ✚ Las bobinas inductoras, cables enrollados, encargados de crear el campo magnético. Van sujetos a la carcasa.
- ✚ El inducido (o rotor) es la parte móvil del motor eléctrico conformado por el bobinado, el tambor y el colector.
- ✚ Las escobillas, son las encargadas de transmitir la energía eléctrica al inducido por medio del colector.
- ✚ El bendix (o impulsor) es la parte unida al final del motor eléctrico que traslada la fuerza hacia el volante de inercia.

2.3.1 Funcionamiento

Al arrancar el motor a través de la cerradura del encendido, se acciona el relé de arranque. Mediante el flujo de corriente en la bobina de aspiración y en la de retención se atrae el inducido. De esta manera se acciona la palanca de acoplamiento y empuja la unidad de arrastre con piñón y rueda libre contra la corona dentada del volante de inercia del motor. Si el piñón está totalmente acoplado, el puente de contacto cierra dentro del relé de arranque el circuito principal de corriente que va hasta el motor de arranque. El motor se pone en marcha y gira [8].

2.4 Alternador

El alternador de una máquina es uno de los elementos principales del circuito eléctrico. Su finalidad es transformar la energía mecánica en energía eléctrica para cargar la batería y proporcionar el suministro eléctrico necesario a la máquina cuando está en funcionamiento. Para saber cómo funciona un alternador, primero se debe conocer qué partes lo forman y que misión tienen. Las partes básicas de un alternador estándar incluyen a un rotor, estátor, puente rectificador y escobillas, además de la presencia del regulador. A continuación, se detalla cada una [9]:

- ✚ **Polea:** Es elemento que recibe, a través de una correa auxiliar, la fuerza mecánica que genera el motor de la máquina con la polea del cigüeñal. Está unida al eje del

alternador y tiene como finalidad mover el rotor que está en su interior. En los alternadores de nueva generación, existe un pequeño ventilador que los ayuda a refrigerarse y es movido a su vez por esta polea.

✚ **Rotor o inductor:** Está formado por un electroimán que produce un campo magnético fruto de la corriente que recibe desde el regulador a través de los anillos rozantes situados en el eje. Cuando este campo magnético está activo, las bobinas del estátor (parte fija del alternador) reaccionan produciendo la corriente eléctrica necesaria.

✚ **Regulador del alternador:** Como la corriente generada por el alternador varía según las revoluciones del motor, necesita de un regulador de voltaje. Si no fuese así, podría llegar hasta los 18 V o más, cuando lo que requiere la batería está normalmente entre los 13,5 V y los 14,5 V. El voltaje que permite el regulador depende de lo cargada que esté ya la batería y de la temperatura a la que esté. Es decir, que se tienen en cuenta varios parámetros para cuidar la batería adecuadamente.

✚ **Estator:** Es el elemento inducido y fijo del alternador. En él se sitúa el bobinado trifásico que permite la reacción y por tanto la corriente eléctrica. Su forma puede ser en triángulo o estrella.

✚ **Puente rectificador de diodos:** Este sistema es el encargado de transformar la corriente alterna que se crea en el alternador a corriente continua.

2.5 Mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial en los últimos años ha ido cambiando dentro de las organizaciones, esto debido al aumento de los activos físicos que deben ser mantenidos alrededor del mundo, a su vez tienen sistemas cada vez más complejos, en donde se deben aplicar nuevos métodos de mantenimiento, lo que genera cambios en las organizaciones,

con el fin de evaluar hasta qué punto las fallas pueden afectar a la seguridad, al medio ambiente, a su vez la relación entre mantenimiento y calidad del producto, para alcanzar la más alta disponibilidad de los sistemas a un bajo costo. Por lo tanto, hoy en día los gerentes buscan un cambio estratégico del modelo que se enfoque en los nuevos desarrollos y aplicarlos tanto a las necesidades de los activos como en la organización.

De estos nuevos desafíos surge la filosofía llamada Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o RCM, la cual provee cierta estructura con el fin de transformar las relaciones entre los activos existentes, quienes lo operan, y mantienen. Además, permite que nuevos activos se adapten con gran eficiencia, rapidez y precisión. Pero antes de llegar al mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), hubo varias transformaciones que se dividen en tres generaciones, estas son:

- ✚ **Primera generación:** Esta generación cubrió el periodo hasta la segunda guerra mundial, en aquellos años la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que sus detenciones de los activos no eran de mayor importancia, esto quiere decir que las áreas gerenciales no se preocupaban de la prevención de fallas, además los equipos eran simples y por lo general sobredimensionados, lo que llevaba a hacer el mantenimiento más básico, tal que solo limpieza de rutina, servicio y lubricación.

- ✚ **La segunda generación:** Fue durante la segunda guerra mundial, en donde todo cambio, debido a que la presión de la guerra, el aumento de la demanda de todo tipo de bienes y en conjunto con la disminución de la mano de obra, conllevó a un aumento en la mecanización de los procesos, hizo que la industria comenzara a depender de ellas mismas. Esta dependencia se tradujo en llamar la atención en los tiempos de parada de la máquina, y consigo una evaluación sobre cada evento de falla, las que podían y debían ser prevenidas, de esto surge el concepto de mantenimiento preventivo. Adicionalmente, el capital ligado a activos fijos, y su elevado costo, llevo a los gerentes a buscar la manera de maximizar la vida útil de ellos.

✚ **La tercera generación:** Comienza a mediados de los setenta, en donde los cambios se clasificaron en nuevas expectativas, investigaciones y técnicas.

Nuevas expectativas: Los tiempos de paradas de las maquinas afectan la capacidad de producción, aumentan los costos operacionales, y afectan el servicio final al cliente, sumado a la nueva tendencia mundial hacia los sistemas “Just In Time” o justo a tiempo, en donde se reduce la capacidad de inventario, y en donde una pequeña falla producía una detención de todo el proceso, genera una nueva dependencia a la integridad de los activos físicos, que va mucho más allá del costo, y se torna en un asunto de supervivencia de la organización, en donde adicionalmente se deben incorporar las expectativas de seguridad y cuidado ambiental.

Nuevas investigaciones: El estudio e investigaciones sobre la edad y fallas de los activos fue cambiando muchas de las creencias, en particular en la primera generación solo se pensaba que cada vez que los activos envejecían, tenían una mayor probabilidad de falla, luego en la segunda generación se introdujo la mortalidad infantil, lo que tendió a creer en la curva de la bañera, luego en la tercera generación debido a las investigaciones se encontraron 6 patrones de funcionamiento (ver la figura N° 2.11), esto lleva a realizar un análisis de las tareas de mantenimiento tradicionales, que para ciertos casos no logran ningún resultado y para otros son hasta contraproducente.

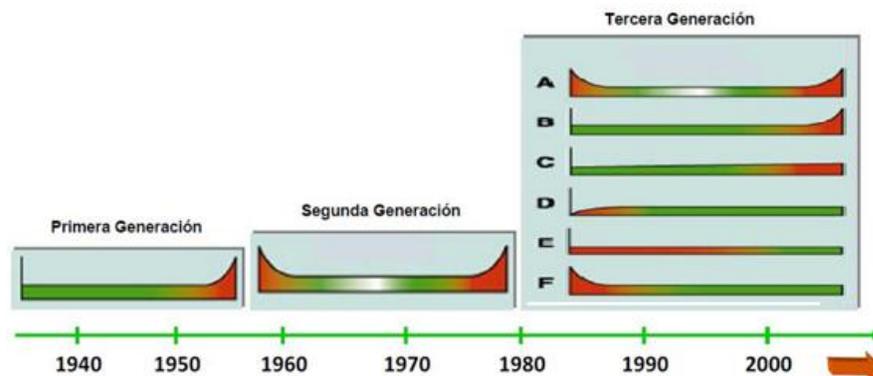


Figura N° 2.11: Investigaciones sobre comportamiento de activos.

Fuente: Confiabilidad y gestión de activos, Universidad Rafael Beloso Chacín.

Nuevas técnicas: debido al crecimiento de nuevos conceptos, surgen nuevas técnicas, y seguirán apareciendo en cuanto sigan surgiendo nuevos controles y sistemas administrativos, dentro de los nuevos desarrollos está el desarrollo de herramientas soporte para la toma de decisiones, tales como el estudio de riesgo, análisis de modos de falla y sus efectos; nuevos métodos de mantenimiento, tales como el monitoreo de condiciones y nuevos diseños de equipos enfocados en la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento. Adicionalmente el mayor desafío de las nuevas técnicas es aplicar la adecuada, tanto para los activos, como para los objetivos de la organización [10].

2.5.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Uno de los grandes desafíos sistemáticos que se produjo en la industria fue en la aviación comercial, y el elemento crucial que provocó esto, fue el darse cuenta de que debe dedicarse tanto esfuerzo a realizar las tareas correctamente como en asegurarse de que sean las tareas correctas.

Esto condujo al desarrollo de procesos de toma de decisiones comprensivos, en la aeronáutica se llamó MSNG3 y fuera de esa industria fue llamada como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Debido a que el RCM se fue volviendo fundamental en todos los campos de los esfuerzos humanos organizados, y ante la inexistencia de otra técnica comparable que pueda preservar las funciones de los activos físicos, especialmente en situaciones críticas o peligrosas, la American Society of Automotive Engineers (1999), publica la norma SAEJA1011: “Criterio de evaluación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)”.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es un proceso que puede ser utilizado para determinar las tareas o direcciones que se deben realizar, para asegurar que cualquier activo físico continúe con sus operaciones dentro de los parámetros definidos.

2.5.2 Patrones de falla

Una de las formas de pensar para mejorar la disponibilidad de los equipos es realizar mantenimiento proactivo de rutina, o como se pensaba en la segunda generación del mantenimiento que es realizar reparaciones mayores cada cierto tiempo, esto se basaba en pensar de que los activos operaban confiablemente en un tiempo determinado y luego se desgastan, este patrón de funcionamiento aplica para ciertos equipos simples pero por lo general los equipos responden a patrones de funcionamiento más complejos, tal como se aprecia en la figura N° 2.12, en primer lugar la curva A que es mayor conocida como la curva de la bañera, la que comienza con una gran cantidad de falla (mortalidad infantil), luego continua un desgaste gradual o constante (vida útil), para finalmente llegar a la zona de desgaste. En la curva B, muestra un desgaste constante para luego llegar al desgaste. Curva C, se aprecia que tiene un desgaste lento pero constante, sin tener una edad de desgaste identificable. Curva D, muestra un bajo nivel de desgaste cuando el equipo es nuevo, y luego un nivel de desgaste constante. Curva E, muestra un nivel de falla constante a todas las edades por igual. Curva F, comienza con una alta mortalidad infantil para luego continuar con un desgaste constante [10].

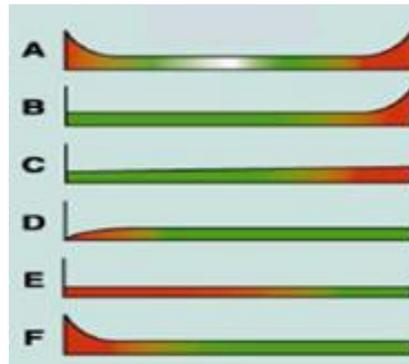


Figura N° 2.12: Curvas de falla.

Fuente: Confiabilidad y gestión de activos, Universidad Rafael Beloso Chacín.

Los descubrimientos en cuanto a curvas de falla derrumbaron muchos de los antiguos conceptos de mantenimiento, en donde se pensaba que mientras más mantenimientos se realiza, menor probabilidad tiene de fallar, esto puede dar resultado en muy pocos casos, esto debido a que puede producir que el activo puede aumentar los promedios de falla, al introducirlo a la mortalidad infantil. Esto lleva a las organizaciones a tomar otras formas de mantener sus activos.

El mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM) divide el mantenimiento proactivo en tres categorías [10]:

- ✚ Tareas de reacondicionamiento cíclicas: Se enfoca en reparar un componente antes del límite de edad sin importar la condición.
- ✚ Tareas de sustitución cíclicas: Se enfoca en cambiar un componente antes del límite de edad sin importar la condición, en conjunto con el reacondicionamiento son conocidos como mantenimiento preventivo.
- ✚ Tareas a condición: Este mantenimiento se basa en técnicas para detectar fallas potenciales, quedando la oportunidad de actuar para evitar las consecuencias que se puedan generar, dentro del mantenimiento a condición se incluye el mantenimiento predictivo, el mantenimiento basado en la condición y monitoreo de condición.

2.6 Diagramas de Pareto

El análisis de Pareto es una herramienta de análisis de calidad la cual plantea que en todo proceso productivo se da la situación de que solo unas cuantas causas posibles, generan la mayor parte de los problemas, a este principio se le llama ley de Pareto, en honor al economista Vilfredo Pareto, el cual a finales del siglo XIX realizó un análisis de los ingresos que percibía la gente era desigual, en donde concluyo que en muy pocas manos quedaba la mayor parte del dinero. Unos años más adelante M. C. Lorenz utilizó el mismo principio, pero lo uso en forma de diagrama.

Posteriormente J. M. Juran fue el primero en enfocarlo en la calidad, otorgándole el nombre de Diagramas de Pareto. Este análisis también se conoce como la ley 80-20, esto quiere decir que el 20 % de las causas originan el 80 % de los fenómenos. Esta herramienta se aplica para diagnosticar las causas vitales para los problemas de producción, esto quiere decir, que para mejorar la calidad de estas pocas causas vitales se resuelven la mayoría de los problemas [11].

2.7 Jack Knife

Es un método de análisis que corresponde a un estudio de distintas variables involucradas que coinciden en modos de falla, tales como pueden ser: frecuencia de ocurrencia, tiempo fuera de servicio (MTTR), entre otros. En si este método de análisis es un diagrama de dos o más dimensiones dependiendo de la cantidad de variables de estudio.

Por ejemplo, en la figura N° 2.13 se aprecia un diagrama en donde se trabaja con numero de falla y tiempo medio de reparación (MTTR), en donde se trazan líneas de referencia del promedio de ambas variables con lo cual se generan cuatro cuadrantes.

En el primer cuadrante del lado izquierdo se encuentra los modos de falla agudos los cuales son los que tienen un tiempo de reparación mayor al promedio, luego en el cuarto cuadrante o inferior derecho, se encuentran los crónicos son los que poseen un numero de fallas mayor al promedio, luego en la parte derecha superior, se encuentran los modos de falla agudo-crónico, y cumplen con las características de ambos mencionados anteriormente. Acorde a la ubicación en la que se encuentre el modo de falla nos indicara que tan crítica o aguda es, por lo tanto, podremos saber sobre qué sistema o equipo dar mayor énfasis de mejora [12].

Adicionalmente se aplican líneas de isoindisponibilidad, con el fin de obtener una referencia de acuerdo con las metas de la organización y de los datos analizados.

