

# Análisis de un sistema anti fugas para el mejoramiento y optimización del arranque neumático en camiones 793 Caterpillar

Araujo Díaz Luis Fernando, Perez Berbel Remberto  
 Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.  
 Tecnología en mantenimiento Electromecánico Industrial  
 Universidad Antonio Nariño  
 Barranquilla, Puerto Colombia  
 laraujo68@uan.edu.co, rperez07@uan.edu.co  
 Ingeniero Wilman Orozco  
 Wilman.orozco@uan.edu.co

**Resumen** - La optima operatividad de los camiones mineros es de suma importancia para el cumplimiento de las metas de producción en cuanto a volumen de extracción en toda empresa minera. El presente proyecto tiene como objetivo analizar la implementación de un sistema anti fugas para el mejoramiento del arranque neumático en camiones 793C de Caterpillar, donde se busca minimizar la tasa de camiones no disponibles por las llamadas caídas en campo, tiempos muertos de operación con el fin de preservar la vida útil de los equipos y generar una solución eco amigable tomando como referencia los conocimientos básicos de un sistema de arranque neumático para levantar el modelo de la solución aquí propuesta. El tipo de estudio fue exploratorio, descriptivo y explicativo para valorar el grado de prioridad de los requerimientos; Se inició el trabajo con un análisis del problema, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado. De esta forma, se determinaron las causas y efectos relacionados con los problemas de fuga en la flota y se presenta el esquema del prototipo del sistema anti fuga propuesto.

**Índice de Términos – arranque, caídas en campo, neumática, solenoide.**

## I. INTRODUCCION

Desde el principio el hombre ha utilizados la minería para la creación de herramientas que en la actualidad han aportado al desarrollo tecnológico. En este sentido, en el sector minero el área de mantenimiento se constituye como uno de los departamentos responsables del buen funcionamiento de los camiones 793 Caterpillar, cuya función es el cargue y acarreo de material. Esta área trabaja por garantizar que los equipos alcancen un mínimo de fallas y se encuentren en condiciones

adecuadas para asegurar la eficiencia y productividad de las empresas. Observando los datos de producción del sector, se sabe que el equipo de carga tiene en promedio una utilización de 22 - 23 horas diarias y una productividad de 480 tph (tons per hour) por turno de trabajo, en condiciones óptimas. En la industria minera uno de los problemas más encontrados es la alta frecuencia de caídas en campo por intervalos muy amplios de tiempo, causados en el encendido de los camiones por fugas de aire en el sistema de arranque. Se detectó que al momento de que los operarios deban tomar pausas deban apagar el camión; ya sea por recesos en el turno, clima u otra novedad; el encendido del motor puede tomar desde 30 a 120 minutos. Este se ve afectado por falta de presión de aire por fuga en el motor de arranque lo cual repercute negativamente en la productividad de las empresas.

Con el fin de optimizar los tiempos de cargue y acarreo y minimizar en su totalidad las caídas en campo, se pretende presentar una propuesta a partir de los conocimientos básicos que se tienen en cuanto al sistema neumático de encendido de un motor de arranque para camiones 793CAT. De este modo, la importancia de mantener en buen estado los equipos es relevante ya que estos funcionan con la fuente de energía neumática la cual en el mercado es relativamente costosa [11]. Lo anterior implica, que es imprescindible aprovechar al máximo la capacidad de los camiones para evitar generar sobrecostos energéticos, mano de obra y mantenimiento. Por ello, resulta interesante que desde el área de mantenimiento se presente una solución para las fallas en fuga del sistema de encendido; si bien no existen investigaciones previas, se puede tomar como referencia desde la literatura los conceptos generales de las fuentes de energía disponibles para realizar un plan de mejora preliminar. Sin embargo, dado que el sistema trabaja con aire comprimido, por simplicidad se debe aprovechar la misma para generar energía y ponerlo en marcha.

## II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### A. Antecedentes

En el 2017, Marcheras y León [3], presentan en su proyecto de investigación un modelo de mantenimiento para minimizar fallas y averías, mejorando la confiabilidad en camiones de acarreo 793CAT; este reporte es de gran ayuda al momento de realizar el análisis de falla que permitió identificar la avería durante el encendido de los camiones, como se mencionó anteriormente. De este mismo modo, se ratifica la importancia de cuantificar la disponibilidad de los camiones; en el proyecto de Otero y Linero [12], dicho modelo sirve de referencia para identificar las tareas de mantenimiento necesarias para que el equipo desempeñe las funciones para las cuales fue diseñada, aún después de la implementación, es decir, que mediante esta metodología se puede mejorar el esquema de trabajo actual con el fin de minimizar la sobre carga laboral en los operarios de mantenimiento.

Estos sistemas necesitan detectores que permitan identificar si existe o no fugas; esto sería una mejora significativa en la operatividad de los técnicos de mantenimientos ya que, si esto existiera, al presentarse la falla no tendrían que dirigirse hacia el camión a corregir, sino que el mismo sistema anti fugas se autogestionaría con aire de reserva para el próximo encendido. Con la revisión literaria se encontró un proyecto de Colmenares et al. [7], donde proponen un dispositivo microelectrónico para la detección de fuga de gas natural, además hacen el uso de un display que permite que las personas identifiquen visualmente las novedades de fuga; se puede tomar esto último como referencia para implementarlo en el sistema anti fuga como una luz LED, por ejemplo.

### B. Planteamiento del Problema

En cualquier empresa dedicada a explotar, producir, transportar y embarcar material extraído de la operación minera, carbón a partir de material estéril o bien, BCM's. Mes a mes, el sector minero es retado a cumplir metas ambiciosas para la exportación de estos minerales. Las áreas directamente responsables para el cumplimiento de estas metas son producción y mantenimiento; la primera trabaja por crear los planes de trabajo óptimos entre máquinas y operadores para conseguir los objetivos, y la segunda, es la encargada de velar porque se mantengan disponibles y en buen estado los equipos mineros como camiones de acarreo, cargadores, tanqueros, palas excavadoras, entre otros. Para el desarrollo de este estudio, se tomó como foco una mina de carbón, donde compartieron los siguientes datos de la disponibilidad de camiones de acarreo

TABLE I  
DISPONIBILIDAD TOTAL DE LA FLOTA DE ACARREO

Disponibilidad	
<b>793</b>	251
793B	18
793C	70
793D	148
793F	15
<b>830</b>	<b>14</b>
830E	14
<b>Total</b>	<b>265</b>

Esta tabla incluye la cantidad de camiones disponibles por tipo 793 y 830 CATERPILLAR para la mina objeto de estudio. Elaboración propia.

Como observa en la Tabla I, los camiones 793CAT representan la mayor participación de equipos mineros, y sobre estos se centra el objeto de estudio de este proyecto. Estos, tienen una capacidad de 480 tph con una disponibilidad de 22 – 23 horas diarias en promedio, una vida útil aproximada de 15 años y en una mina de tamaño regular operan entre 10 y 250 de estos. En las tres minas estudiadas, se tiene en total 251 camiones 793CAT, pero sólo se centrará en los 793C, Tabla II.

TABLE II  
CARACTERÍSTICAS EQUIPO 793C

Equipo de Acarreo	Número de Equipos Rodando	Tonelada Capacidad por Equipo
793C	70	240

La disponibilidad de estos equipos es una de las variables más representativas para garantizar el éxito en el cumplimiento de las metas diarias de producción en volumen de carbón extraído y transportado, por tal motivo es importante garantizar que todos los equipos de acarreo se encuentren en condiciones óptimas para el trabajo. Cómo se observa en la Tabla III, cada camión 793C tiene la capacidad de transportar 240 toneladas de mineral y su producción por hora es de 480 toneladas realizando dos viajes; cada que el camión se detiene genera unas pérdidas significativas en términos de toneladas que se dejan de extraer y costos de oportunidad,

TABLE III  
PRODUCCIÓN POR HORA 793C

793 C	Productividad/h (toneladas t)	Costo de		Costo de Oportunidad
		Tonelada de Mineral (USD)	Tiempos Down/día (horas)	
1	480 t/h	70 USD	1 hora	-33,600 USD
70	33,600 t/h	70 USD	70 horas	-2,352,000 USD

De acuerdo a la Tabla III, se puede analizar que por 1 hora de tiempo down se dejan de producir 480 toneladas lo cual representa una pérdida de 33,600 USD; ahora bien, si se

extiende a los 70 camiones de acarreo 793C, serían 70 horas muertas donde no se extraerían 33,600 toneladas de mineral y en pérdidas monetarias serían 2,352,000 USD. En ambos casos, los costos de oportunidad son elevados y en este análisis, no se están incluyendo los tiempos inactivos por eventos como clima, varadas por fallas, lo cual es común en el campo minero y aumentaría el impacto significativamente en volumen y costos. En este sentido, ha sido importante valorar que se puede hacer para minimizar las consecuencias antes mencionadas, es por ello que se realizó un análisis más profundo de las variables que desde el área de mantenimientos se pueden controlar, por ello se listaron las fallas más frecuentes que generan averías en los camiones 793C,

TABLE IV  
DIAGRAMA DE PARETO

Categorización de Fallas				
Tipos de Fallas	Número de Fallas	% Tiempo de Falla Total	% Tiempo de Falla Acumulado	% Tiempo de Falla Acumulado
Sistema de Arranque	38	38,00	31,4%	31,4%
Frenos	25	63,00	20,7%	52,1%
Suspensión	16	79,00	13,2%	65,3%
Motor	12	91,00	9,9%	75,2%
Lubricación	9	100,00	7,4%	82,6%
Aceite-Filtro	8	108,00	6,6%	89,3%
Llantas	7	115,00	5,8%	95,0%
Refrigeración	4	119,00	3,3%	98,3%
Carrocería	2	121,00	1,7%	100,0%

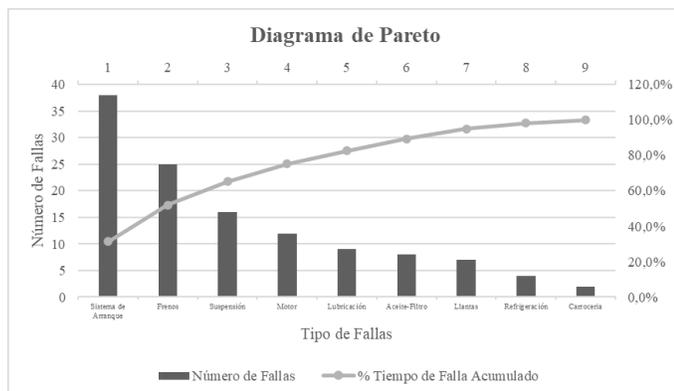


Fig. 1. Diagrama de Pareto

De acuerdo a la Fig. 1, se observa el comportamiento de los tipos de fallas, queda en evidencia que el *sistema de arranque* representa el 30% de tiempo down, por ellos se considera puntos críticos para analizar, sintetizar e implementar mejoras que, a la larga impacten de manera positiva sobre la problemática de disponibilidad y fallas en los equipos de acarreo 793C. Una vez identificada la falla más frecuente, se comprende que este sistema de arranque funciona por medio de un compresor que genera la energía que alimenta el sistema en forma de aire comprimido, almacenado en el tanque de aire o de servicio, este necesita estar seco y limpio para que las partículas dañinas no obstruyan las partes móviles del mismo, lo cual se hace por medio de unos filtros. Cuando hay voltaje en el momento del encendido, este llega a una pieza llamada solenoide la cual envía una señal piloto para abrir la válvula y permitir el paso del aire hasta el motor de arranque. Por ello,

se detecta que uno de los problemas más frecuentes en el momento del encendido de los camiones es la *falta de presión por fuga en el sistema de arranque*, lo que hace que sea necesario llamar al personal de mantenimiento para darle solución, esto genera un aumento en tiempos muertos (down) e interrupción en la operación.

Como se ha venido mencionando, una caída en campo representaría para una empresa del sector minero una pérdida de aproximadamente 240 a 960 tph por camión que se estarían dejando de producir en un turno de trabajo. Teniendo en cuenta la capacidad instalada de una mina, estas cifras serían de 33,600 a 2,352,000 USD, que se dejan de percibir. Debido a esta situación se presenta como herramienta para optimizar la estrategia de encendido actual el *análisis de un sistema neumático de anti fuga para camiones 793C para un plan de mejoramiento*.

### C. Objetivos

#### 1. Objetivo general

Analizar un sistema anti fugas para el mejoramiento del arranque neumático en camiones mineros 793 Caterpillar.

#### 2. Objetivos específicos

- Describir el funcionamiento del sistema de arranque neumático en camiones mineros 793 Caterpillar para detectar debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas.
- Establecer un plan de mejoramiento para el sistema de arranque neumático en camiones mineros 793 Caterpillar.
- Identificar los componentes necesarios para el plan de mejoramiento del sistema de arranque neumático mediante los conocimientos teórico-prácticos de un sistema neumático.
- Determinar las variables de medición del sistema por medio de un análisis de incidencias.

### D. Justificación

El impacto que tiene la maquina pesada dentro del sector de minería es de suma importancia, tal es que sin estas sería imposible movilizar grandes toneladas de minerales y realizar otro tipo de actividades complejas de manera rápida y generando ahorro en costos generales.

En este orden de ideas, es indispensable garantizar la continuidad de la operación, evitando las fallas en el encendido, minimizar el costo de hora/operación y maximizar la producción. Por lo tanto, se requiere reducir los tiempos muertos, las fallas ocasionales y trabajar en pro de preservar los componentes y disponibilidad de los equipos. Así mismo, maximizar la rapidez en los tiempos de mantenimiento evitando el desgaste en los operarios por reprocesos en fallas repetitivas.

El presente proyecto propone asegurar la preservación y encapsulamiento del aire en el tanque de servicio para tenerlo disponible para el encendido. Por ello, se han tenido en cuenta diversos factores como brindar una solución eco amigable, que no afecte los componentes del sistema, mejorar la producción en campo y disminuir el desgaste de los técnicos.

*Beneficios relacionados con el sistema anti fugas,*

- Aumento significativo de la efectividad de la flota 793C.
- Minimiza las caídas en campo y tiempos muertos.
- Minimiza el riesgo a dependencias del área de mantenimiento.
- Minimiza el riesgo de tener bajas en la productividad.
- Minimiza el desgaste del personal de mantenimiento.

*Beneficios económicos,*

- Disminución de los gastos de reparación.

*Beneficios psicosociales,*

- Disminución del desgaste físico del personal)

## E. Metodología

Para el levantamiento de los planos de la mejora propuesta para el sistema de arranque, se ha tomado como referencia a menor escala, el funcionamiento actual del sistema de encendido de los camiones, antes explicado. Primero se realizará una revisión literaria a cerca del sistema de arranque neumático. Luego, se analizará el funcionamiento actual de este a través de una matriz DOFA, por consiguiente, se realiza un análisis del sistema de manera presencial para identificar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades del sistema de arranque.

Se definirán las herramientas o equipos a usar para establecer el plan de mejoramiento y se espera con posteriores estudios determinar el comportamiento de la flota basados en información histórica para realizar un comparativo del antes y después.