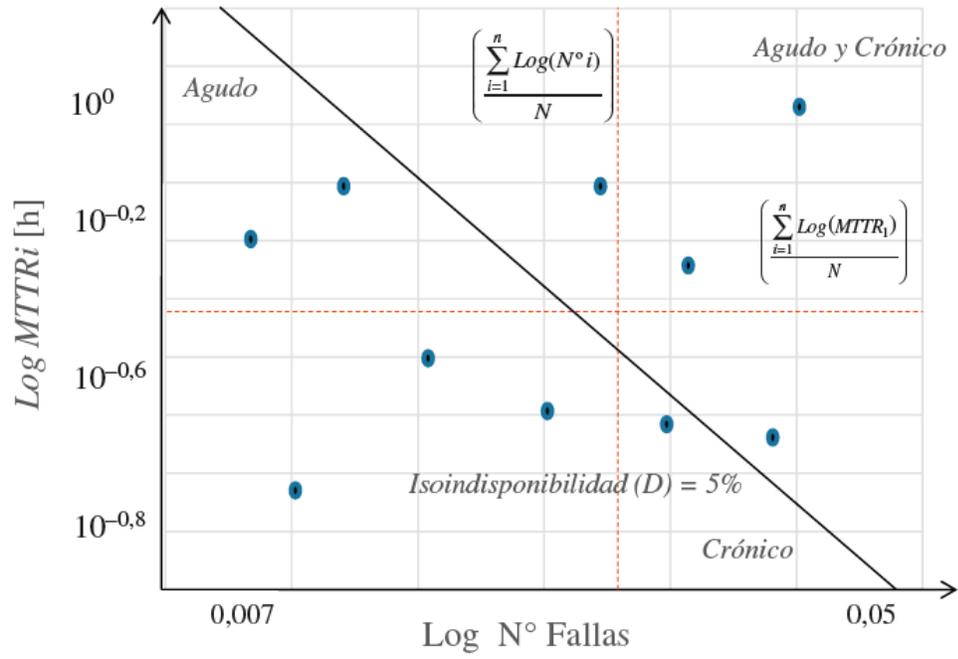


Figura N° 2.13: Representación gráfica de dispersión Jack-Knife.

Fuente: Revista chilena de ingeniería (2013).

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DE PERFORADORAS PIT-VIPER 351D

La perforadora diésel Pit Viper 351 (ver la figura N° 3.1), de Atlas Copco Drilling solutions es un perforador de agujeros, de dirección de cabeza superior, instalado en una oruga, que está diseñado para una perforación giratoria de agujeros de 10 5/8” a 16” (270 mm a 406,4 mm) de diámetro con profundidades de 65 pies (19,8 m) en paso simple. Un carrusel estándar, que sostiene dos varillas adicionales de 35 pies (10,66 m), incrementa la capacidad de profundidad a bordo a 135 pies (41,15 m). El peso total de la máquina es de aproximadamente 380.000 libras (115.824 kg). Las funciones de perforación reciben alimentación hidráulica y utilizan aire comprimido para limpiar el agujero.

La perforadora utiliza un motor diésel conectado directamente a una caja de engranajes de dirección de bomba hidráulica en un extremo y el compresor de aire conectado directamente al otro extremo. La caja de cambios de dirección de la bomba, el motor diésel y el compresor de aire están montados sobre un “generador flotante”. Éste es un marco independiente que fortalece el marco principal y “flota” para mantener la alineación adecuada del sistema de transmisión. Los sistemas que soportan las funciones de perforación y propulsión del perforador están controlados por componentes neumáticos, hidráulicos y eléctricos.

Adicionalmente incorpora cuatro gatos de nivelación para mantener el perforador a nivel y estable mientras se está perforando. La torre está construida con tubería de acero soldado. Un cambiador de varilla perforadora tipo carrusel se encuentra instalado en la torre y sostiene dos piezas de 35 pies (10,67 m) de largo. Dos cilindros hidráulicos bajan y suben la torre [13].



Figura N° 3.1: Perforadora Pit-Viper 351d.

Fuente: Propia.

3.1 Sistema de propulsión y carrocería

Esta perforadora utiliza una carrocería del tipo excavadora dirigida directamente por un sistema de engranaje del planetario y dos motores hidráulicos. Una horquilla de oscilación de “viga en movimiento” permite que el perforador se propulse sobre un terreno disparejo con menos torsión en el marco principal.

Pueden ser dos tipos de propulsiones, en donde se encuentra la excavadora de Caterpillar 375 personalizada y la excavadora Altas Copco F360. La longitud de la oruga es de 8.12 m y la longitud de contacto con tierra de la oruga es de 6.95 m. Utiliza dos motores de propulsión que son hidráulicos de desplazamiento fijo, con pistón axial. Y el rango de velocidad de propulsión es de 1.77 km/h y los frenos son tipo placa, resorte aplicado liberado hidráulicamente [13].

3.2 Torre, carrusel y varilla

La torre está construida de acero tubular soldado con abrazaderas cruzadas en ambos lados y en la parte trasera. Un grupo de poleas en la parte superior e inferior sostienen los cables de alimentación. El ensamble de la torre cuenta con una cabeza giratoria conducida por hidrostática y sistema de alimentación hidráulica. El sistema de alimentación consiste de la cabeza giratoria, dos cilindros de alimentación hidráulica y un cable de alimentación conectado a las placas de montaje que están conectadas a la envolvente de la cabeza giratoria. (Ver la figura N° 3.2).



Figura N° 3.2: Ubicación de componentes principales en torre.

Fuente: Manual Atlas Copco.

La torre está diseñada para sostener la cabeza giratoria mientras sube y baja la tubería de perforación. Ésta está construida para soportar el torque que ejerce la cabeza giratoria durante la operación de perforación.

El cambio de la varilla perforadora se lleva a cabo desde la silla del operador. Se utiliza una llave de horquilla deslizante colocada hidráulicamente para interrumpir la junta con impacto limitado que minimiza las cargas por impacto en la torre, carrusel, cabeza giratoria y componentes de alimentación.

El carrusel sostiene dos piezas de la varilla perforadora de 10.67 m. Dos cilindros hidráulicos ocasionan oscilación en el cambiador de varillas hacia adentro y afuera de la posición de carga debajo de la cabeza giratoria. Un cilindro hidráulico hace girar el carrusel para indexar el tubo de perforación debajo de la cabeza giratoria para cambiarla [13].

3.3 Cabeza giratoria

La cabeza giratoria (ver la figura N° 3.3), se utiliza para girar la broca, agregar y retirar la varilla perforadora de la tubería de perforación. La tubería de perforación está conectada directamente a la cabeza giratoria y toda la presión de rotación y alimentación se ejerce a través de la cabeza giratoria.

Dos motores hidráulicos de pistón axial de desplazamiento variable activan la rotación de la cabeza giratoria. La pantalla de perforación, ubicada en la pantalla de la computadora central ubicada en la cabina del operador, mostrara la cantidad de presión hidráulica que se aplica a los motores de giro en forma de velocidad de rotación, que puede ser desde 0 hasta 160 RPM.

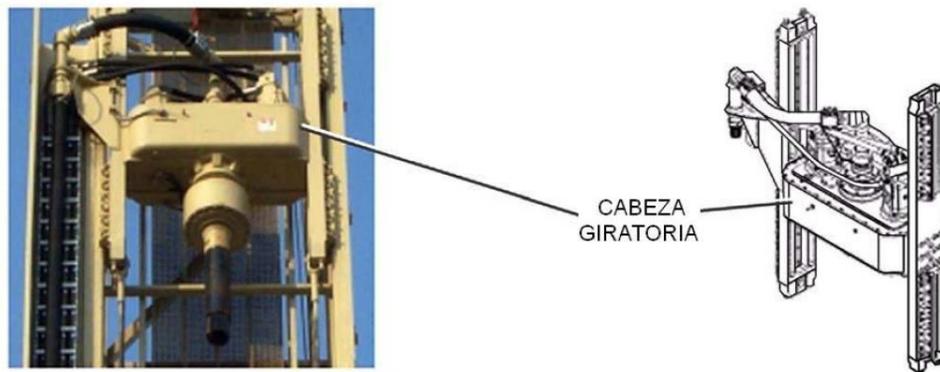


Figura N° 3.3: Cabeza giratoria.

Fuente: Manual Atlas Copco.

El torque máximo de la cabeza giratoria es de 25,76 Nm a condiciones de 95 RPM a un 100 % de eficiencia, y 14,23 Nm a condiciones de 170 RPM a 100 % de eficiencia [13].

3.4 Sistema de alimentación

El sistema de alimentación hidrostático de argolla cerrada está alimentado por dos cilindros de alimentación hidráulica que elevan y abajan la cabeza giratoria suave y positivamente por medio de un cable de trabajo pesado para penetrar y retraer.

El recorrido de la cabeza giratoria es de 23,44 m, con una profundidad máxima del agujero de 19,8 m en paso simple. Un carrusel estándar, que sostiene dos barras adicionales de 10,66 m, lo que incrementa la capacidad de profundidad a 41,2 m.

El mecanismo de funcionamiento consta de un cable de alimentación y cilindro hidráulico de varilla y pistón dobles, tiene cuatro poleas de penetración de 66 cm y seis poleas de retracción de 60,69 cm de diámetro. La velocidad de alimentación es de 20,67 m/min y una velocidad de retracción de 42,67 m/min [13].

3.5 Compresor de aire

Los compresores de aire que se utilizan en las perforadoras PV351 son de diseño de tornillo giratorio asimétrico sumergido en aceite. Los bujes de rodillo cónico se utilizan para manejar cargas radiales y axiales. El equipo estándar para el compresor del aire incluye depuradores de aire separados en tres etapas de instrumentación y controles completos. El sistema de lubricación incluye un enfriador de aceite, válvula de desviación, filtro de aceite, bomba de aceite y receptor de aire de combinación y tanque separador de aceite. Se proporciona un sistema de apagado de seguridad para una descarga alta de la temperatura del aire.

El volumen es de 3000 CFM condicionado a 110 PSI, el tipo de buje es de rodillo cónico, en el momento en que los filtros de aire requieran servicio de limpieza, el tipo de aceite a utilizar es el DRILLCare LP-150, Su velocidad operacional es de 1475 RPM y su fuente de poder es directamente impulsado por un motor diésel [13].

3.6 Sistema hidráulico

Todas las funciones de perforación y propulsión se activan hidráulicamente. El sistema hidráulico consiste en un depósito hidráulico de 360 galones (1360,8 litros), bombas hidráulicas instaladas en una caja de engranajes de dirección de la bomba y varias válvulas, cilindros, tubos, mangueras y filtros. Un enfriador de aceite hidráulico asegura temperaturas bajas del aceite para maximizar la eficiencia del sistema y la vida del componente.

Las cinco bombas hidráulicas están instaladas para obtener un acceso conveniente para el servicio de una caja de engranajes de dirección de la bomba dirigida hacia afuera del motor diésel a través de un eje de transmisión y una configuración de acoplamiento, tal como se aprecia en la figura N° 3.4 [13].

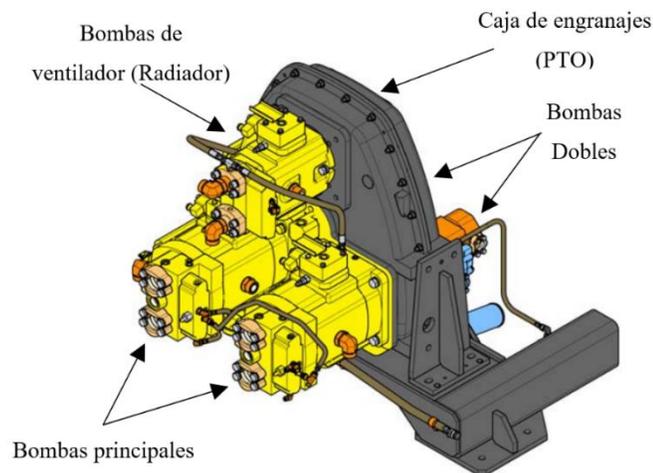


Figura N° 3.4: Caja de transferencia (PTO) y Bombas.

Fuente: Manual Atlas Copco, Perforadoras Pit-Viper 351d.

3.6.1 Característica de bombas principales

Las dos bombas principales suministran potencia hidráulica a cualquiera de las funciones de perforación (rotación y alimentación del perforador) o funciones de tramo (propulsión), estas son dos bombas de presión compensada, desplazamiento variable, pistón axial con un desplazamiento de $14 \text{ pulg}^3/\text{rev}$ (125 GPM a condiciones de 2034 RPM). Las características de las bombas auxiliares son las siguientes [13]:

- ✚ **Bomba del ventilador:** suministra aceite a los motores del ventilador de los radiadores, esta bomba es de presión compensada, desplazamiento variable, pistón axial su desplazamiento es de $7,25 \text{ pulg}^3/\text{rev}$.

- ✚ **Bomba doble del lado cabina:** es de desplazamiento fijo de paleta de dos secciones que son la P1 y la P2. La sección P1 es de $4,29 \text{ pulg}^3/\text{rev}$, suministra aceite a la válvula de 7 carretes, el cual sirve para hacer funcionar el motor del montacargas, cilindros de gatos de nivelación y motor inyección de agua; La sección P2 es de $2,81 \text{ pulg}^3/\text{rev}$ (25.1 GPMT condicionado a 2034 RPM), y suministra aceite a la válvula de 6 carretes para los Cilindros de la cortina de polvo, cilindros de elevación de la torre, cilindro cambiador de varillas, cilindro de soporte de varillas y cilindros de giro de la llave de interrupción; también alimenta al banco de 9 carretes, alimentando a los Cilindros de horquilla de interrupción, cilindro de soporte de la torre, cilindro de soporte de del perforador en ángulo y cilindro de indexación.

- ✚ **Bomba doble del lado opuesto de la cabina:** al igual que la bomba doble del lado cabina es una de desplazamiento fijo de paleta y tiene también dos secciones P1 y P2. La sección P1 es de $4,29 \text{ pulg}^3/\text{rev}$ (38,3 GPMT condicionado a 2034 RPM) y suministra aceite a la válvula de 7 carretes para hacer funcionar el motor del montacargas, motor presurizador, cilindros del gato nivelador y el motor inyección de agua. La sección P2 es de $1,61 \text{ pulg}^3/\text{rev}$ (14,4 GPMT condicionado a 2034 RPM) y suministra aceite a los cilindros de tensión de la pista, al motor del sistema de lubricación de inyección y a la válvula de control de propulsión/perforación.

3.6.2 Característica de motores hidráulicos

En la tabla N° 3.1 se puede apreciar los motores con una breve descripción a modo de resumen de cada uno, con su función principal [13].

Tabla N° 3.1: Motores hidráulicos.