### 1. Tipo de estudio

El tipo de estudio que se implementará durante la realización de este proyecto es de carácter *exploratorio* porque la construcción de la investigación parte de la formulación e identificación del problema, para posteriormente ampliar la información a partir de antecedentes y reseñas investigativas referidas a la temática central. Adicionalmente, será de tipo *retrospectivo*, debido a que el estudio ha iniciado después de los efectos causados por el problema, por lo tanto, los datos se obtendrán de históricos o bien, de lo que los prestadores del servicio de mantenimiento suministren como información.

El proyecto también se apoyará del tipo de estudio *descriptivo*, con el fin de caracterizar la población objetivo y

obtener información sobre el comportamiento de los camiones y todos los aspectos relacionados con la problemática y su solución, que permita delimitar las variables de investigación y concluir la formulación del problema.

Finalmente, corresponde a un carácter *explicativo* porque va más allá de explorar o describir un concepto, contextualizando las causas de la problemática y explicando por qué ocurren, de esta forma facilita su comprensión, y sustenta el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

## 2. Fuentes y técnicas de recolección de la información

### 2.1 Fuentes primarias

Las fuentes primarias que se emplearán para el desarrollo del estudio exploratorio, descriptivo y explicativo será mediante la formulación de entrevistas no estructuradas y encuestas estructuradas a los conductores y prestadores de servicio de mantenimiento con el fin de levantar información y datos de interés para el diagnóstico de la temática.

#### a) Técnicas de recolección de información primaria:

De acuerdo al tipo de estudio y métodos de investigación, las técnicas de recolección primarias a saber serán,

- *Entrevistas:* Se realizarán entrevistas no estructuradas a los prestadores del servicio de mantenimiento, expertos en temas de ingeniería y conductores de los camiones 793CAT para obtener información de primera mano por los involucrados en la problemática.
- *Observación científica:* La observación se empleará como complemento del ítem anterior, mediante el registro de lo percibido visualmente, recopilando y clasificando la información base para el desarrollo posterior del diseño.
- *Revistas científicas:* Publicaciones en serie con información de actualidad a cerca de los últimos desarrollos y temas de interés relacionados con la problemática tratada.

### 2.2 Fuentes secundarias

La fuente secundaria empleada para la construcción de la investigación se compone de las lecturas de artículos y revistas de investigación científica en base de datos, libros, manuales, páginas de internet y otras fuentes relacionadas con los aspectos temáticos a exponer en el proyecto.

#### b) Técnicas de recolección de información secundaria:

- *Libros:* literaturas y fundamentos técnicos que contendrán temáticas puntuales sobre el tema a desarrollar y que nutrirán el contenido del mismo.

- *Revistas:* De carácter científico, servirán de base para la investigación actualizada de desarrollo de métodos y técnicas a la vanguardia.
- *Bases de Datos:* mediante el catálogo de la biblioteca y repositorios digital se permite encontrar un robusto volumen de información sobre temas específicos de manera rápida y lógica.

### 3. Etapas metodológicas

Las etapas metodológicas se establecieron de acuerdo a las fases del proyecto de investigación,

- *Fase de análisis y diagnóstico*
- *Fase de planeación*
- *Fase de presentación del plan*

### F. Alcance y limitaciones en el proyecto de investigación

El presente proyecto está orientado a todas las empresas del sector minero con el que se pretende diseñar un sistema para minimizar las fallas de fuga en el esquema de encendido de los camiones 793CAT con el fin de mejorar la disponibilidad, tiempos de encendido de los equipos durante los turnos de trabajo y disminuir el desgaste de los técnicos. El alcance de este proyecto será+ hasta la etapa de análisis de la implementación del sistema anti fuga y por temas de seguimiento, no se podrá continuar con la validación de la respuesta a esa implementación piloto que se recolecta mediante datos históricos.

Adicionalmente, se pretende desarrollar mediante un orden metodológico las etapas consecuentes al diseño de una herramienta para solventar los bajos niveles de producción de los camiones 793 CAT y que permita a las empresas del sector hacer un mayor control y seguimiento evolutivo de los mismos. Otra limitante, es que se deja abierta la idea de establecer un plan de mantenimiento para mejorar los tiempos de repuesta en caso que con la instalación de este sistema anti fuga se presenten a futuro otro tipo de fallas o averías. Para cumplir con el alcance del proyecto se construirá el análisis con esta primera versión del prototipo teniendo en cuenta que cumpla con el objetivo y que mejore el proceso de encendido de la flota.

## III. MARCO DE REFERENCIA

### A. Marco Conceptual

En este proyecto investigativo no se puede ignorar los términos de referencia que aluden al objeto de estudio relacionado con sistema neumático, caídas en campo, solenoides, entre otros. Se destacan entonces a continuación los conceptos más utilizados durante el desarrollo del contenido y de esta forma facilitar la comprensión al lector.

- Sistema: un sistema es un objeto complejo cuyas partes o componentes se relacionan con al menos alguno de los demás componentes; ya sea conceptual o material. Todos los sistemas tienen una composición, estructura y entorno, pero solo los sistemas materiales tienen mecanismos, y solo algunos sistemas materiales tienen figuras.
- Sistema neumático: un sistema neumático aprovecha la presión y volumen del aire comprimido por un compresor de aire (cilindros y motores) en movimientos rectilíneos y giro, que se usan para automatizar maquinaria en casi todas las industrias.
- Solenoides: es una bobina de material conductor enrollado que funciona a través de campos electromagnéticos para la apertura o cierre de una válvula.
- Fuga: salida accidental de gas o de líquido por un orificio o una abertura producidos en su contenedor
- Motor de arranque: es un motor eléctrico alimentado con corriente continua con imanes de tamaño reducido y que se emplea para facilitar el encendido de los motores de combustión interna, para vencer la resistencia inicial de los componentes cinemáticos del motor al arrancar.
- Válvula: dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.
- Válvula relé: las válvulas de relé aumentan o disminuyen rápidamente la presión del aire comprimido y acortan los tiempos de respuesta y acumulación de presión de los sistemas de frenado neumático. Las válvulas de relé no solo ejercen presión rápidamente sobre los cilindros de freno, sino que también actúan como válvulas de liberación rápida cuando se liberan los frenos.
- Válvula de alivio: las válvulas de alivio de presión, también llamadas válvulas de seguridad, están diseñadas para aliviar la presión cuando un fluido supera un límite preestablecido. Su misión es evitar la explosión del sistema protegido o el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión.
- Presión: la presión (P) es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea.
- Voltaje: la tensión eléctrica o diferencia de potencial es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.
- Sensor de presión: es un dispositivo capaz de medir la presión de gases o líquidos.
- Resistencia eléctrica: es la oposición al flujo de corriente eléctrica a través de un conductor.
- Compresor: es una máquina térmica diseñadas para aumentar la presión de cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores.
- Manómetro: instrumento de medición para la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados.

- **Luz LED:** es un diodo emisor de luz, fuente de luz constituida por un material semiconductor dotado de dos terminales.
- **Tiempos muertos:** paros totales generados en la línea de producción que originan retrasos en las entregas de los pedidos e incumplimientos a los clientes, retrocesos, disminución de los márgenes de rentabilidad y decremento en la capacidad productiva.

## B. Marco Teórico

En este apartado se presentarán las teorías, modelos y enfoques metodológicos seleccionados para ser la base en la que se construyan los cimientos para el desarrollo y planeación de la solución tecnológica, objetivo de este proyecto. Las consideraciones teóricas que se tuvieron en cuenta están orientadas hacia herramientas de uso cotidiano en el sistema de arranque neumático y desarrollo de un sistema anti fugas.

### 1. El proceso de diseño en Ingeniería.

En el campo de la ingeniería, existe una actividad antigua que permite desplegar la creatividad humana hacia el desarrollo y transformación de recursos. Dicha actividad es pilar fundamental en el ejercer ingenieril, se trata entonces del diseño. Algunos autores la conciben como algo novedoso, dinámico, evolutivo y que puede adaptarse a los requerimientos y/o especificaciones de los clients, Boccardo [2] lo define:

*“El diseño es un proceso cuyo objetivo es transformar los recursos en sistemas o productos para la satisfacción de las necesidades de cualquier índole.”* p.41

#### ➤ Metodologías del diseño.

Con respecto a la metodología del diseño, Nigel Cross la define como el estudio de los principios, prácticas y procedimientos de diseño, en un sentido amplio. Además de reflexionar siempre sobre la naturaleza y extender el conocimiento por evolucionar en una creación [2].

#### ➤ Pasos del método de diseño

Para iniciar el desarrollo de un diseño es importante estructurar los pasos lógicos para lograr un diseño óptimo con múltiples variables y restricciones con el fin de encontrar una solución única [2]. De manera gráfica se despliega el paso a paso del método de diseño en la Fig. 2.,

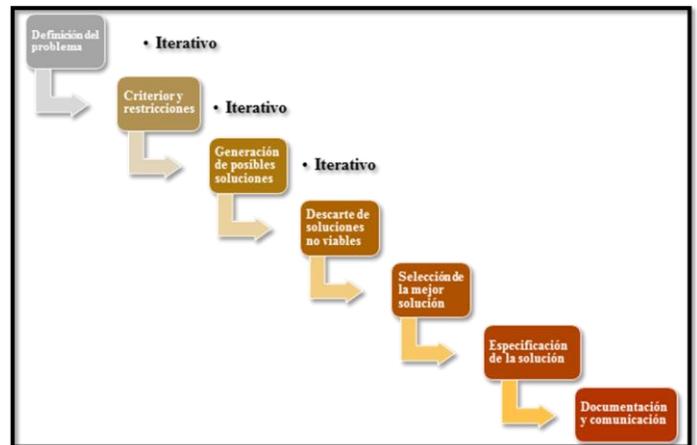


Fig. 2. Paso a paso etapa de diseño

Se desglosa a continuación cada uno de los pasos para el proceso de diseño contextualizando cada ítem, con base a lo estipulado por el autor [2]:

**Definición del problema:** mediante herramientas de investigaciones y capacidad analítica detectar el problema y enmarcarlo en el contexto.

**Criterios y restricciones:** una vez se ha diagnosticado el problema, se procede a estudiarlo y a determinar los criterios y restricciones alrededor de la situación objeto de estudio. Estos criterios servirán de requerimiento, especificaciones y/o detalles de diseño.

**Generación de posibles soluciones:** este constituye uno de los puntos más importantes para el ingeniero, donde se desata la creatividad. Se recomienda generar lluvia de ideas para crear el mayor número de propuestas de posibles soluciones. La comunicación es muy importante durante esta etapa.

**Descarte de soluciones no viables:** posteriormente, se procede a descartar aquellas ideas que no son viables. Es decir, se comparan las posibles soluciones y mediante un análisis de forma sistemática, lógica y crítica, donde se evalúan variables como el costo, el tiempo, esfuerzo humano. Si los resultados no cumplen, se descarta la propuesta de solución.

**Selección de la mejor solución:** luego, entre las mejores soluciones se selecciona la que más se ajuste a los requerimientos especificados por el cliente. Si, por el contrario, ninguna de las ideas logra resolver la problemática, el proceso se repite nuevamente.

**Especificaciones de la solución:** en este punto se realiza la prueba de viabilidad de la solución seleccionada. Se valora entonces si esta cumple con la resolución del problema planteado.

**Documentación y comunicación:** este último marco corresponde a la retroalimentación y divulgación del nuevo planteamiento de la solución.

## 2. Generalidades de un sistema neumático.

La utilización del aire y otros gases como medio para la transmisión de señales es muy comúnmente usada en sistemas neumáticos. La tecnología es muy importante en el campo de la neumática por su automatización para la aplicación del aire comprimido en la industria (ensamblado, empaquetado, etc.), para la generación de movimiento en máquinas y controladores automáticos. Los circuitos neumáticos encargados de transformar la energía del aire en mecánica son ampliamente utilizadas en diversas áreas e industrias por gran versatilidad y por la velocidad de reacción de los actuadores y por no necesitar un circuito de retorno del aire [8].

Los sistemas neumáticos tienen una ventaja muy relevante, el movimiento del émbolo de los cilindros de los actuadores es más rápido que en los mecanismos hidráulicos [5]. Un mecanismo neumático básico podría representarse mediante la Fig. 3.,

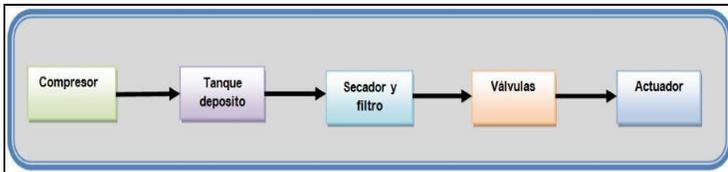


Fig. 3. Diagrama funcional de un sistema neumático. Adaptado de *Educación Tecnológica*, por Nestor Horacio, s.a, ([https://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index\\_archivos/Page4697.htm](https://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page4697.htm)).

Básicamente, un sistema neumático se caracteriza por generar fuerza, potencia o señales a través del resorte natural del aire [17]. Este aire obtenido directamente de la atmósfera, se comprime y se prepara para poder ser utilizado en los sistemas. A continuación, se describe paso a paso el funcionamiento de un sistema neumático<sup>1</sup>, Fig. 4. El compresor absorbe aire de la atmósfera y aumenta su presión reduciendo el volumen en el que se encuentra [5]. Del mismo modo, detiene su acción cuando se alcanza la presión deseada, como se observa en la Fig. 5.

El tanque de almacenamiento o depósito en la Fig. 6., acumula el aire producido por el compresor, este tanque a su vez tiene varios elementos conectados que controlan las condiciones del aire. El filtro acondiciona el aire (purificación, secado, etc.) antes de ser introducido al sistema [8], como se representa en la Fig. 7.

En la posición de reposo la válvula se encuentra sin accionar y el aire fuera del sistema, se recomienda detallar las Fig. 8., y Fig. 9.

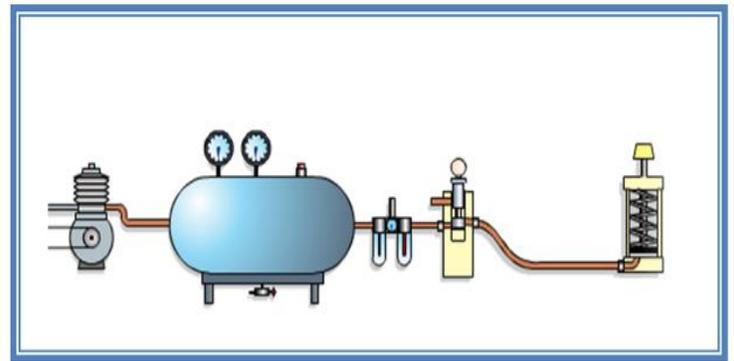


Fig. 4. Sistema neumático.