Motores hidráulicos	Características
Cabeza giratoria	Son dos motores de desplazamiento variable, de pistón axial. Y su desplazamiento es de 14 pulg ³ /rev.
Propulsión	Son dos motores de desplazamiento variable, pistón axial. Su desplazamiento es de 15.26 pulg ³ /rev, dando una velocidad de propulsión de 1.77 Km/hr.
Ventilador del radiador	Es un motor de desplazamiento fijo de 6 pulg ³ / rev, de 0 a 1200 RPM y como su nombre lo indica su función es ser el ventilador del radiador
Ventilador COC/HOC	Tiene las mismas características que el motor de ventilador radiador con la diferencia en que su función es que el COC es el enfriador del aceite del compresor y el HOC es el enfriador del aceite del hidráulico
Montacargas	Es un motor de desplazamiento fijo de 3.9 pulg ³ /rev y su función es facilitar el manejo de la varilla.
Inyección de agua	Es un motor de desplazamiento fijo de 6.2 pulg ³ /rev, 25 GPM, y su función es impulsar la bomba de inyección de agua.
Colector de polvo	Es un motor de desplazamiento fijo de 2.84 pulg ³ /rev, 3000 RPM y su función es impulsar el ventilador de colector de polvo
Aire acondicionado de A/C	Un motor de desplazamiento fijo de 1.49 ³ /rev, y su función es impulsar el compresor de aire acondicionado.
Tensor inferior	Son dos motores de desplazamiento fijo de 15 pulg ³ /rev y su función es mantener la tensión de los cables de alimentación.
Carrete del cable	Es un motor de desplazamiento fijo de 24 pulg ³ /rev y su función es hacer girar el carrete del cable.

Fuente: Propia.

3.7 Sistema RCS

El sistema RCS de Atlas Copco es un sistema computarizado de control que controla y supervisa la perforadora, de acuerdo con sus siglas significa Rig Control System que significa sistema de control de equipos, este sistema cumple con los siguientes usos:

- ✚ Comprobar y revisar los parámetros esenciales y necesarios.
- ✚ Transmitir la información necesaria al operador.
- ✚ Ejecutar órdenes dadas desde el panel de operación.

Este sistema de control de equipos es usado en otras perforadoras de Atlas Copco como lo son las perforadoras PV230, PV271 y PV351, además este sistema proporciona una interfaz gráfica de usuario (GUI) que muestra las presiones hidráulicas y neumáticas, en un normal funcionamiento cuando son usados por el operador durante la perforación para pozos de tronadura. Esta pantalla entrega una interfaz de operación conveniente, ya que todo se maneja de acuerdo con señales que se muestran en pantalla, anteriormente estas eran medidas por manómetros lo que ingresaba mangueras, suciedad, fugas, calentamiento y ruido en la cabina.

Los dispositivos conectados y controlados por el RCS CAN son típicamente sensores, actuadores (válvulas) y dispositivos de control como interruptores o bobinas. El mensaje del bus CAN no alcanza directamente a estos componentes directamente, pero en su lugar llegan módulos I/O que es puesto entre los dispositivos y el BUS. Los módulos I/O interpretan el dato del sensor y responde como corresponde.

Debido a que el sistema CAN es una comunicación serial o sea que solo puede enviar un bit a la vez, esto quiere decir que si un solo modulo está comunicando libre de tráfico puede comenzar a transmitir el mensaje, pero si dos o más módulos son los que quieren

iniciar una comunicación, el mensaje con mayor prioridad (basados en códigos), toma el primer lugar.

Cada módulo I/O tiene un procesador el cual decide que mensaje recibe y que mensaje transmitir, cada nodo está conectado por cables CAN, y cada actuador o sensor está conectado por cables de señal.

Para un mejor entendimiento se debe tener en cuenta que el sistema de control de equipos está diseñado por versiones de las cuales se tiene conocimiento de la versión RCS 3 y RCS 4, para lo cual la computadora central es otra, debido a esto cambian muchos componentes del sistema y programas del sistema [13].

3.7.1 Comunicación CAN

En el sistema CAN se utiliza un control de dos cables, uno es considerado CAN HI y el otro CAN LOW estos se toman como señales digitales en donde:

Lógica 1: CAN LOW 0 Voltios y el CAN HI a 5 Voltios

Lógica 0: CAN LOW 2.5 Voltios y el CAN HI a 2.5 Voltios

En el sistema CAN, la capacidad de información es de 1 Mbit/s, adicionalmente trabaja a través de nodos, en el caso del sistema RCS los nodos se llaman [13]:

- ✚ Computador Central.
- ✚ Modulo I/O.
- ✚ ECM del motor.
- ✚ CCI.
- ✚ MC2.
- ✚ MU (control remoto).
- ✚ Decodificadores de la cabina de control.

Estos nodos están conectados en serie, ya que como se dijo antes el sistema de comunicación CAN es un sistema de comunicación en serie, pero esta serie es particularmente diferente a los sistemas comunes ya que no cierran el circuito, sino que continúan infinitamente en busca de nodos, pero debe existir algún componente que cierre esta serie y lo hace una resistencia al final de cada extremo, estas resistencias son 120 Ω cada una.

En la figura N° 3.5 se puede apreciar el circuito en serie y donde se encuentran las resistencias, las cuales, de no existir, el procesador como tal, asimilaría que existen más módulos, lo que generaría un error de comunicaciones entre módulos [13].

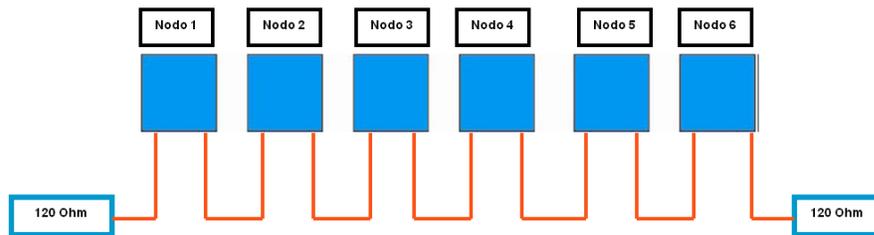


Figura N° 3.5: Sistemas de comunicación CAN.

Fuente: Manual Atlas Copco, Perforadoras Pit-Viper 351d.

3.7.1.1 Computador central

Este computador central se encuentra en la cabina del operador, y es quien procesa los datos en la serie de los nodos y comunica otros elementos del sistema como lo son la CCI, la Machine Unit, antenas GPS, entre otros. Además, aquí se encuentra el display o pantalla del operador, por lo tanto, este es un elemento crítico, ya que sin él la perforadora no cumple su función. El computador central utiliza el sistema operativo FreeDOS, este es un sistema operativo libre y compatible con todas las aplicaciones y controladores de MS-DOS.

3.7.1.2 Módulos I/O

Estos módulos I/O tienen en su interior un pequeño procesador que entrega y recibe información para los distintos componentes a los cuales se les envía información, como por ejemplo los sensores de presión, sensores de nivel, entradas digitales, salidas análogas, encoder, etc. Se debe tener en cuenta que la información que se envía es en serie, por lo que, solo se puede enviar y recibir un bit a la vez, por lo cual se dan prioridades a la hora de clasificar la información lo cual lo realiza cada procesador de cada módulo o computador.

Estos módulos I/O tienen un total de 25 conectores enumerados desde el X1 al X25, para una explicación más completa sobre estos modulo se puede apreciar la figura N° 3.6 en donde se puede observar la especificación de las diferentes entradas y salidas que tienen estos módulos [13].

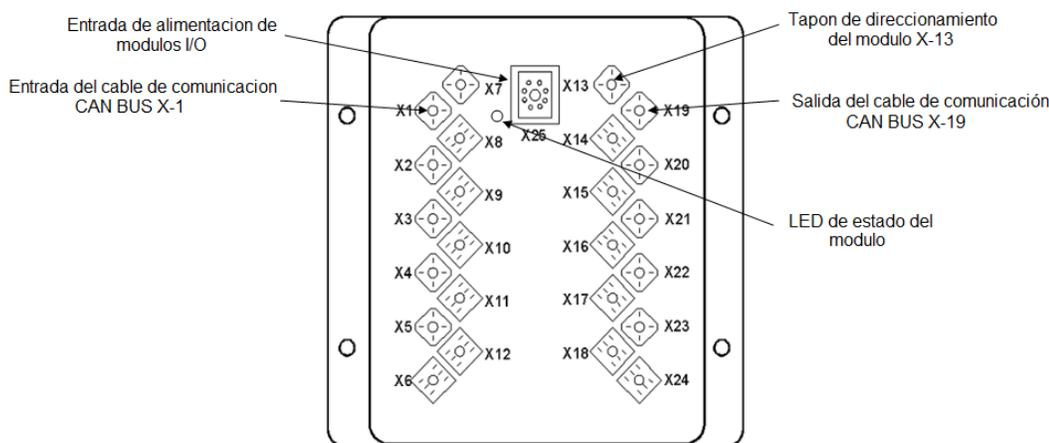


Figura N° 3.6: Modulo I/O con descripción de conectores.

Fuente: Manual Atlas Copco, Perforadoras Pit-Viper 351d.

Entrada de alimentación de los módulos (X25): Este conector es ligeramente más grande que los otros conectores, este cable es utilizado para el suministro de voltaje de los módulos.

Tapón de direccionamiento: Este tapón está ubicado siempre en el conector X-13 y este tapón es el que guía al programa para identificar cada módulo y no debe ser cambiado de un módulo a otro. Este tapón se muestra en la figura N° 3.7.

LED de estado del módulo: Este LED se ubica al lado de la entrada de suministro X-25 y entrega la siguiente información:

- ✚ 1 destello = Funcionamiento Normal.
- ✚ 2 destellos = Carga o inicio del módulo.
- ✚ Destellos = CAN error, no hay comunicación.

Entrada de cable de comunicación CAN BUS X-1: Este cable es la entrada, que viene desde una salida X-19 de otro modulo. El conector tiene el nombre CAN IN.

Salida de cable de comunicación CAN BUS X-19: Este cable es de salida del módulo y conecta al siguiente modulo en X-1. El conector tiene el nombre de CAN OUT.

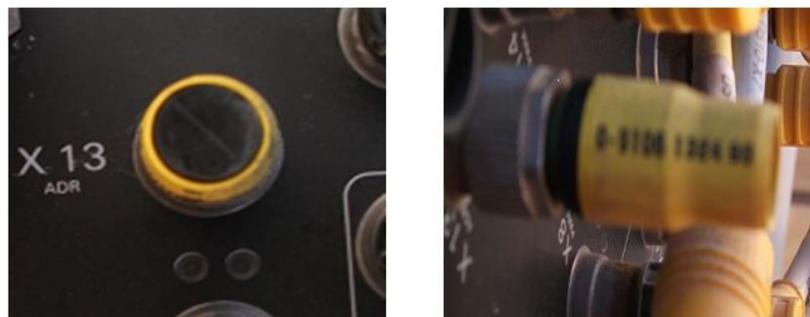


Figura N° 3.7: Tapón de direccionamiento X13.

Fuente: Manual Atlas Copco, Perforadoras Pit-Viper 351d.

Entradas y salidas: Además de las ya mencionadas entradas, salidas CAN y alimentación, tenemos otras entradas y salidas las cuales son las de sensores y actuadores, que dependiendo del módulo al que este conectadas tendrán su función específica.

3.7.1.3 CCI

Este es un módulo opcional de este modelo de perforadoras y tiene la función de comunicar el equipo con el controlador de la minera, este es IREDES y es compatible con Jigsaw, Wenco, Modular y Minestar [13]. (ver la figura N° 3.8).



Figura N° 3.8: CCI.

Fuente Propia.

3.7.1.4 MC2

La MC2 (ver la figura N° 3.9) es el controlador para el compresor de aire, el cual dentro del sistema de comunicaciones en la misma serie que el ECM la cual es la CAN 1, también se debe tener en cuenta que a través de este controlador se comunican los sensores y actuadores de este sistema [13].



Figura N° 3.9: Controlador electrónico del compresor de aire (MC2).

Fuente: Manual Atlas Copco, Perforadoras Pit-Viper 351d

3.7.1.5 Decodificadores de la cabina del operador

Estos decodificadores son los Joystick que son los controles del operador, estos controles del operador están claramente especificados en los paneles, dando con figuras o letras la función de cada botón y joystick.

Estos Joystick tiene un cable de comunicación diferente al usado en los demás componentes, ya que en los anteriores era el CAN OPEN, para estos decodificadores es el RCS CAN, lo cual puede generar confusiones de parte del personal a cargo de la mantención o de la reparación de fallas. En la figura N° 3.10 se observa la diferencia de los pines, para la conexión de estos módulos [13].

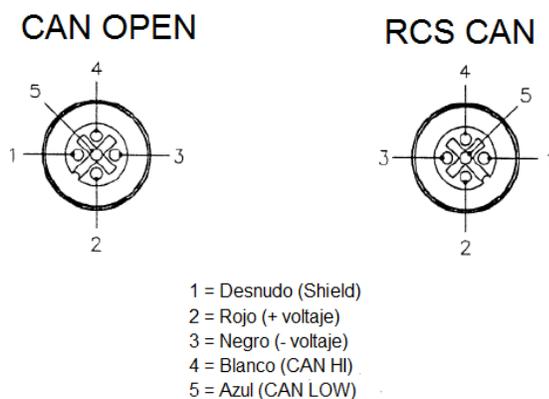


Figura N° 3.10: Conectores de comunicación de decodificadores.

Fuente: Sistema RCS de Atlas Copco

3.7.1.6 Pantalla GUI

Esta pantalla GUI (Interfaz gráfica de usuario), es la pantalla de la computadora que monitorea todas las presiones hidráulicas y neumáticas que utiliza el operador normalmente, desde el punto de vista del operador esto elimina la necesidad de utilizar válvulas y mangueras hidráulicas, reduce las áreas de contaminación por suciedad, elimina las fugas de aceite, calor, ruido de las válvulas hidráulicas dentro de la cabina.

Esta pantalla (ver la figura N° 3.11), cuenta con cinco botones al lado de la pantalla. Cuatro están marcados desde el F1 al F4, estos botones son teclas abreviadas que conducen hacia pantallas que contienen información de uso frecuente. También se utiliza para llevar a la pantalla de trabajo adecuada, por ejemplo, al presionar F1 desde la pantalla principal mientras está en el modo de perforación despliega la pantalla de trabajo de perforación.

Los seis botones que se encuentran en la parte inferior de la pantalla de visualización se utilizan para navegar entre los campos de la pantalla y el acceso de la contraseña, el botón ubicado en el extremo izquierdo es el Escape. Los botones de navegación para el movimiento del cursor son las flechas (izquierda, derecha, arriba y abajo) y el botón Intro que se encuentra en el extremo derecho [13].

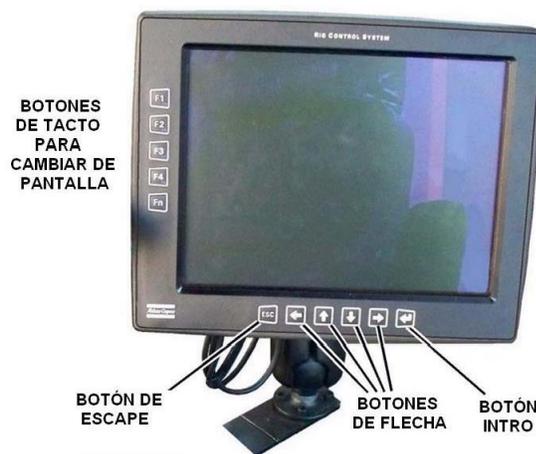


Figura N° 3.11: Pantalla GUI.