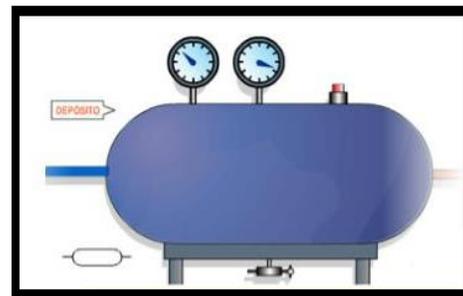
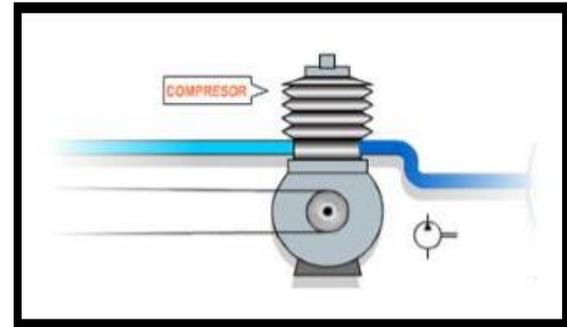


Fig. 5.  
Compresor de aire.

Fig. 6. Tanque de almacenamiento.

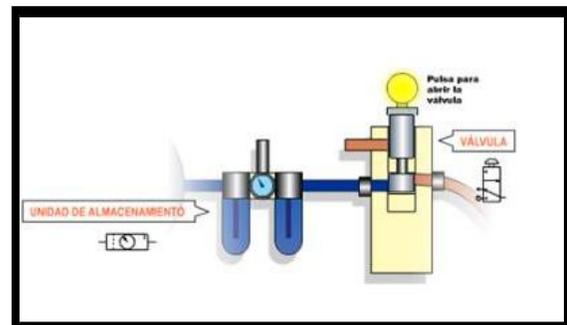


Fig. 7. Filtro de aire.

<sup>1</sup> Las fig. 4. A fig. 11., fueron adaptados de *Educación Tecnológica*, por Nestor Horacio, s.a, ([https://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index\\_archivos/Page4697.htm](https://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page4697.htm)).

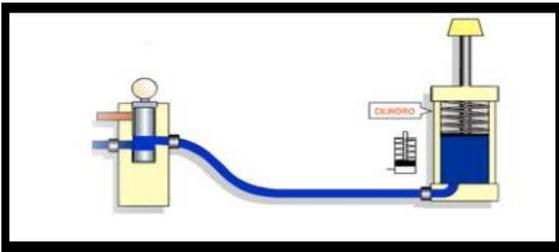


Fig. 8. Válvula del sistema.

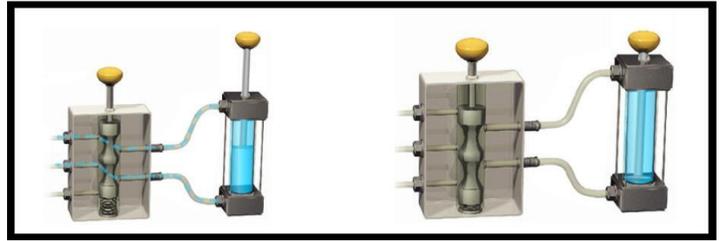


Fig. 12. Cilindro de doble efecto.

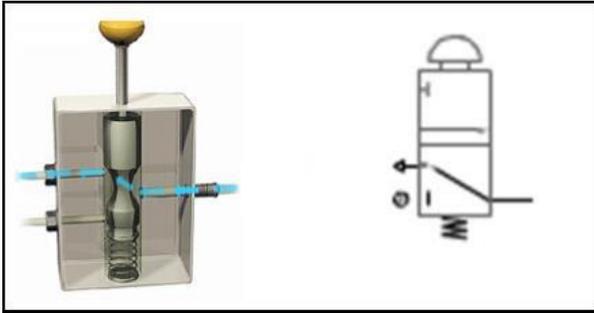


Fig. 9. Válvula se encuentra sin accionar.

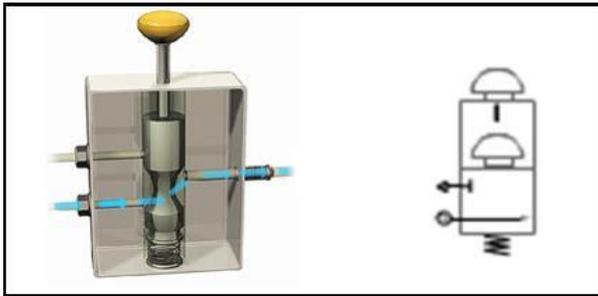


Fig. 10. Válvula accionada.

En la Fig. 10., se tiene que la posición de trabajo la válvula esta accionada y el aire entra al sistema. El cilindro de simple efecto, como su nombre lo indica realiza un trabajo en un único sentido por donde tiene contacto con el aire. Cuando el aire entra en la cámara del cilindro realiza presión y desplaza el elemento móvil o embolo [8]. Existe un retorno inmediato debido al resorte que tiene en su interior. Sólo realiza trabajos donde el desplazamiento es de avance, como se observa en la Fig. 11.,

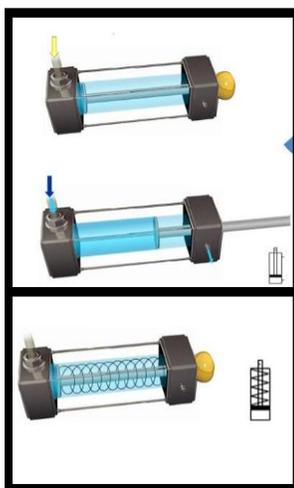


Fig. 11. Cilindro de efecto simple.

De la Fig. 12., se destaca que los actuadores neumáticos, dispositivos que convierten energía neumática en energía mecánica, pueden ser de dos tipos: cilindro neumático (para movimientos lineales) y motor neumático (para movimiento rotatorio continuo) [8]. La energía aplicada por el aire a presión, puede aplicarse para transportar, excavar, levantar, perforar, manipular materiales, controlar e impulsar vehículos móviles tales como: tractores, grúas, retroexcavadoras, camiones recolectores de basura, cargadores frontales, frenos y suspensión de camiones, vehículos para la construcción y manutención de carreteras entre otros.

#### ➤ *Ventajas y desventajas de la neumática.*

Los sistemas neumáticos son una excelente solución para las funciones de transmisión de energía cumplen con características de seguridad, calidad y fiabilidad a la vez que reducen costos. Estos factores son de suma importancia para el desarrollo de importantes áreas como la aeronáutica, por ejemplo, en la producción en masas de autopartes, vehículos y productos con materiales maleables, sin dejar de lado el impacto significativo en la minería. Su gran contribución ha apoyado en la asistencia de elementos de dirección y sistema de frenos tanto en camiones y autobuses. Los rápidos avances realizados por la minería y construcción de túneles son el resultado de la aplicación de modernos sistemas neumáticos [1].

No menos importantes es la confiabilidad que brinda su implementación lo que responde a una amplia gama de aplicaciones industriales en las que los usuarios exigen cada vez más una mayor calidad. Los sistemas neumáticos utilizados en la manipulación, sistemas de fijación y robots de soldadura aseguran un rendimiento y una productividad elevados. Con respecto a la industria del plástico, tanto la neumática y la electrónica hacen posible que la producción esté completamente automatizada, entregan un nivel de calidad constante con un elevado grado de precisión. Los sistemas neumáticos son de vital importancia en aquellos procesos claves donde se requiere de mucha precisión, higiene y seguridad tal son los casos de las instalaciones de la industria farmacéutica y alimenticia, entre otras. La minimización en el costo es un factor vital a la hora de asegurar la competitividad de un país industrial.

Los actuales avances tecnológicos exigen retribuir con resultados financieros robustos y la respuesta se encuentra en los sistemas neumáticos. Entre otros casos, vale la pena resaltar el uso de estos sistemas en la industria de carretillas elevadoras, las máquinas herramientas de alta tecnología, así como los equipos de fabricación para procesos de producción

automatizada, las modernas excavadoras, las máquinas de construcción y obras públicas y la maquinaria agrícola.