Fuente: Manual de Atlas Copco

Esta es una pantalla con touch, lo cual es útil para que el operador tenga un mejor manejo de esta perforadora. Al encender la máquina se inicia con la pantalla M.1, en donde se encuentra la opción de escoger idioma, y el tipo de usuario que ingresara al sistema (hombre con casco), en donde se puede ingresar con las siguientes opciones [13]:

- ✚ **Operador:** Esta es una opción la cual está por defecto en donde solo se puede apreciar los módulos y los joysticks ingresando a sistema (System).

- ✚ **Mantenedor:** En esta opción se tiene acceso a más funciones o parámetros en los cuales solo el equipo encargado de la mantención puede tener acceso con una clave entregada por Atlas Copco.

- ✚ **Servicio técnico:** Esta clave está destinada para el personal de técnicos de Atlas Copco cuando se necesita realizare modificaciones.

- ✚ **Fábrica:** Esta clave esta diseñadas para los fabricantes de Atlas Copco.

Se debe tener en cuenta que en las tres últimas opciones de acceso son casi sin limitaciones, por lo cual solo está destinada a personas con vasta experiencia en estos equipos en el cual en caso de extremas modificaciones puedan realizar cambios.

3.8 Generador Diesel

El generador (o sistema de transmisión) consta de un motor diésel directamente conectado a un compresor de aire en un extremo y a la dirección de la bomba hidráulica en el otro extremo. Este ensamble completo del generador está instalado en su propia base secundaria, la cual está a su vez instalada sobre el marco del equipo. La configuración del tren en línea maximiza la eficiencia mecánica. La base secundaria “flotante”, separada aísla los componentes de las cargas por impacto de propulsión y de perforación y ayuda a mantener la alineación de éstos. La perforadora cuenta con un motor Cat 3512, 1650 HP/1800 RPM, el cual se puede ver en la figura N° 3.12.



Figura N° 3.12: Motor diésel Caterpillar 3512.

Fuente: Propia.

3.8.1 ECM

El funcionamiento de estos motores es el funcionamiento básico de un motor diésel con la diferencia que estos motores tienen un controlador electrónico el cual es el Caterpillar ECM lo que significa Electronic Control Module, o en español Módulo de Control electrónico, el cual está encargado de controlar las señales recibidas y actuadores del motor. Adicionalmente este dispositivo está dentro de la red de comunicación CAN, y se encuentra en serie con la MC2 y en el X2 del computador central por el can 1 [13].

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

4.1 Calculo de Confiabilidad

Con el fin de realizar un análisis de confiabilidad del equipo R30 (US080194) Pit-Viper 351d en Compañía contractual Minera Candelaria (ver la figura N° 4.1), se debe realizar un análisis de los eventos de falla, para luego obtener los tiempos de operación entre cada una, y con estos datos concluir si cumplen con los criterios para los análisis estadísticos necesarios para saber en qué etapa de la curva de confiabilidad se encuentra.

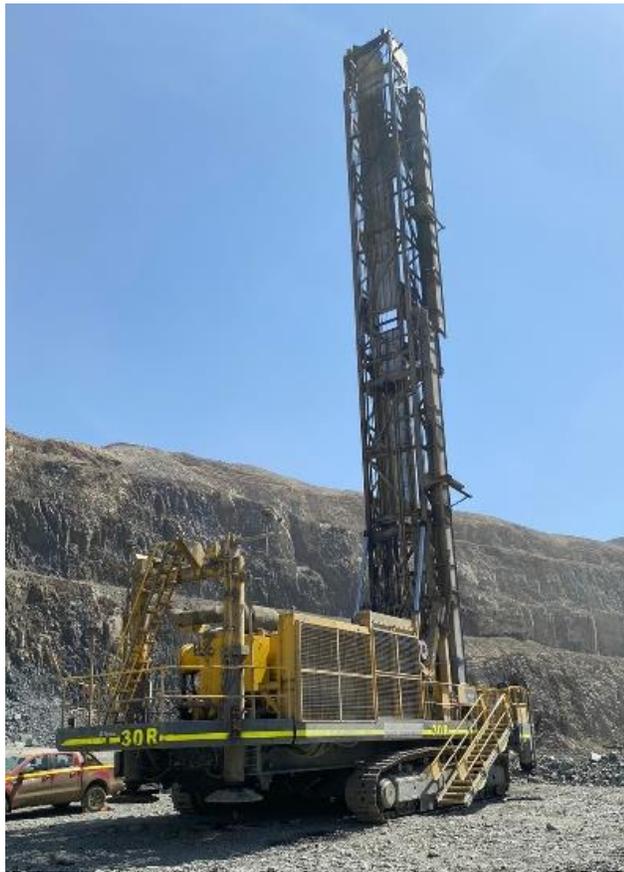


Figura N° 4.1: Perforadora Pit-Viper 351d R30 (US080194).
Fuente: Propia.

4.1.1 Tiempos de operación

La tabla N° 4.1 presenta una muestra de los eventos que se produjeron en la perforadora R30 (US080194), cabe destacar que el total de los eventos van desde el 14 de diciembre del 2018 al 03 de marzo del 2021, los datos fueron obtenidos a través de una planilla generada en la compañía que recolecta información a través de la torre de control (Dispatch) y de la información de los jefes de turno, en el anexo N° 1 se encuentra la totalidad de los eventos.

Tabla N° 4.1: Muestra de datos de tiempos de operación de perforadora R30.

Fecha de inicio	Hora de Inicio	Fecha de Termino	Hora de termino	Duración de evento	Especialidad	Modo Falla	Tiempo operación
14-12-2018	0:00:00	14-12-2018	0:00:00				
14-12-2018	8:28:00	14-12-2018	9:13:00	0,750	MECANICO	TORRE	8,5
17-12-2018	9:07:00	17-12-2018	9:39:00	0,533	INSTRUMENTACION	COMUNICACION	48,1
19-12-2018	5:28:00	22-12-2018	5:35:00	72,350	MECANICO	TORRE	28,2
27-12-2018	10:26:00	27-12-2018	12:49:00	2,383	MECANICO	TORRE	124,9
27-12-2018	13:11:00	27-12-2018	13:45:00	0,567	ELECTRICO	SENSOR	0,4
29-12-2018	14:44:00	29-12-2018	16:38:00	1,900	MECANICO	TORRE	49,0
05-01-2019	0:03:00	05-01-2019	4:10:00	4,117	MECANICO	TORRE	160,6
05-01-2019	7:07:00	05-01-2019	7:36:00	0,483	MECANICO	TORRE	3,0
05-01-2019	22:40:00	05-01-2019	22:56:00	0,267	ELECTRICO	ELECTRICO	15,1
06-01-2019	18:37:00	06-01-2019	20:00:00	1,383	MECANICO	INY AGUA	4,3
07-01-2019	20:44:00	07-01-2019	22:07:00	1,383	MECANICO	INY AGUA	24,7
15-01-2019	9:33:00	15-01-2019	10:05:00	0,533	MECANICO	hidráulico	180,6
27-01-2019	17:12:00	27-01-2019	18:56:00	1,733	MECANICO	TORRE	295,1
28-01-2019	16:10:00	28-01-2019	20:00:00	3,833	MECANICO	INY AGUA	2,8
29-01-2019	21:00:00	29-01-2019	22:31:00	1,517	MECANICO	INY AGUA	25,0
04-02-2019	20:30:00	04-02-2019	21:50:00	1,333	MECANICO	INY AGUA	122,0
07-02-2019	8:13:00	07-02-2019	11:22:00	3,150	MECANICO	INY AGUA	61,6
08-02-2019	21:39:00	09-02-2019	1:45:00	4,100	MECANICO	TORRE	34,3
14-02-2019	8:19:00	14-02-2019	9:12:00	0,883	MECANICO	LUBRICACION	126,6

Fuente: Propia.

4.1.2 Prueba de aleatoriedad

Los datos fueron recolectados a través de la información recolectada en la torre de control de la mina (Dispatch), y de los informes de jefes de turno, en donde cada evento es variable en el tiempo, esto quiere decir que los valores de tiempos de operación no se pueden predecir, ni estimarse de forma exacta.

4.1.3 Prueba de tendencia

La figura N° 4.2 presenta la prueba de tendencia en la cual se observa un gráfico de dispersión, y en donde se obtiene un coeficiente de correlación (R^2), el cual arroja como resultado 0.0008, este dato indica que el valor es cercano a 0, por lo tanto, los datos, no tienen una tendencia, en conclusión, los datos pasan la prueba para aplicar un modelo de distribución de probabilidad.

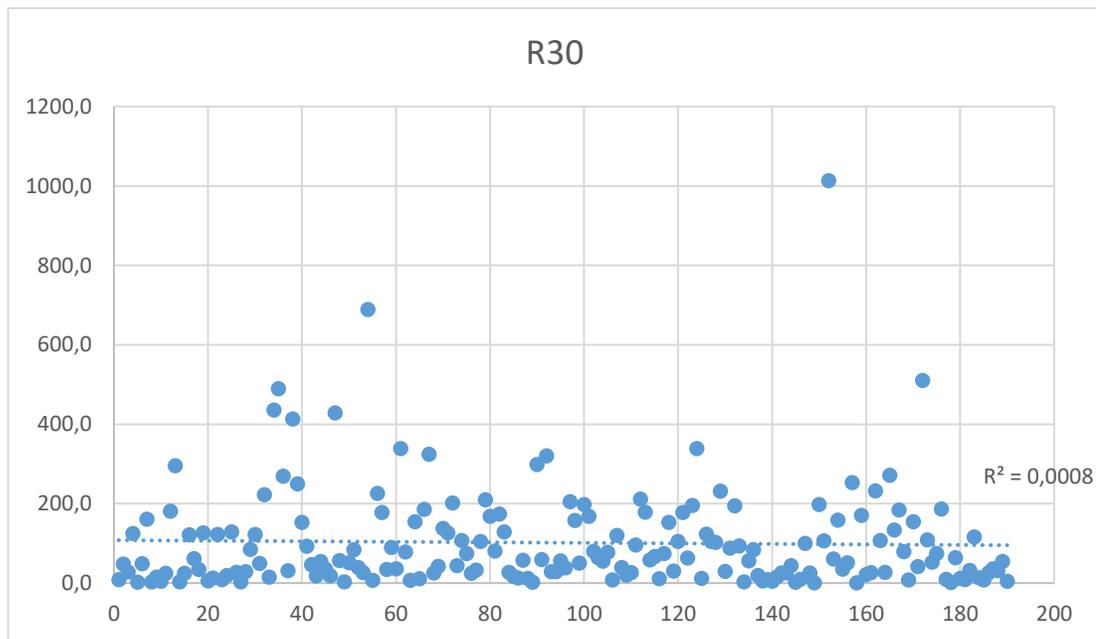


Figura N° 4.2: Gráfico de dispersión de perforadora R30.

Fuente: Propia.

4.1.4 Cálculo de modelo de distribución de probabilidad.

A través del programa Minitab se realiza el ingreso de los tiempos de operación, en el cual realizando un análisis del modelo probabilístico, entrega datos de estadística descriptiva, y una prueba de bondad de ajuste en primera instancia, tal como se presenta en la tabla N° 4.2, de todas las distribuciones el que tiene menor Anderson Darling (AD), es la distribución Weibull de 3 parámetros, adicionalmente cumple con el requisito de que su parámetro “P” es mayor a 0.05, esto quiere decir que es la distribución que mejor modela los datos de la Perforadora R30 de la Compañía Contractual Minera Candelaria.

Tabla N° 4.2: Estadística descriptiva y prueba de bondad de Perforadora R30.

Prueba de bondad del ajuste			
Distribución	AD	P	LRT P
Normal	13,474	<0,005	
Transformación Box-Cox	0,344	0,485	
Lognormal	1,486	<0,005	
Lognormal de 3 parámetros	0,9888	*	0,065
Exponencial	2,210	0,006	
Exponencial de 2 parámetros	2,217	<0,010	0,808
Weibull	0,300	>0,250	
Weibull de 3 parámetros	0,250	>0,500	0,105
Valor extremo más pequeño	29,977	<0,010	
Valor extremo por máximos	5,995	<0,010	
Gamma	0,475	>0,250	
Gamma de 3 parámetros	0,373	*	0,064
Logística	8,159	<0,005	
Loglogística	1,241	<0,005	
Loglogística de 3 parámetros	1,274	*	0,758
Transformación de Johnson	0,537	0,167	

Fuente: Propia desde software Minitab.

Adicionalmente el software entrega una estimación de los parámetros de cada una de las probabilidades (ver tabla N° 4.3), de acuerdo con estos resultados la distribución Weibull de 3 parámetros, arroja los siguientes valores: Forma 0.85241, Escala 92.84611 y umbral 0.33605; esta información indica que se puede inferir que la perforadora R30 se encuentra en etapa de nacimiento debido a que su factor de forma es menor a 1 lo que indica adicionalmente que su tasa de falla decrece en el tiempo.

Tabla N° 4.3: Estimación de parámetros de distribución.

Estimaciones ML de los parámetros de distribución				
Distribución	Ubicación	Forma	Escala	Valor Umbral
Normal*	101,51000		127,17	
Transformación Box-Cox*	1,97585		0,43	
Lognormal*	3,89543		1,37	
Lognormal de 3 parámetros	3,98992		1,23	-1,92093
Exponencial			101,51	
Exponencial de 2 parámetros			101,49	0,01582
Weibull		0,86337	93,83	
Weibull de 3 parámetros		0,85241	92,84	0,33605
Valor extremo más pequeño	179,43324		235,11	
Valor extremo por máximos	55,38359		67,23	
Gamma		0,81670	124,29	
Gamma de 3 parámetros		0,79168	127,71	0,39688
Logística	80,62898		56,54	
Loglogística	3,98474		0,78	
Loglogística de 3 parámetros	3,97721		0,79	0,23029
Transformación de Johnson*	-0,03441		1,01	

Fuente: Propia desde software Minitab.

Luego la figura N° 4.3 demuestra que los datos se grafican dentro de la probabilidad en la distribución Weibull de 3 parámetros.

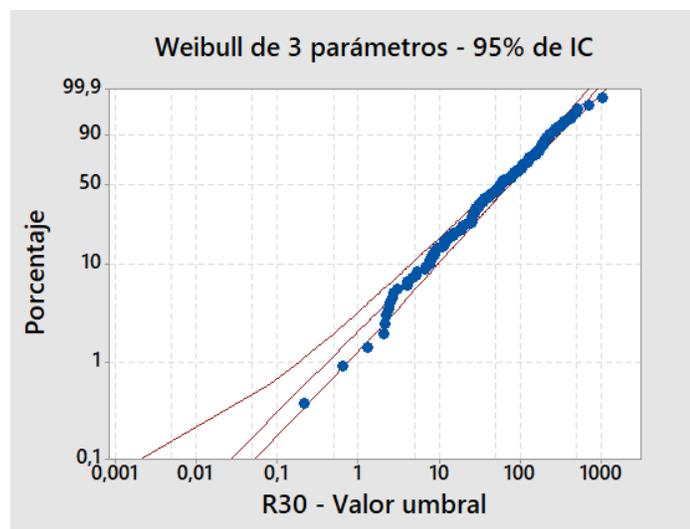


Figura N° 4.3: Gráfica de probabilidad de distribución.

Fuente: Propia desde software Minitab.

4.1.5 Gráfica de confiabilidad vs tasa de falla

Luego de tener seleccionada la distribución Weibull para los datos de operación de la perforadora R30, se puede realizar un análisis de los datos en el mismo software Minitab, el cual como resultado nos arroja graficas tal como se ve en la figura N° 4.4, en el primer recuadro se presenta la función acumulada que es la de distribución Weibull de 3 parámetros, debido a que su factor forma es menor a 1, su gráfica no será una función normal. Luego el siguiente recuadro de la derecha presenta los datos distribuidos dentro de la distribución, el gráfico inferior izquierdo representa la función de supervivencia o función de confiabilidad, y el ultimo recuadro es la función de riesgo o tasa de falla. En la función de riesgo, se demuestra que la tasa de falla decrece en el tiempo, esto nos indica que los datos representan a un equipo en etapa de nacimiento

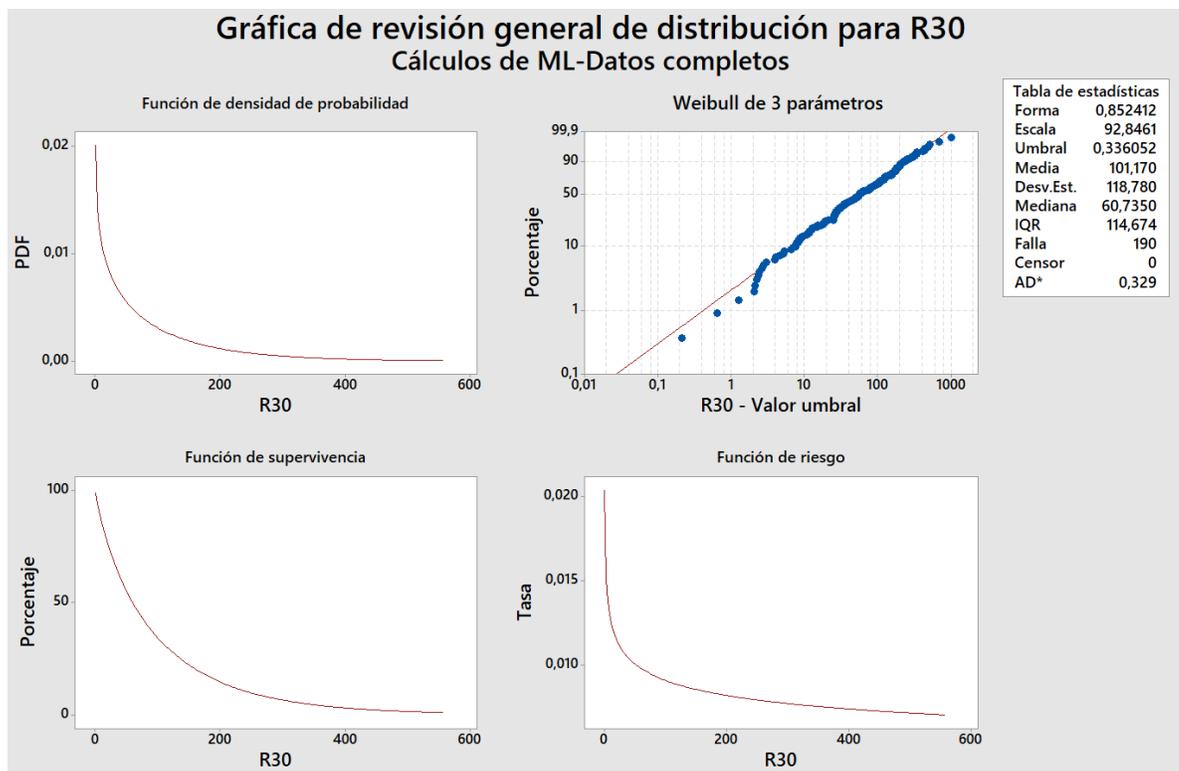


Figura N° 4.4: Gráficas del modelo Weibull de 3 parámetros para la perforadora R30.

Fuente: Propia desde software Minitab.

4.2 Diagrama de Pareto en perforadora R30

De acuerdo con los datos obtenidos, se obtiene la figura N° 4.5, la cual presenta los eventos del equipo por especialidad, en donde se aprecia que el sistema con mayor cantidad de horas de detenciones es el mecánico, luego el sistema eléctrico, y luego los sistemas con menor cantidad de horas son el de instrumentación, contra incendio y aire acondicionado.

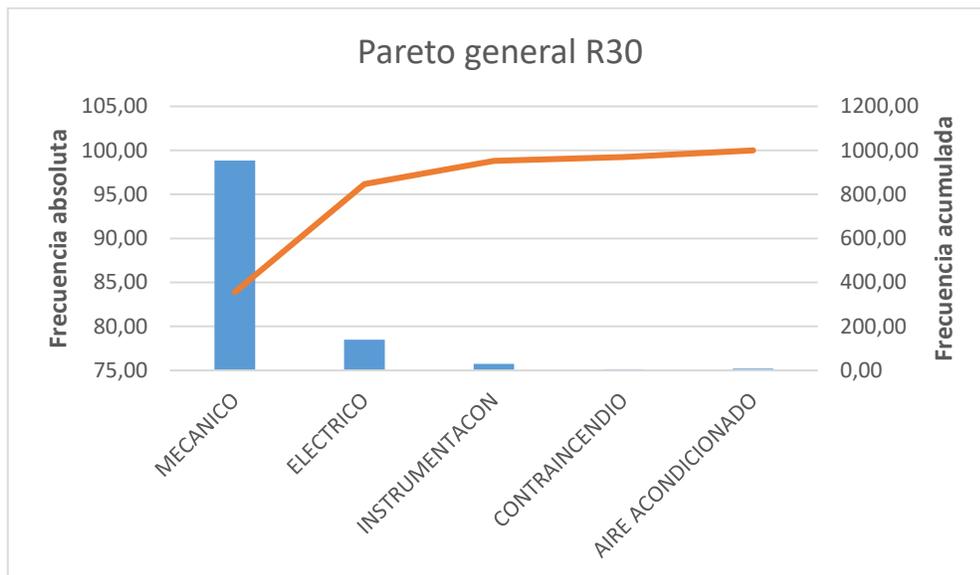


Figura N° 4.5: Pareto de fallas R30

Fuente: Propia.

En la figura N° 4.6, se encuentran los eventos de la especialidad eléctrica, el cual es objeto de análisis del presente proyecto.

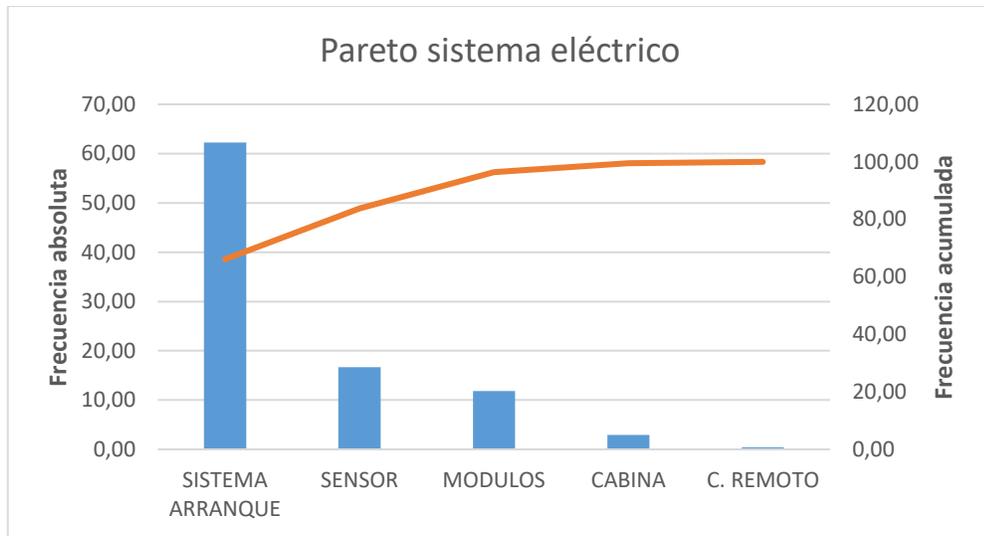


Figura N° 4.6: Pareto fallas eléctricas en R30

Fuente: Propia.

De acuerdo con el diagrama de Pareto del equipo en general, se puede apreciar que la falla eléctrica es la segunda que más influye en los eventos, y de acuerdo con Pareto de fallas eléctrica, se puede apreciar que las fallas de sistema de arranque y sensor son los eventos que más influyen en los tiempos de detención.

4.3 Jack-Knife de perforadora R30

Con los datos obtenidos, se puede realizar un gráfico de dispersión de Jack Knife, el cual ayuda a clasificar de mejor manera los modos de fallas en: Bajo control, Agudo, Crónicos y Crónicos-Agudos. En la figura N° 4.7 se pueden observar todos los modos de falla de la perforadora R30 desde el 14 de diciembre del 2018 hasta el 03 de marzo del 2021, en donde están clasificados los 4 cuadrantes divididos por dos líneas de promedio que son el promedio de detenciones y MTTR, adicionalmente se agregan unas líneas de tendencia de isoindisponibilidad que es la D-100 curvas ISO.

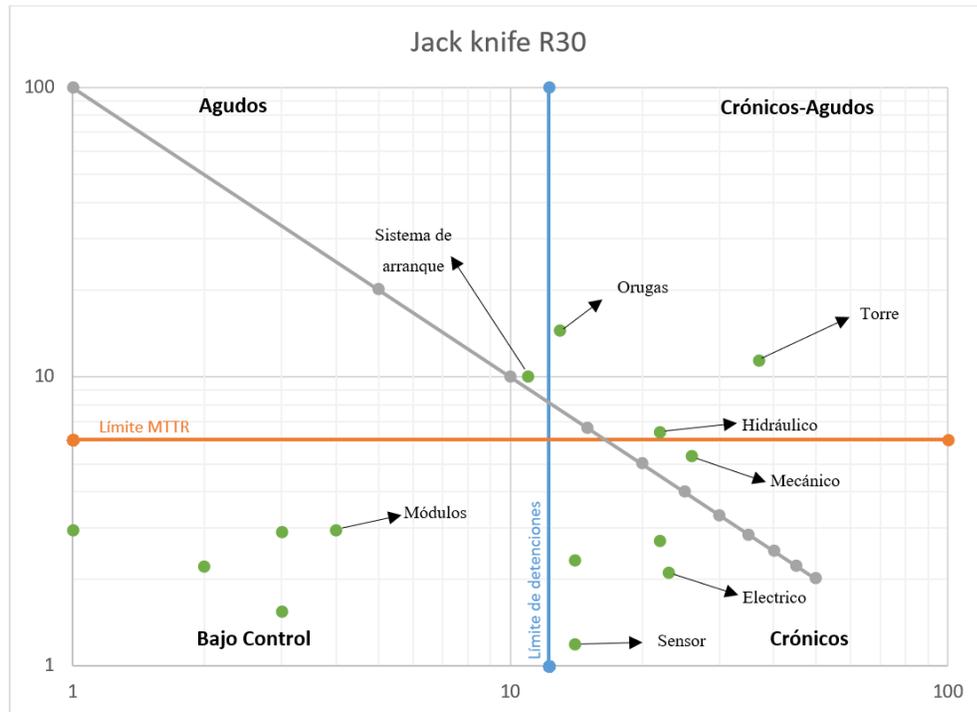


Figura N° 4.7: Jack-Knife de modos de fallas de Perforadora R30.

Fuente: Propia.

De acuerdo con los resultados del gráfico Jack Knife se puede observar que los modos de falla más crónicos-agudos son Torre, Oruga y Sistema hidráulico, luego se tiene el sistema de arranque como agudo, esto quiere decir que sus fallas tienen un tiempo de reparación muy alto, luego dentro de los modos eléctricos se pueden apreciar a los sensores y eléctricos como crónicos, esto quiere decir que son poco confiables debido a su alto número de detenciones. Pero solo el sistema de arranque se encuentra por sobre la media en lo referente a los modos de falla eléctrico.

Se puede concluir que, para efectos del presente estudio, en donde el enfoque es el sistema eléctrico, el modo de falla que tiene una mayor oportunidad de mejora es el de arranque, debido a sus largas detenciones, que lo lleva a estar por sobre la media estimada en el método Jack-Knife, dejándolo dentro del cuadrante agudo.

CAPÍTULO V

MEJORAS PARA COMPONENTES CRÍTICOS

De acuerdo a los análisis de confiabilidad obtenidos en el capítulo IV, en la sección 4.1.4, en donde se indica que el equipo se encuentra en etapa de nacimiento, aun así se puede apreciar en la sección 4.2 en el diagrama de Pareto de la figura N° 4.5 de la condición general indica una gran cantidad de fallas mecánicas y eléctricas como las más influyente (por alcance del proyecto se toma en consideración solo fallas eléctricas), y luego en el diagrama de la figura N° 4.6 están solo las fallas eléctricas, en donde el modo más recurrente es el sistema de arranque, adicionalmente en la figura N° 4.7 se encuentra el Jack-Knife de la perforadora, en el cual el sistema de arranque es un modo de falla agudo por sobre la media, esto quiere decir que el tiempo medio de reparación es elevado, tomando en consideración estos elementos, el presente capítulo presenta mejoras enfocadas al sistema de arranque teniendo en cuenta el procedimiento y gestión actual de trabajo de la compañía.

5.1 Baterías de perforadora R30

El primer componente como objeto de análisis serán las baterías del equipo, en la figura N° 5.1 se presenta la batería del equipo, adicionalmente es bueno conocer el proceder de cambio o instalación que se tiene actualmente en la Compañía Contractual Minera Candelaria.



Figura N° 5.1: Baterías Caterpillar en perforadoras Pit Viper 351d.

Fuente: Manual Caterpillar.

5.1.1 Procedimiento de cambio y carga.

Actualmente la Compañía Contractual Minera Candelaria no tiene un procedimiento oficial o instructivo de cambio o Carga de baterías de equipos Pit Viper 351d por mantenimiento correctivo. El paso a paso de revisión de baterías por falla en las perforadoras Pit Viper 351d es el siguiente:

1. En primera instancia el personal eléctrico recibe el llamado por parte de operador indicando que el equipo se encuentra sin arranque.
2. Luego se verifican los parámetros del sistema de arranque, para diagnosticar si la falla corresponde a las baterías u otro sistema de control.
3. Luego si la falla corresponde a una baja carga de las baterías, se debe realizar la medición de cada una de las baterías con el instrumento del modelo 177-2330 Battery Analyzer, el cual indicara el porcentaje de carga de las baterías y su estado. Si alguna de ellas se encuentra en malas condiciones se debe cambiar, si están con baja carga se puede utilizar un cable pasa corriente que se conecta a la perforadora y otro equipo pesado Caterpillar, en caso de no existir disponibilidad de equipos o espacio para esta carga, se deben cambiar las baterías por alguna cargada (usada), en el taller de baterías que se dispone en la compañía.