#### ➤ *Ventajas de la Neumática*

El aire es el elemento principal, vital y abundante en nuestro planeta tierra, su captación es fácil y no posee propiedades explosivas, por lo que no da cabida a riesgos de chispas. Por su composición molecular pueden trabajar a velocidades razonablemente altas y fácilmente regulables. El trabajo con aire no daña los componentes de un circuito por efecto de golpes de ariete [8], ni la salud ni el medio ambiente. Otra ventaja destacable es que cualquier sobre esfuerzo o golpe, interno o externo no afectará los componentes. Trabajar con aire es una forma de utilizar energía limpia y los cambios de temperatura no afectan en forma significativa. Puede ser comprimido al aplicar fuerza o presión, hasta que pueda volver a su estado inicial devolviendo la energía acumulada [1].

#### ➤ *Desventajas de la neumática*

Dado que se requiere de la recuperación del aire empleado necesita de una preparación especial antes de su utilización y prever que en circuitos muy extensos se llegan a desperdiciar cargas considerables. Las presiones a las que trabajan normalmente, no permiten aplicar grandes fuerzas y otras limitantes son los altos niveles de ruido generado por la descarga del aire hacia la atmósfera. [8]

#### ➤ *Aire comprimido*

El aire comprimido es un aire sometido a presión, compuesto generalmente por nitrógeno, oxígeno y otros gases, 78%, 21% y 1% respectivamente, no tiene olor, ni color, ni sabor.

La presión de este depende de la altura, como altitudes de referencia para la presión y la temperatura del aire suelen ser las siguientes:

$P_o = 1.013 \text{ bar}$  y  $T_o = 20^\circ\text{C}$  (condiciones estándar)

$P_o = 1.013 \text{ bar}$  y  $T_o = 0^\circ\text{C}$  (condiciones normales)

### 3. *Fundamentos de ingeniería concurrente.*

La nueva perspectiva del diseño donde se congregan los requerimientos funcionales y los de fabricación, junto con una nueva cultura organizacional y herramientas integradoras surge en el año 1986 el nuevo concepto de *Ingeniería Concurrente* en el Institute for Defense Analysis Data (IDA) [10]. La definen en su reporte R-338 como “un esfuerzo sistemático para un diseño integrado, concurrente del producto y de su correspondiente proceso de fabricación y servicio”. Pretende que los encargados del desarrollo desde un principio, tengan en cuenta todos los elementos del Ciclo de Vida del Producto (CVP), desde el diseño conceptual hasta su disponibilidad, incluyendo calidad, costo y necesidad de los usuarios [10]. Se puede decir entonces que este enfoque sistemático a diferencia de las etapas de la ingeniería convencional permite realizar un diseño paralelo donde se integra el producto y los procesos, por ende, la participación

de la manufactura y los servicios de apoyo es de forma transversal.

Por lo tanto, la concurrencia es la simultaneidad en la ejecución de múltiples tareas en un mismo lugar o tiempo. Adicionalmente, permite la realización simultánea donde desde el inicio del proyecto o trabajo, se pueden diseñar de forma integral todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde su creación, planeación, requerimientos costos hasta su eliminación o reciclaje [17]. Se tiene entonces que la ingeniería concurrente desarrolla procedimientos competitivos, se han establecido cinco fundamentos pilares para su metodología:

#### 1. *El ciclo de vida y recursos asociados*

De acuerdo a las literaturas, el conjunto de etapas recorre un producto individual o agrupación de los mismos, destinados a satisfacer una necesidad desde que éste es creado hasta su fin de vida. Se identifican 6 etapas para el ciclo de vida de un producto,

*Decisión y definición:* La primera etapa consiste en la decisión de crearlo y la tarea de definirlo mediante especificaciones.

*Diseño y desarrollo:* Engloba las actividades que permiten la especificación y definición según las características especificada por los clientes que a la postre conlleven a su fabricación.

*Fabricación:* Conjunto de actividades destinadas a la transformación del producto, cumpliendo condiciones de calidad, precio y tiempo.

*Distribución y comercialización:* Etapa del ciclo de vida del producto que, a pesar que no agregan valor, son importantes para el desarrollo de las demás etapas y hacer efectivo su uso.

*Utilización y mantenimiento:* Corresponde a la funcionalidad y cumplimiento de los objetivos para el cual fue diseñado el producto.

*Fin de vida:* Última etapa, donde se decide la disposición final de vida útil del producto y su eliminación que puede presentar varias formas de consecuencias económicas y medioambientales muy distintas.

#### 2. *Evolución de los modelos del proceso de diseño*

En este apartado se expone el fundamento relacionado con la evolución de los modelos donde se identifican dos tipos de modelos de diseño [17]:

- *Modelo del ciclo básico de diseño:* También denominados clásicos, aquí se integran actividades básicas como lo son el análisis, síntesis, simulación y evaluación. Es un ciclo fundamental que se puede aplicar de forma iterativa a distintas etapas del proceso de diseño

- *Modelo de etapas:* Puede incluir otras etapas del proceso de desarrollo. Se destacan dos tipos de modelos: los realizados en centros de investigación y los utilizados en la industria.

A nivel general, las metodologías cuentan con cuatro fases en el proceso de diseño:

*Ideación:* Se definen los requerimientos y determinar cómo analizar la concurrencia entre las actividades.

*Desarrollo conceptual y básico:* Se establecen las alternativas de solución sobre el producto funcional, se puede realizar benchmarking, especificaciones, simulación y evaluación para seleccionar las mejores alternativas de solución.

*Desarrollo avanzado:* también denominada diseño del detalle, ya entrega como producto las especificaciones y estándares del diseño del producto.

*Lanzamiento:* se fabrican prototipos para validar el diseño y realizar mejoras. Se inicia entonces la manufactura del producto.

*Modelos de etapas del proceso de desarrollo.*

Este modelo se vale de ingeniería inversa y el Seis Sigma, mediante la combinación de metodologías clásicas, métodos y herramientas que se emplean en el proceso de diseño. Adicionalmente, en el documento de Ribas [17], sugieren un modelo de desarrollo de producto definido; en este modelo sugiere actividades y herramientas para el diseño de cualquier tipo de producto. Tiene en cuenta si la actividad es de análisis, síntesis o evaluación.

### 3. Familia, portafolio y gama de productos.

De acuerdo a la literatura, se define familia de productos como “un conjunto de productos que comparten una plataforma común” [17] p.41; portafolio de productos como “un conjunto de productos distintos que ofrece una determinada empresa” [15] y por último, gama de productos corresponde a “la agrupación de productos necesarios para una actividad (..)” [17] p.42.

### 4. Arquitectura de producto y modularidad

La arquitectura de un producto o sistema constituye una herramienta operativa de síntesis destinada a dar apoyo a sus etapas de concepción y diseño [17],

*Arquitectura de producto:* La arquitectura de un producto se concreta a través del establecimiento de las reglas de diseño, entre las que cabe destacar la definición de los módulos, las interfaces y las plataformas.

*Regla de diseño:* Es cualquier regla conceptual, tecnológica, constructiva, comercial o contractual, destinada a dirigir y orientar el diseño de un producto o sistema.

*Módulo:* Es una parte de un producto o sistema delimitado a través de jerarquizar la información asociada en:

1. Información visible, que explicita la relación del módulo con su exterior.
2. Información oculta, que interrelaciona elementos internos de un módulo; suele ser oculta y, puede ser determinada con independencia del resto del sistema

*Plataforma:* conjunto de recursos comunes compartidos por varios productos y que responden a una arquitectura favorable para el conjunto de productos implicado.