Figura N° 5.2: Instrumento de revisión de baterías.

Fuente: Propia.

Se puede realizar un análisis de este paso a paso que se realiza en la compañía, en primera instancia no se cuenta con un cambio preventivo de baterías recomendado por fabrica, solo se está realizando por mantenimiento correctivo, adicionalmente se está realizando cambio de baterías por otras usadas, sin tener un registro de la vida útil de las baterías instaladas, esto quiere decir que actualmente se desconoce la procedencia o vida útil de las baterías en todos los equipos de la compañía.

5.1.2 Características técnicas de Baterías

Las baterías utilizadas en las perforadoras Pit Viper 351d son las Caterpillar 153-5720, se utilizan 4 baterías, dos en serie y en paralelo a otras dos baterías que están serie, para así entregar un voltaje de 24 Voltios, en la figura N° 5.3 se presenta gráficamente la conexión extraída del plano del equipo. Luego la tabla N° 5.1 se presenta las características principales de las baterías.

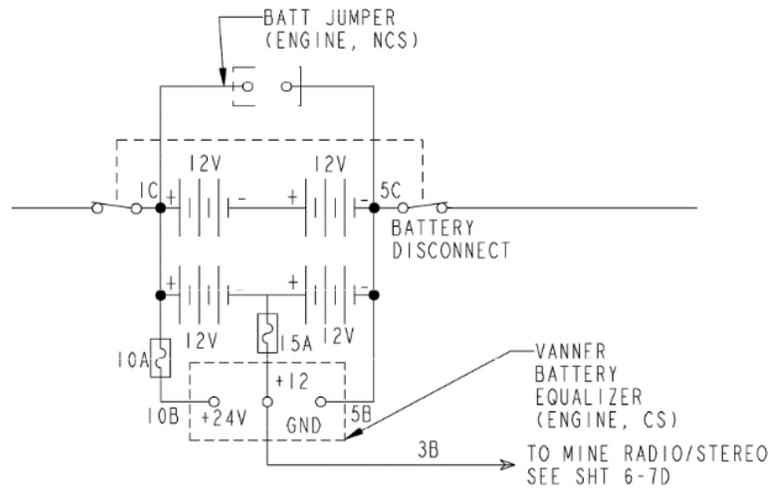


Figura N° 5.3: Conexión de baterías en equipo.

Fuente: Plano eléctrico de perforadora Pit Viper 351d.

Tabla N° 5.1: Características principales de Baterías Caterpillar 153-5720.

Atributos	Valor
Voltaje	12 V
Tamaño	8D
Capacidad de arranque en frío	1500 CCA
Capacidad	210 AH
Peso	60 Kg
Dimensiones	52x27,5 Cm
Otros	Terminales SAE Tapas extraíbles Caja reforzada

Fuente: Propia.

Adicionalmente la fábrica entrega como recomendación, que la vida útil de la batería sea de 3 años para una temperatura de funcionamiento de máximo 25 °C, y 2,5 años para temperaturas superiores.

5.1.3 Propuestas de mejoras

Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en el cambio de baterías, esto quiere decir que se puede realizar un cambio de baterías cada 2,5 años, que es lo recomendado por fábrica, adicionalmente se puede realizar un análisis del actual funcionamiento de las baterías y obtener horas de cambio de baterías, pero tal y como se señaló en la sección anterior, al ser desconocida la procedencia de las baterías que son instaladas, es preferible comenzar desde cero para luego obtener información fidedigna de cada una de las baterías instaladas en el equipo y a su vez crear un procedimiento en caso de llegar a un mantenimiento correctivo de las baterías, cabe mencionar que las baterías se pueden descargar debido en la falla de algún componente del sistema de arranque o por falla operacional (equipo con instrumentos encendidos sin tener equipo con motor Diesel funcionando), es por esto que adicionalmente se debe instruir a los operadores en la correcta utilización del equipo, evitando dejar encendidos sistemas con el motor Diesel apagado, como por ejemplo el sistema de control, de luces y aire acondicionado.

5.1.3.1 Nuevo procedimiento de cambio o carga de baterías

En la figura N° 5.4 se presenta un diagrama de flujo para el cambio o carga de baterías, cabe destacar que dentro del nuevo proceder para este trabajo se debe tener 4 baterías de respaldo en el “Taller de Baterías” de la compañía, las cuales serán utilizadas en el caso que las baterías del equipo se encuentren descargadas, pero luego las salientes deberán ser puestas en carga en el taller, con el fin de mantenerlas listas para cuando el equipo ingrese a un mantenimiento programado y en esa oportunidad normalizar la condición. Esto es para llevar un registro de las horas de trabajo de las baterías y mantener el control sobre cada una. Por lo tanto, se recomienda a su vez crear un tag o número interno por cada batería instalada, esto con el fin de evitar cambios de baterías entre equipos y así perder el control de cada una.

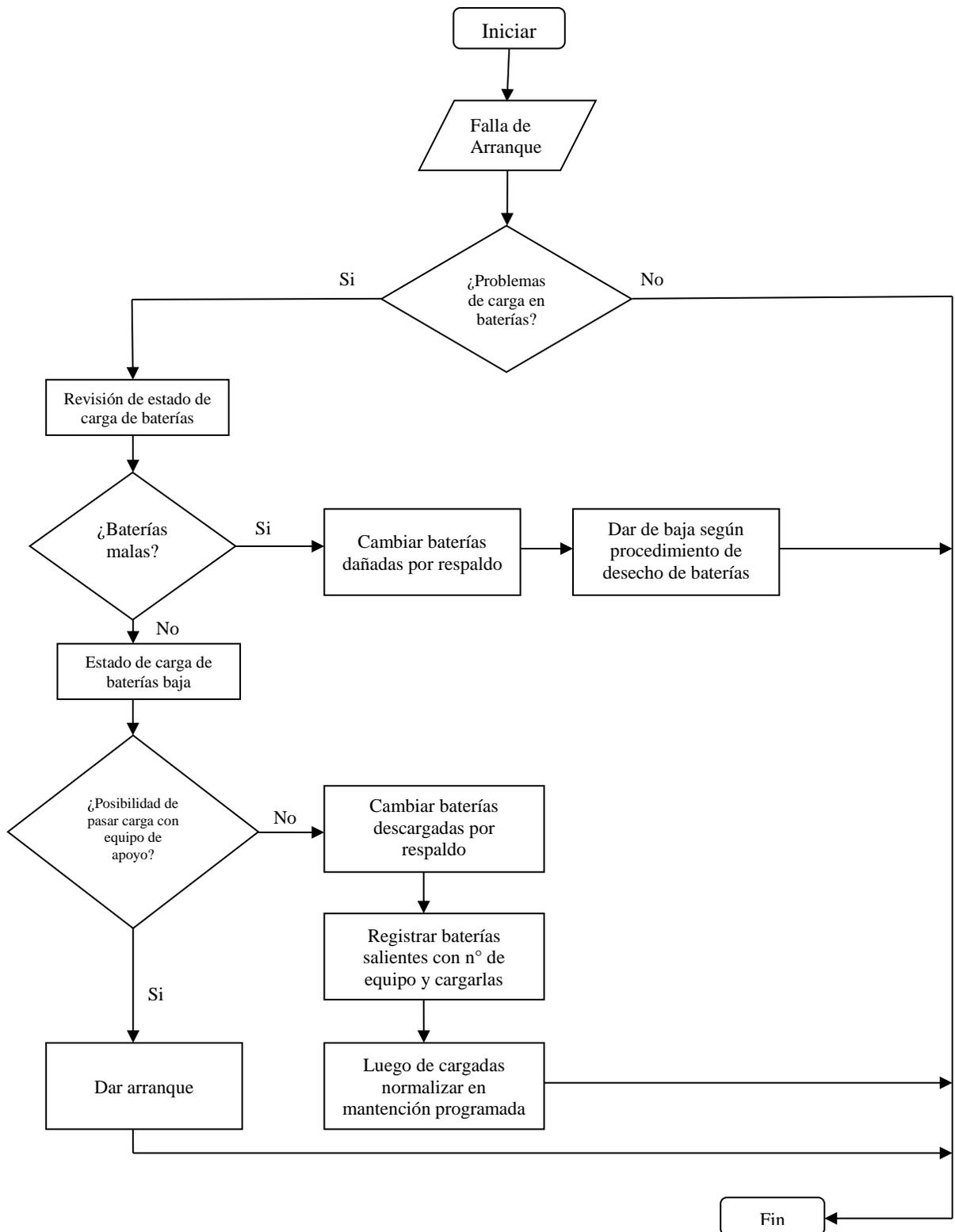


Figura N° 5.4: Diagrama de flujo para cambio o carga de baterías.

Fuente: Propia.

5.2 Motores de Arranque

El estado actual de cambio de este componente en la Compañía Contractual Minera Candelaria solo se produce por mantenimiento correctivo, cabe señalar que en caso de generarse la falla en uno de los motores, por recomendación de fabrica deben ser cambiado ambos, y el tiempo de cambio en promedio es de 5 horas, y puede ser más extenso si la falla de estos motores genera una descarga del sistema contraincendios, por las altas temperaturas, debido a que el personal de estos sistemas de seguridad, es una empresa externa, las cuales solo trabajan en turnos de día, en la eventualidad de que se produzcan pasadas las 20:00 horas, la reposición del sistema contra incendio queda relegada para las 08:00 horas del día siguiente que es cuando retoma sus laboras la empresa.

5.2.1 Especificaciones de motor de arranque

En la tabla N° 5.2, se presentan las especificaciones de un motor de arranque con numero de parte 10R9815, cabe señalar que en el equipo se encuentran instalados dos de estos motores.

Tabla N° 5.2: Especificaciones de motor de arranque 10R9815.

Atributos	Valor
Voltaje	24 V
Velocidad	6950 +/- 1650 RPM @25°C
Giro visto desde el piñón	Hacia la derecha
Corriente de consumo	115 +/- 25 A @25°C

Fuente: Propia.

De acuerdo con lo recomendado por fabrica la vida útil de los motores de arranques es de 5000 Horas. Este tiempo es considerando una óptima carga de las baterías del sistema.

5.2.2 Propuestas de mejora

Debido al tiempo que involucra el cambio de motores de arranque en un mantenimiento correctivo, se recomienda realizar el cambio de estos motores de manera preventiva a las 5000 horas, que son las recomendadas por fábrica, esto reducirá las horas de falla por cambio de motores de arranque y evitará el daño a otros componentes del equipo, como lo son los relés de arranque y las baterías. Adicionalmente se debe tener en consideración que la fábrica recomienda tener en buen estado las baterías para que este componente cumpla con su vida útil, por lo tanto, se recomienda seguir lo señalado en la sección de mejoras del punto 5.1.3 del presente proyecto.

5.4 Ordenes de mantenimiento de Sistema de arranque

En compañía contractual minera candelaria, el mantenimiento preventivo para las perforadoras Pit-Viper 351d se realiza cada 250 horas, llegando hasta las 2000 horas, luego el ciclo de mantención se reinicia. Las órdenes para el personal eléctricos se alternan en 250 y 500 horas. En la figura N° 5.5 se presentan las tareas enfocadas en el sistema de arranque en la mantención de 250 horas.

BATERIAS:

1) CONJUNTO EN TOTAL:

LIMPIEZA EXTERIOR Y CHEQUEO VISUAL

LIMPIEZA Y ORDEN DE CABLES

LIMPIEZA Y CHEQUEO DE BORNES DE CONEXIÓN

ALTERNADOR

9) CARCASA

CHEQUEO VISUAL

Figura N° 5.5: Trabajos eléctricos en el sistema de arranque en orden de 250 horas.

Fuente: Propia.

En la figura N° 5.6 se encuentran las tareas que se realizan en las ordenes de mantenimiento de 500 horas, en comparación en las ordenes de 250 horas se realiza adicionalmente ordenamiento de cables y chequeo de bornes de conexión.

BATERIAS:

1) CONJUNTO EN TOTAL: LIMPIEZA EXTERIOR Y CHEQUEO VISUAL

ALTERNADOR

9) CARCASA CHEQUEO VISUAL

Figura N° 5.6: Trabajos eléctricos en el sistema de arranque en orden de 500 horas.

Fuente: Propia.

La figura N° 5.7, muestra la propuesta de mejora en la orden de 500 horas, en donde se adiciona la medición de baterías y la revisión de bornes de conexión, esto se agrega debido a que es necesario conocer el estado de las 4 baterías del equipo de manera individual, y así diagnosticar alguna falla inesperada en ellas.

BATERIAS:

1) CONJUNTO EN TOTAL: LIMPIEZA EXTERIOR Y CHEQUEO VISUAL
2) MEDICION DE BATERÍAS MEDIR BATERÍAS CON PROBADOR 177-2330
3) BORNES DE CONEXIÓN REVISIÓN Y MANTENCIÓN A BORNES DE CONEXIÓN

Figura N° 5.7: Propuesta de mejora en el sistema de arranque en orden de 500 horas.

Fuente: Propia.

5.5 Evaluación económica de propuestas de mejora

De acuerdo con los datos de falla y a una revisión a las bitácoras de llamados eléctricos, en la tabla N° 5.3 se encuentran los costos asociados al sistema de arranque entre el periodo de estudio del proyecto (14 de diciembre del 2018 y el 03 de marzo del 2021). Debido a que la vida útil de las baterías instaladas es desconocida, por lo tanto, se considera que la batería se encuentra al 50% de la vida útil, esto quiere decir que se considera que su precio será la mitad del costo de cada una.

Tabla N° 5.3: Costo de componentes cambiados en período de estudio.

Componente	Cantidad	Costo unitario en pesos chilenos (\$)	Costo total en pesos chilenos (\$)
Motores de arranque	6	1.246.558	7.479.408
Baterías	12	303.802	3.645.624
Costo Total de componentes			11.125.032

Fuente: Propia

Adicionalmente la tabla N° 5.4 presenta los costos asociados a los tiempos de detención del equipo, se considera el precio del dólar al día 25 de noviembre del año 2021 (\$813), y adicionalmente un costo de hora hombre del personal electricista de \$5555 chilenos (dato en base a sueldo promedio de personal electricista a diciembre del 2021). Adicionalmente la estimación de los departamentos de operaciones mina de Minera Candelaria, arroja que los costos de cada pozo perforado son de 424 USD, esto considerando pozos de 16 metros, también se considera que en promedio cada pozo demora 45 minutos de perforación y en el tiempo de estudio del proyecto se dejaron de perforar 83 pozos, por conceptos de mantenimiento correctivo por el modo de falla de motores de arranque.

Tabla N° 5.4: Costos total en el tiempo de estudio.

Costo	Total (valor neto)
Pérdida operacional por pozos no perforados	\$28.611.096
Hora Hombre por mantenimiento correctivo	\$691.666,7
Costo de componentes cambiados	\$11.125.032
Total	\$39.736.128

Fuente: Propia.

Luego la tabla N° 5.5 presenta la inversión que se debe realizar en un periodo de 2.5 años, este tiempo es debido a que es el recomendado por la fábrica para el cambio de baterías, se considera que el motor de arranque debe ser cambiado cada 5000 horas, esto quiere decir que se realizarán 3 cambios de motores de arranque en este periodo.

También considera la inversión de las baterías de respaldo, y finalmente un alternador el cual debe ser cambiado cada 15000 horas. Adicionalmente considera 36 Horas hombres para el cambio y/o instalación de estos componentes.

Tabla N° 5.5: Inversión inicial.

Componente	Cantidad	Costo unitario en pesos chilenos (\$)	Costo total en pesos chilenos (\$)
Motores de arranque	6	1.246.558	7.479.408
Alternador	1	2.397.078	2.397.078
Baterías para cambio	4	607.604	2.430.416
Baterías de respaldo	4	607.604	2.430.416
Inversión total de componentes			12.244.182
Mano de obra requerida	36	5.555	200.000
Inversión Total			12.444.182

Fuente: Propia.

De las tablas N° 5.3 y 5.5, se aprecia que la inversión inicial es ligeramente superior a los costos asociados a componentes de cambio en el periodo de estudio, pero la gran diferencia se aprecia en la tabla N° 5.4, en donde los costos de pérdida por pozos no perforados son excesivamente altos, esto se aprecia en la figura N° 5.8, en donde se comparan los costos y la inversión.

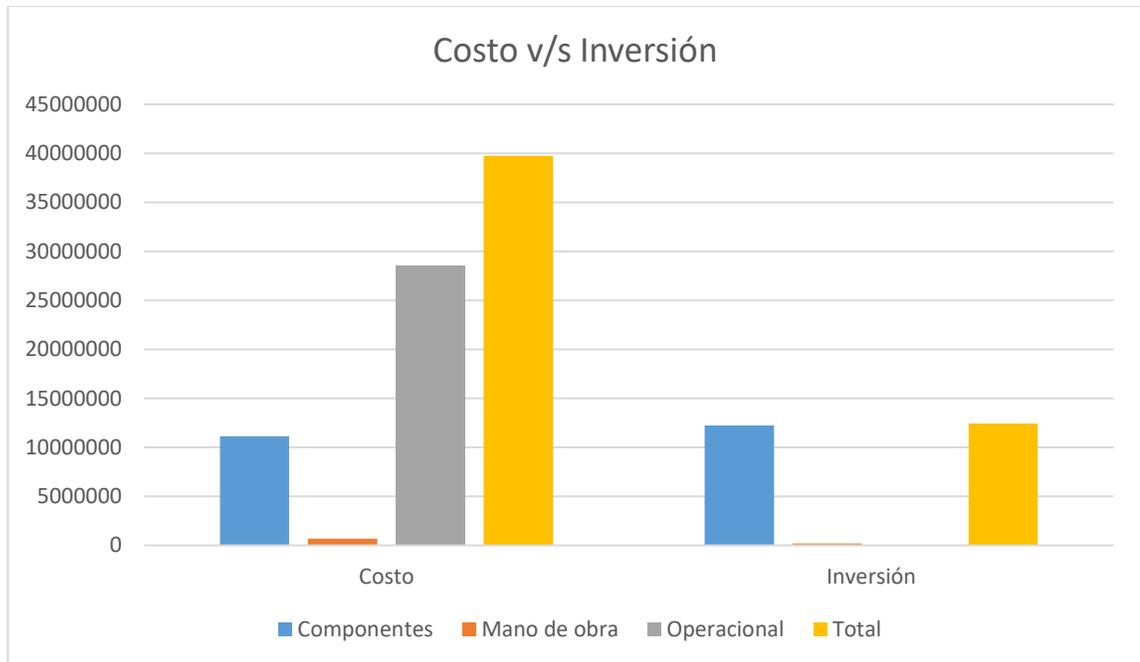


Figura N° 5.8: Comparativa de costo e inversión.

Fuente: Propia.

Tal y como se muestra en la figura N° 5.8, se aprecia que el costo operacional de tener el equipo detenido por mantenimiento correctivo es alto, debido a esto se recomienda aplicar las propuestas señaladas en el presente proyecto, con el fin de evitar detenciones inesperadas, y no tener pérdidas operacionales.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis del equipo y los cálculos obtenidos, se concluye que la perforadora R30(US020194), de Compañía Contractual Minera Candelaria, se encuentra en etapa de nacimiento, con el fin de llevar el equipo a una etapa de vida útil, se analizan los modos de fallas en dos herramientas, como lo es el diagrama de Pareto y Jack-Knife, debido al alcance de este proyecto se analizan las fallas eléctricas, de las cuales, el modo de falla del sistema de arranque es el que presenta más horas de detenciones, y además es agudo debido a lo extenso de estos eventos, por lo tanto, este proyecto presenta mejoras enfocadas en este sistema.

En cuanto al sistema de arranque, se presenta una nueva metodología de trabajo para el mantenimiento correctivo de los componentes, adicionalmente un plan de mantenimiento de cambio preventivo, esto reduciría considerablemente las horas de falla de este equipo. Se puede concluir que este error de mantenimiento eléctrico es una de las causas por el cual este equipo no puede pasar a vida útil en su etapa de trabajo.

De acuerdo con la inversión que se debe realizar para estas propuestas, el costo de los componentes es levemente superior a los costos generados en el tiempo de estudio, pero al considerar los costos de pérdidas por las horas sin producción del equipo, se concluye que la inversión es aproximadamente una cuarta parte de lo perdido. Por lo tanto, es económicamente viable realizar este proyecto y que incida como ayuda para que la curva de confiabilidad vaya desde nacimiento a vida útil.

BIBLIOGRAFÍA

1. Renault Tayrona Automotriz SAS (2021). *Baterías y plumillas*. <https://www.tayronaautomotriz.com/index.php/renault-servicios/baterias-y-plumillas>
2. GS Yuasa Battery Europe (2014). *Automoción, comercial y servicios y náutica*. <https://www.yuasa.es/informacion/automocion-comercial-servicios-nautica/funcionamiento-de-las-baterias/>
3. Bosch (s.f.). *Manual de Baterías Bosch*. Publicado por Bosch
4. Varta Clarios (2022). *Conceptos básicos sobre baterías*. <https://www.varta-automotive.es/es-es/soporte-para-baterias-varta/conceptos-basicos-sobre-baterias/como-funciona-una-bateria>
5. Motor diesel by Google sites (s.f.). *Motor diésel*. <https://sites.google.com/site/motordiesel1280/>
6. Consuegra, S. (2007). *Módulo Motores Diesel*. ITSA, institución universitaria.
7. Regojo, A. (2018). *Motor de arranque del coche*. <https://www.autonocion.com/motor-de-arranque-coche-funcionamiento-averias-partes/>
8. Hella GmbH & co (s.f.). *Revisión del motor de arranque*. <https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Electricidad-y-electronica-del-automovil/Sistema-de-arranque-y-carga/Revision-del-motor-de-arranque-41299/>

9. Navarrete, J. (2009). *Alternador: partes, cómo funciona, cómo comprobarlo*.
<https://www.actualidadmotor.com/funcionamiento-del-alternador/>
10. Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)*. Publicado por Aladon LLC.
11. Izar, J.M. y González J.H. (2004). *Las 7 herramientas básicas de la calidad*. Universidad autónoma de San Luis de Potosí.
12. Viveros, P.; Stegnaier, R.; Barbera, L. y Crespo, A. (2013). *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo*. Revista chilena de ingeniería, vol. 21, N°1 2013.
13. Atlas Copco (2013). *Manual de instrucciones de serie PV351 Diesel – RC4*. Publicado por Atlas Copco Drilling Solutions, LLC.

ANEXO A

FALLAS

Este anexo muestra el total de los eventos de falla de la perforadora R30 (US080194) en el periodo de estudio que se inicia desde el 14 de diciembre del 2018 y concluye el 03 de marzo del 2021, los datos fueron obtenidos a través de una planilla generada en la compañía que recolecta información a través de la torre de control (Dispatch) y de los datos entregados por los jefes de turno.

Fecha de inicio	Hora de Inicio	Fecha de Termino	Hora de termino	Duración de evento	Área	Modo Falla	Tiempo operación
14-12-2018	0:00:00	14-12-2018	0:00:00				
14-12-2018	8:28:00	14-12-2018	9:13:00	0,7	MECANICO	TORRE	8,5
17-12-2018	9:07:00	17-12-2018	9:39:00	0,5	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	48,1
19-12-2018	5:28:00	22-12-2018	5:35:00	72,4	MECANICO	TORRE	28,2
27-12-2018	10:26:00	27-12-2018	10:49:00	0,4	MECANICO	TORRE	124,9
27-12-2018	13:11:00	27-12-2018	13:45:00	0,6	ELECTRICO	SENSOR	2,4
29-12-2018	14:44:00	29-12-2018	16:38:00	1,9	MECANICO	TORRE	49,0
05-01-2019	0:03:00	05-01-2019	4:10:00	4,1	MECANICO	TORRE	160,6
05-01-2019	7:07:00	05-01-2019	7:36:00	0,5	MECANICO	TORRE	3,0
05-01-2019	22:40:00	05-01-2019	22:56:00	0,3	ELECTRICO	ELECTRICO	15,1
06-01-2019	18:37:00	06-01-2019	20:00:00	1,4	MECANICO	INY AGUA	4,3
07-01-2019	20:44:00	07-01-2019	22:07:00	1,4	MECANICO	INY AGUA	24,7
15-01-2019	9:33:00	15-01-2019	10:05:00	0,5	MECANICO	HIDRÁULICO	180,6
27-01-2019	17:12:00	27-01-2019	18:56:00	1,7	MECANICO	TORRE	295,1
28-01-2019	16:10:00	28-01-2019	20:00:00	3,8	MECANICO	INY AGUA	2,8
29-01-2019	21:00:00	29-01-2019	22:31:00	1,5	MECANICO	INY AGUA	25,0
04-02-2019	20:30:00	04-02-2019	21:50:00	1,3	MECANICO	INY AGUA	122,0
07-02-2019	8:13:00	07-02-2019	11:22:00	3,2	MECANICO	INY AGUA	61,6
08-02-2019	21:39:00	09-02-2019	1:45:00	4,1	MECANICO	TORRE	34,3
14-02-2019	8:19:00	14-02-2019	9:12:00	0,9	MECANICO	LUBRICACION	126,6
14-02-2019	14:39:00	14-02-2019	18:11:00	3,5	MECANICO	LUBRICACION	5,5
15-02-2019	5:25:00	15-02-2019	6:02:00	0,6	MECANICO	INY AGUA	12,8
21-02-2019	3:23:00	21-02-2019	3:35:00	0,2	MECANICO	TORRE	122,7
21-02-2019	12:32:00	21-02-2019	19:47:00	7,3	MECANICO	MECANICO	9,0
22-02-2019	0:49:00	22-02-2019	1:14:00	0,4	MECANICO	MECANICO	19,0
27-02-2019	10:14:00	27-02-2019	14:48:00	4,6	MECANICO	TORRE	129,0

01-03-2019	11:37:00	01-03-2019	17:40:00	6,1	ELECTRICO	SISTEMA ARRANQUE	27,2
02-03-2019	14:34:00	02-03-2019	16:56:00	2,4	ELECTRICO	SISTEMA ARRANQUE	3,1
03-03-2019	21:29:00	04-03-2019	17:17:00	19,8	MECANICO	TORRE	28,6
08-03-2019	4:23:00	08-03-2019	7:20:00	3,0	MECANICO	CABINA	84,9
13-03-2019	9:29:00	13-03-2019	17:31:00	8,0	MECANICO	HIDRÁULICO	122,2
16-03-2019	16:22:00	16-03-2019	16:51:00	0,5	MECANICO	TORRE	49,2
25-03-2019	23:12:00	25-03-2019	23:26:00	0,2	ELECTRICO	SENSOR	222,4
26-03-2019	8:27:00	26-03-2019	16:52:00	8,4	ELECTRICO	ELECTRICO	15,0
13-04-2019	20:27:00	13-04-2019	21:49:00	1,4	MECANICO	MECANICO	435,6
04-05-2019	12:41:00	04-05-2019	13:28:00	0,8	MECANICO	TORRE	489,1
16-05-2019	8:14:00	16-05-2019	18:52:00	10,6	MECANICO	INY AGUA	269,2
18-05-2019	11:25:00	18-05-2019	16:47:00	5,4	MECANICO	TORRE	31,5
05-06-2019	11:48:00	05-06-2019	13:24:00	1,6	MECANICO	INY AGUA	413,0
16-06-2019	3:30:00	16-06-2019	4:18:00	0,8	MECANICO	HIDRÁULICO	249,9
22-06-2019	13:22:00	23-06-2019	2:16:00	12,9	MECANICO	TORRE	153,1
26-06-2019	22:45:00	26-06-2019	23:10:00	0,4	ELECTRICO	C. REMOTO	92,5
28-06-2019	0:56:00	28-06-2019	23:30:00	22,6	ELECTRICO	SISTEMA ARRANQUE	46,2
29-06-2019	5:12:00	29-06-2019	14:54:00	9,7	MECANICO	TORRE	18,3
02-07-2019	8:21:00	02-07-2019	9:54:00	1,6	ELECTRICO	ELECTRICO	54,6
03-07-2019	20:40:00	04-07-2019	5:02:00	8,4	MECANICO	INY AGUA	34,8
04-07-2019	23:04:00	04-07-2019	23:47:00	0,7	MECANICO	INY AGUA	18,0
22-07-2019	2:59:00	22-07-2019	3:45:00	0,8	MECANICO	ORUGA	428,8
24-07-2019	12:21:00	24-07-2019	12:37:00	0,3	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	56,6
25-07-2019	9:18:00	25-07-2019	12:20:00	3,0	ELECTRICO	ELECTRICO	3,3
28-07-2019	9:12:00	28-07-2019	9:21:00	0,2	CONTRAINCENDIO	CONTRAINCENDIO	51,1
31-07-2019	21:36:00	31-07-2019	23:46:00	2,2	MECANICO	HIDRÁULICO	84,3
02-08-2019	8:40:00	02-08-2019	10:40:00	2,0	CONTRAINCENDIO	CONTRAINCENDIO	39,1
03-08-2019	13:10:00	03-08-2019	17:45:00	4,6	MECANICO	HIDRÁULICO	26,5
01-09-2019	1:05:00	01-09-2019	2:16:00	1,2	MECANICO	HIDRÁULICO	688,7
01-09-2019	9:06:00	01-09-2019	9:53:00	0,8	ELECTRICO	MODULOS	6,8
10-09-2019	19:30:00	11-09-2019	1:35:00	6,1	MECANICO	HIDRÁULICO	225,6
18-09-2019	11:01:00	18-09-2019	12:01:00	1,0	ELECTRICO	MODULOS	177,4
19-09-2019	22:08:00	20-09-2019	2:33:00	4,4	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	34,1
23-09-2019	20:20:00	24-09-2019	3:53:00	7,6	MECANICO	HIDRÁULICO	89,8
25-09-2019	15:27:00	25-09-2019	16:54:00	1,5	MECANICO	HIDRÁULICO	35,6
10-10-2019	13:57:00	10-10-2019	14:56:00	1,0	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	339,0
13-10-2019	21:30:00	13-10-2019	23:52:00	2,4	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	78,6
14-10-2019	16:40:00	14-10-2019	18:36:00	1,9	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	7,2
21-10-2019	8:00:00	21-10-2019	16:59:00	9,0	MECANICO	TORRE	154,6
22-10-2019	5:41:00	22-10-2019	6:10:00	0,5	ELECTRICO	ELECTRICO	11,3