## IV. ETAPA DE ANÁLISIS

Para iniciar con la etapa de análisis, se partirá abordando la falla que más impacto en términos de costo y tiempo está afectando los niveles de productividad del complejo minero objeto de estudio. Durante el planteamiento del problema se logró identificar mediante el Diagrama de Pareto que la falla más frecuente con un 30% de impacto, es el *sistema de arranque* en camiones 793CAT. Para recabar la información es importante entonces conocer el funcionamiento del sistema de arranque de los mismos, con el propósito de hacer un análisis de debilidades, fortalezas, amenazas y oportunidades (matriz DOFA) e identificar posibles soluciones que a la postre permitan mejorar la problemática de la baja productividad en términos de volumen de mineral transportado por inconvenientes en el encendido de la flota y de este modo, establecer un plan de mejoramiento para el sistema de arranque en camiones 793 Caterpillar. Para el funcionamiento de este sistema se deben tener en cuenta algunos factores:

- Temperatura inicial del motor.
- Presión inicial del aire que debe ser de aproximadamente.
- Previamente deben encontrarse en funcionamiento la bomba de prelubricación.
- Voltajes y corrientes requeridos para la operatividad de los sensores.

El motor de arranque es el principal elemento que se procederá análisis, donde su función se centra en el corazón de lo que en sí es un sistema neumático, transformar la energía de aire comprimido en energía mecánica. Esta a su vez, genera la fuerza requerida para hacer virar el volante de inercia y así poder arrancar. Este proceso como se ha mencionado antes, es crítico para el cumplimiento de la jornada de producción en un complejo minero. Antes se calculó el costo de oportunidad generado, o bien, lo que deja de percibir en dólares una empresa minera por los altos tiempos de inactividad, alrededor de 33,600 USD por hora. En la Fig. 13., se señalan las partes más destacadas del motor de arranque. Se debe tener en cuenta que el consumo de aire está directamente relacionado con la velocidad, también la presión es un factor importante a la hora de ejercer la fuerza necesaria para girar el volante del motor. Para que el sistema de arranque se mantenga en buenas condiciones y su vida útil sea óptima, la línea de alimentación de aire deberá estar libre de agua y suciedad como lo mencionamos en el marco teórico. El motor de arranque es el

elemento encargado de transformar la energía obtenida del aire comprimido en la energía mecánica de rotación encargada de virar el volante de inercia y comenzar la puesta en marcha del motor.

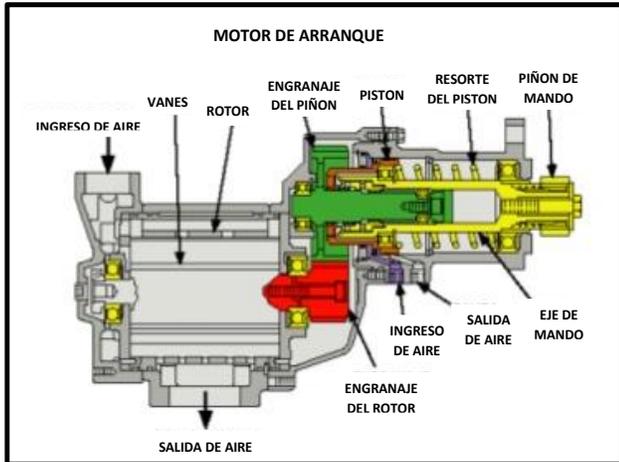


Fig. 13. Motor de Arranque. Adaptado de *Educación Tecnológica*, por Castiñeira, s.a, ([https://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index\\_archivos/Page4697.htm](https://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page4697.htm)). (Castiñeira, s.f.)

Contextualizando a un complejo minero para el caso que compete, es de vital importancia antes de validar el sistema anti fuga, se procede a identificar las actividades a tener en cuenta en el arranque del sistema.

#### ➤ *Proceso De Encendido Camión 793 CAT*

En la parte señalada de la Fig. 14., se observa el tanque de aire de almacenamiento o depósito, ubicado en el lado derecho de la plataforma, este elemento es el encargado de procesar el aire para el arranque del camión. Vale la pena destacar que el diseño y el tamaño del tanque ya han sido determinadas previamente por el proveedor Caterpillar, teniendo en cuenta que la dimensión debe ser la adecuada y el aire que comprime debe cumplir con los estándares de calidad necesarios. Adicionalmente, debe garantizarse llevar al mínimo la oscilación de presión interna y lograr que se lleve a cabo de manera exitosa el flujo continuo de aire comprimido.



Fig. 14. Identificación de tanque de almacenamiento.

En la Fig. 15., el lector puede observar el tanque sin un sistema anti fugas instalado, la manguera de distribución conectada directamente al tanque, tampoco se identifica un dispositivo que genere un reporte, aviso o alerta sobre el nivel de presión de salida. En este orden de ideas, el sistema de arranque requiere de accionamientos combinados para accionar las válvulas utilizando la energía generada por el aire. Este movimiento se genera cuando el aire alimenta la válvula principal, esta a su vez realiza el trabajo de transformar la energía, la válvula emite una señal que retiene y luego libera para accionar la válvula principal. Dicho en otras palabras, el sistema funciona cuando un dispositivo magnético llamado solenoide (ver Fig. 16.) se energiza con un voltaje de 24 voltios proveniente del switche de encendido del camión y envía una señal piloto de aire a través de un canal interno y conexión externa.



Fig. 16. Tanque de almacenamiento.



Fig. 17. Solenoide.



Fig. 18. Válvula relee o sapo.

Una vez energizado el solenoide (Fig. 17), se crea un campo magnético por ello es recibida la señal piloto interna que permite el paso del aire retenido, a través de la válvula de encendido, válvula principal que se acciona (también conocida como válvula sapo, Fig. 18) hasta el motor de arranque, ver la Fig. 19. Por otra parte, hay una variable que debe tenerse en cuenta y es el nivel de carga del motor; la razón radica en que estos motores trabajan de continuo o bien, como se dice en términos industriales “en caliente”, como son motores que operan con cargas excesivas, las válvulas que se instalen en el sistema deberán ser diseñadas de tal manera que alcancen altos niveles de presión y puedan maniobrar el volante con la velocidad necesaria para iniciar el arranque del camión 793C.



Fig. 19. Motor de arranque neumático. Desde la fig. 16., hasta la fig. 19., otorgada por colaboración de un trabajador de un complejo minero.

Para realizar un análisis 360 de las condiciones actuales de operabilidad, no sólo desde la parte técnica sino contemplando todos aquellos factores internos y externos, que impacten en la condición actual de los camiones 793C. Cómo se puede observar gráficamente en la matriz es posible presentar las situaciones que impactan a la flota, para ello se empleará la herramienta conocida como matriz DOFA (en sus siglas Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas), orientada específicamente al proceso de encendido o sistema de arranque del motor. La importancia de la matriz DOFA radica en que entrega un diagnóstico real de la condición o problema que se está estudiando, identifica el cómo estamos, cómo vamos, lo cual brinda el principal elemento requerido para tomar decisiones, que no es otro que la conciencia de la realidad, pues cuando se conoce la realidad se identifica qué hacer y cómo proceder.

➤ *Matriz DOFA*

En este orden de ideas, con todo el material y la revisión literaria se procede a construir la tabla donde se visualiza la matriz DOFA para el sistema de arranque de la flota de camiones 793C. De acuerdo al análisis interno y externo, se encuentra que dentro de las estrategias para solventar las debilidades y amenazas que se están presentado y que a largo plazo puede generar un impacto mayor tanto en la maquinaria de acarreo, mayor participación por parte del área de mantenimiento lo cual puede considerarse reprocesos y aumento en los costos de mantenimiento, equipos y costos de oportunidad, ver Fig. 20.



Fig. 20. Análisis DOFA. imagen extraída de Negocios y Empresas, s.f, <https://negociosyempresa.com/analisis-foda-matriz-dofa/>. (Negocios y Empresa, s.f.)