29-10-2019	23:42:00	30-10-2019	1:33:00	1,9	MECANICO	TORRE	185,5
12-11-2019	13:53:00	12-11-2019	18:47:00	4,9	MECANICO	INY AGUA	324,3
13-11-2019	20:36:00	14-11-2019	2:09:00	5,6	MECANICO	INY AGUA	25,8
15-11-2019	20:45:00	15-11-2019	21:44:00	1,0	MECANICO	MECANICO	42,6
21-11-2019	3:48:00	21-11-2019	6:06:00	2,3	MECANICO	INY AGUA	137,9
26-11-2019	12:38:00	26-11-2019	12:53:00	0,2	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	126,5
04-12-2019	22:51:00	05-12-2019	1:31:00	2,7	ELECTRICO	SENSOR	202,0
06-12-2019	21:32:00	06-12-2019	22:42:00	1,2	MECANICO	ORUGA	44,0
11-12-2019	11:41:00	11-12-2019	13:26:00	1,8	MECANICO	HIDRÁULICO	107,0
14-12-2019	15:57:00	14-12-2019	16:28:00	0,5	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	74,5
16-12-2019	15:32:00	16-12-2019	19:18:00	3,8	ELECTRICO	SISTEMA ARRANQUE	24,9
18-12-2019	10:43:00	18-12-2019	11:44:00	1,0	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	32,6
22-12-2019	20:18:00	22-12-2019	22:04:00	1,8	MECANICO	ORUGA	104,6
31-12-2019	4:30:00	31-12-2019	6:28:00	2,0	ELECTRICO	ELECTRICO	209,6
07-01-2020	6:38:00	07-01-2020	8:27:00	1,8	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	168,2
10-01-2020	17:13:00	10-01-2020	17:42:00	0,5	MECANICO	MECANICO	80,8
17-01-2020	23:22:00	18-01-2020	1:47:00	2,4	ELECTRICO	SISTEMA ARRANQUE	173,7
23-01-2020	10:31:00	23-01-2020	19:06:00	8,6	ELECTRICO	SISTEMA ARRANQUE	128,7
25-01-2020	15:39:00	25-01-2020	18:44:00	3,1	MECANICO	INY AGUA	27,5
26-01-2020	1:41:00	26-01-2020	2:07:00	0,4	MECANICO	MECANICO	17,1
26-01-2020	15:09:00	26-01-2020	18:27:00	3,3	MECANICO	MECANICO	13,0
29-01-2020	8:34:00	29-01-2020	10:24:00	1,8	ELECTRICO	SISTEMA ARRANQUE	57,9
29-01-2020	22:12:00	29-01-2020	23:33:00	1,4	MECANICO	HIDRÁULICO	11,8
30-01-2020	21:00:00	30-01-2020	21:58:00	1,0	ELECTRICO	ELECTRICO	2,6
12-02-2020	11:12:00	13-02-2020	20:00:00	32,8	MECANICO	TORRE	298,8
16-02-2020	9:01:00	18-02-2020	10:16:00	50,5	MECANICO	HIDRÁULICO	59,0
03-03-2020	1:51:00	03-03-2020	11:39:00	9,8	MECANICO	TORRE	320,4
05-03-2020	7:12:00	05-03-2020	7:24:00	0,2	ELECTRICO	ELECTRICO	28,5
07-03-2020	2:30:00	07-03-2020	7:12:00	4,7	MECANICO	HIDRÁULICO	28,9
09-03-2020	15:00:00	09-03-2020	20:00:00	5,0	MECANICO	ORUGA	55,8
11-03-2020	5:48:00	12-03-2020	2:22:00	20,6	MECANICO	ORUGA	38,2
20-03-2020	15:31:00	20-03-2020	16:38:00	1,1	ELECTRICO	SENSOR	205,2
27-03-2020	2:34:00	27-03-2020	10:38:00	8,1	ELECTRICO	ELECTRICO	158,1
29-03-2020	12:53:00	29-03-2020	14:46:00	1,9	MECANICO	MECANICO	50,3
07-04-2020	9:09:00	07-04-2020	9:42:00	0,5	MECANICO	MECANICO	197,6
15-04-2020	9:29:00	15-04-2020	12:06:00	2,6	MECANICO	INY AGUA	168,2
18-04-2020	20:00:00	19-04-2020	16:56:00	20,9	MECANICO	TORRE	79,9
22-04-2020	1:22:00	22-04-2020	4:57:00	3,6	MECANICO	ORUGA	63,6
24-04-2020	12:25:00	25-04-2020	16:47:00	28,4	MECANICO	HIDRÁULICO	55,5
29-04-2020	11:05:00	29-04-2020	16:20:00	5,3	ELECTRICO	ELECTRICO	77,7

30-04-2020	8:22:00	30-04-2020	15:23:00	7,0	MECANICO	MECANICO	8,0
06-05-2020	15:18:00	06-05-2020	16:00:00	0,7	ELECTRICO	SENSOR	120,1
08-05-2020	0:33:00	08-05-2020	1:23:00	0,8	ELECTRICO	ELECTRICO	39,5
08-05-2020	21:08:00	08-05-2020	22:51:00	1,7	ELECTRICO	ELECTRICO	19,8
10-05-2020	20:32:00	10-05-2020	21:17:00	0,8	MECANICO	MECANICO	26,3
15-05-2020	20:56:00	15-05-2020	22:17:00	1,4	ELECTRICO	ELECTRICO	96,4
24-05-2020	2:38:00	24-05-2020	4:53:00	2,3	MECANICO	HIDRÁULICO	211,7
31-05-2020	15:30:00	31-05-2020	17:02:00	1,5	MECANICO	INY AGUA	178,6
03-06-2020	6:32:00	03-06-2020	19:06:00	12,6	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	58,5
06-06-2020	0:08:00	06-06-2020	0:14:00	0,1	ELECTRICO	SENSOR	67,0
06-06-2020	11:09:00	06-06-2020	11:23:00	0,2	ELECTRICO	ELECTRICO	10,9
10-06-2020	9:14:00	10-06-2020	9:46:00	0,5	ELECTRICO	SENSOR	74,2
17-06-2020	0:42:00	17-06-2020	2:40:00	2,0	MECANICO	MECANICO	153,1
18-06-2020	8:48:00	18-06-2020	17:03:00	8,3	ELECTRICO	SISTEMA ARRANQUE	30,1
23-06-2020	8:25:00	24-06-2020	11:29:00	27,1	MECANICO	TORRE	104,6
01-07-2020	20:59:00	01-07-2020	23:28:00	2,5	ELECTRICO	ELECTRICO	177,5
04-07-2020	8:20:00	04-07-2020	8:55:00	0,6	ELECTRICO	ELECTRICO	63,1
12-07-2020	12:37:00	12-07-2020	12:48:00	0,2	MECANICO	MECANICO	195,7
27-07-2020	10:23:00	29-07-2020	23:59:00	75,2	MECANICO	TORRE	338,4
30-07-2020	11:55:00	30-07-2020	14:21:00	2,4	ELECTRICO	ELECTRICO	12,1
04-08-2020	17:25:00	04-08-2020	19:22:00	2,0	ELECTRICO	ELECTRICO	123,1
09-08-2020	10:41:00	09-08-2020	17:03:00	6,4	ELECTRICO	MODULOS	104,7
14-08-2020	10:43:00	15-08-2020	23:36:00	36,9	MECANICO	MECANICO	102,3
25-08-2020	8:25:00	25-08-2020	8:52:00	0,5	MECANICO	ORUGA	231,2
27-08-2020	3:02:00	27-08-2020	4:20:00	1,3	MECANICO	HIDRÁULICO	29,8
30-08-2020	20:40:00	30-08-2020	23:40:00	3,0	MECANICO	TORRE	88,3
08-09-2020	20:49:00	08-09-2020	22:31:00	1,7	MECANICO	HIDRÁULICO	194,9
12-09-2020	0:38:00	12-09-2020	15:08:00	14,5	MECANICO	MECANICO	93,9
12-09-2020	17:50:00	12-09-2020	20:00:00	2,2	AIRE ACONDICIONADO	AIRE ACONDICIONADO	2,7
15-09-2020	11:46:00	15-09-2020	12:55:00	1,2	ELECTRICO	SENSOR	56,2
19-09-2020	0:49:00	19-09-2020	1:27:00	0,6	MECANICO	TORRE	84,1
19-09-2020	20:45:00	19-09-2020	22:17:00	1,5	MECANICO	MECANICO	19,3
20-09-2020	16:37:00	20-09-2020	18:09:00	1,5	MECANICO	INY AGUA	5,7
21-09-2020	9:07:00	21-09-2020	10:57:00	1,8	MECANICO	MECANICO	9,0
21-09-2020	15:17:00	21-09-2020	16:05:00	0,8	MECANICO	ORUGA	4,3
22-09-2020	0:43:00	22-09-2020	14:15:00	13,5	MECANICO	MECANICO	15,4
23-09-2020	16:02:00	24-09-2020	17:28:00	25,4	MECANICO	TORRE	25,8
25-09-2020	18:49:00	25-09-2020	20:23:00	1,6	ELECTRICO	SISTEMA ARRANQUE	25,4
27-09-2020	0:47:00	27-09-2020	3:28:00	2,7	ELECTRICO	SENSOR	43,6
27-09-2020	5:54:00	27-09-2020	7:34:00	1,7	ELECTRICO	SENSOR	2,4

27-09-2020	16:58:00	27-09-2020	18:49:00	1,9	MECANICO	TORRE	9,4
02-10-2020	14:49:00	02-10-2020	16:01:00	1,2	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	100,0
03-10-2020	17:53:00	04-10-2020	14:37:00	20,7	MECANICO	TORRE	25,9
05-10-2020	13:38:00	05-10-2020	17:19:00	3,7	ELECTRICO	MODULOS	1,0
13-10-2020	22:54:00	14-10-2020	2:08:00	3,2	ELECTRICO	ELECTRICO	197,6
18-10-2020	12:49:00	18-10-2020	13:26:00	0,6	ELECTRICO	ELECTRICO	106,7
30-11-2020	8:19:00	30-11-2020	13:25:00	5,1	MECANICO	ORUGA	1013,1
03-12-2020	0:23:00	03-12-2020	2:52:00	2,5	INSTRUMENTACION	COMUNICACIÓN	61,0
09-12-2020	17:14:00	09-12-2020	19:11:00	2,0	MECANICO	TORRE	158,4
11-12-2020	8:00:00	11-12-2020	8:31:00	0,5	MECANICO	MECANICO	35,2
13-12-2020	11:51:00	16-12-2020	3:58:00	48,4	MECANICO	ORUGA	51,3
26-12-2020	17:21:00	26-12-2020	18:01:00	0,7	AIRE ACONDICIONADO	AIRE ACONDICIONADO	253,4
26-12-2020	18:34:00	26-12-2020	19:09:00	0,6	ELECTRICO	ELECTRICO	0,6
02-01-2021	21:46:00	02-01-2021	22:33:00	0,8	ELECTRICO	SENSOR	170,6
03-01-2021	1:28:00	03-01-2021	2:07:00	0,7	MECANICO	TORRE	21,1
05-01-2021	0:01:00	05-01-2021	0:32:00	0,5	ELECTRICO	ELECTRICO	26,1
14-01-2021	16:32:00	14-01-2021	20:00:00	3,5	MECANICO	TORRE	232,0
19-01-2021	8:27:00	19-01-2021	17:43:00	9,3	MECANICO	TORRE	107,6
20-01-2021	20:38:00	20-01-2021	21:55:00	1,3	ELECTRICO	SISTEMA ARRANQUE	26,9
01-02-2021	14:42:00	01-02-2021	16:09:00	1,5	ELECTRICO	SENSOR	271,2
07-02-2021	2:23:00	07-02-2021	4:01:00	1,6	ELECTRICO	SENSOR	133,8
14-02-2021	20:11:00	14-02-2021	23:45:00	3,6	ELECTRICO	SISTEMA ARRANQUE	184,2
18-02-2021	16:29:00	18-02-2021	18:19:00	1,8	MECANICO	ORUGA	79,3
19-02-2021	10:23:00	19-02-2021	12:52:00	2,5	CONTRAINCENDIO	CONTRAINCENDIO	7,9
26-02-2021	2:12:00	26-02-2021	2:44:00	0,5	MECANICO	MECANICO	154,7
27-02-2021	20:00:00	28-02-2021	22:06:00	26,1	MECANICO	MECANICO	41,3
22-03-2021	15:45:00	22-03-2021	17:25:00	1,7	ELECTRICO	ELECTRICO	510,4
27-03-2021	4:33:00	27-03-2021	5:01:00	0,5	MECANICO	INY AGUA	108,9
29-03-2021	9:33:00	29-03-2021	11:30:00	2,0	MECANICO	HIDRÁULICO	52,5
01-04-2021	14:08:00	01-04-2021	20:00:00	5,9	AIRE ACONDICIONADO	AIRE ACONDICIONADO	74,6
09-04-2021	1:23:00	09-04-2021	2:23:00	1,0	MECANICO	INY AGUA	186,6
09-04-2021	12:06:00	09-04-2021	17:45:00	5,7	MECANICO	HIDRÁULICO	9,7
10-04-2021	16:08:00	11-04-2021	2:31:00	10,4	MECANICO	HIDRÁULICO	1,6
13-04-2021	18:30:00	14-04-2021	22:12:00	27,7	MECANICO	ORUGA	64,0
15-04-2021	10:08:00	15-04-2021	20:00:00	9,9	MECANICO	MECANICO	12,1
16-04-2021	11:29:00	16-04-2021	16:14:00	4,8	MECANICO	MECANICO	8,5
17-04-2021	23:49:00	18-04-2021	1:14:00	1,4	ELECTRICO	SENSOR	31,6
22-04-2021	21:32:00	22-04-2021	22:20:00	0,8	MECANICO	TORRE	116,3
23-04-2021	9:02:00	23-04-2021	10:03:00	1,0	MECANICO	MECANICO	13,3
24-04-2021	2:06:00	24-04-2021	3:33:00	1,5	MECANICO	MECANICO	8,0

26-04-2021	1:48:00	26-04-2021	3:04:00	1,3	MECANICO	HIDRÁULICO	25,8
27-04-2021	15:10:00	27-04-2021	16:30:00	1,3	MECANICO	INY AGUA	36,1
29-04-2021	9:31:00	30-04-2021	16:51:00	31,3	MECANICO	TORRE	31,0
02-05-2021	23:12:00	03-05-2021	1:32:00	2,3	MECANICO	TORRE	54,4
03-05-2021	6:33:00	05-05-2021	17:56:00	70,8	MECANICO	ORUGA	5,0