TABLE V  
MATRIZ DOFA

MATRIZ DOFA		
<b>Factores Internos</b>	<b>DEBILIDADES</b>	Averías en el sistema neumático   Fugas en el sistema de arranque   No existe un dispositivo en el depósito de aire comprimido que controle el buen uso del aire del tanque para que este no se pierda a lo largo del sistema   Persistencia de daños severos en el sistema de arranque por oscilación en la presión puede generar desgaste en las piezas   Daños por gradientes térmicos   Humedad en compresor   Reprocesos de mantenimiento por parte del personal.
	<b>FORTALEZA</b>	Mano de obra cualificada   Disponibilidad de elementos, equipos y maquinarias para el mantenimiento oportuno de los equipos.
<b>Factores Externos</b>	<b>AMENAZAS</b>	Pérdidas cuantiosas por horas muertas  Afectar la disponibilidad de los equipos a la hora de realizar los trabajos requeridos y a su vez bajar los niveles de productividad drásticamente  Caídas en campo (don)
	<b>OPORTUNIDADES</b>	Establecer plan de mejora para el sistema de arranque en la flota de camiones, ideando un dispositivo anti fugas para asegurar la disponibilidad de este a la hora del encendido  Proponer instalación de dispositivo anti fugas.

De acuerdo a la Tabla 3-1, se destaca que desde el área de mantenimiento se puede idear un plan de mejora a partir del diseño y elaboración de un sistema anti fuga para camiones 793C, aprovechando que se cuenta con un talento humano cualificado y dispuesto a capacitarse para mejorar los tiempos de operación y minimizar las caídas en campo. Se sabe que el 100% de los camiones de este tipo, presentan esta falla. Este plan se extiende en el siguiente capítulo.

## V. PLAN DE MEJORA

### A. Enfoque Metodológico

Como se mencionó en el capítulo I, se ha seleccionado como referente el *modelo de etapas desarrollado por la industria*, ya que se ajusta al tipo de producto que se llevará a cabo en este proyecto, el cual será mecánico y también, le da mayor prioridad a la etapa de desarrollo. De esta forma se presenta la siguiente Tabla VI,

TABLE VI  
MODELO DE ETAPAS POR LA INDUSTRIA

FASES	OBJETIVO DE LA FASE
IDEACIÓN	Especificaciones y/o requerimientos
DESARROLLO CONCEPTUAL Y BASICO	Equipos / Criterios / costo
DESARROLLO AVANZADO	Planos

Tabla modificada de la original propuesta por Ribas, C; Molina. Ingeniería Concurrente una metodología integradora. Universidad del Norte. 2006. (Ribas & Molina, 2006).

Se propone este modelo sistemático con el fin de concentrar los esfuerzos en el estudio de las actividades que se consideran esenciales para el planteamiento de una mejora del sistema como lo son el análisis de requerimientos, desarrollo, y las restricciones que a la postre permitan garantizar el éxito del producto cumpliendo así con el objetivo de mejorar los niveles de producción de la flota 793C. De este modo, se inicia con la *fase de ideación*.

#### Fase I: Ideación

Como se ha venido sustentando a lo largo de este proyecto, la presencia de fugas, aumentan el nivel de fallas (tiempos muertos, baja producción y demás) en la flota 793C, estas son generadas por múltiples causas. Se observa que existen múltiples factores que influyen:

1. Barreras relacionadas con problemas en el encendido de los camiones 793C.
2. Barreras relacionadas a la falta de aire en el tanque de almacenamiento.
3. Barreras relacionadas al desgaste del personal técnico de mantenimiento
4. Barreras relacionadas a la pérdida de tiempo de producción.

Debido a que el problema relacionado con el encendido de los camiones es complejo y sobre el radica la problemática de este proyecto; para su análisis fue necesario contemplar todas las sub causas que repercuten en cada una de las cuatro barreras antes mencionadas. De esta forma, se garantiza que se han estudiado todas las variables potenciales de ser estrategia de solución. El desarrollo de estrategias para lograr una mejora en la falta de aire en el tanque de depósito para el momento del encendido es un proceso complejo que depende de la presión y la disponibilidad de este. las cuales en condiciones

normales para alcanzar una productividad optima de 480 T/h las variables iniciales de presión y voltaje deberían ser:

Voltaje (V): 24 voltios

Presión (P): 90 – 105 PSI

Para este proyecto en particular, la problemática se abordará con el *plan de mejora del sistema de arranque neumático en camiones mineros 793 CAT*. Vale la pena resaltar que, el desarrollo de este sistema fue realizado por un estudiante de Tecnología para el Mantenimiento Electromecánico Industrial, basado en el funcionamiento neumático de encendido de los mismos camiones, Además, es normal preguntarnos por qué el uso de un sistema neumático y no otro sistema, pero como lo hemos mencionado en las ventajas de este, el aire es de fácil captación y abunda en la tierra. El aire no posee propiedades explosivas, por lo que no existen riesgos de chispas. El trabajo con aire no daña los componentes de un circuito por efecto de golpes de ariete. Las sobrecargas no constituyen situaciones peligrosas o que dañen los equipos en forma permanente. Los cambios de temperatura no afectan en forma significativa. Aparte de proporcionar energía limpia. Esta es una primera etapa del diseño, por lo tanto, el resultado será a nivel de prototipo; se espera a largo plazo validar el sistema.

Por otra parte, para el desarrollo de los requerimientos necesarios para el plan de mejora, se propone la elaboración de un acople de piezas prediseñadas como sistema anti fuga, se destacan tres etapas importantes: recolección o investigación, análisis y especificación requerimientos. La Tabla VII enlista las herramientas a utilizar durante el desarrollo de los requerimientos, de este modo se garantizará que el levantamiento de requerimientos se ha de realizar de forma realista, coherente con las necesidades de la flota de camiones 793 CAT y evitando ambigüedades.

TABLE VII  
DESARROLLO DE REQUERIMIENTOS Y SUS HERRAMIENTAS

HERRAMIENTAS	Recolección	Análisis	Especificación	Validación
Entrevista cuestionario	X			
Revisión literaria	X	X		
Análisis del comportamiento de los 793 CAT	X	X		
Fallas registradas	X	X		
Lluvia de ideas	X	X		
Glosario	X	X		
Propuesta de sistema anti fugas				X

Davyt, N. Ingeniería de Requerimientos: Una guía para extraer, analizar, especificar y validar los requerimientos de un proyecto. Universidad ORT. Facultad de Ingeniería.

La fase de ideación constituye la definición de los requerimientos, esta se ha orientado a través de dos vías: la opinión de los expertos en mantenimiento y la de los conductores de los 793 CAT. Por ello, el levantamiento de requerimientos se realizará en una reunión con el área de

mantenimiento. Para efectos de análisis, se ha recibido colaboración e intervención de esta misma, quién ha resuelto dudas pertinentes sobre el objeto de estudio. El desarrollo de esta fase está conformado por tres actividades que hacen parte del ciclo básico de diseño: *Análisis, Síntesis y Desarrollos*, [17], las cuales se presentan a continuación.

#### A) *Análisis de requerimientos.*

Las soluciones requieren de un estudio minucioso previo a la etapa de planeación para garantizar su éxito; estudios han revelado que un robusto análisis de requerimientos es parte esencial en proyectos con estas características y que tienen un impacto positivo en el mercado. De acuerdo con la primera vía para el levantamiento de requerimiento se concretó una reunión entre los ingenieros, conductores y el área de mantenimiento, se realizó un primer levantamiento como fase preliminar a la propuesta del prototipo del sistema anti fugas. Se recopiló información de primera mano relacionada con las necesidades más frecuentes que tiene la flota de camiones 793 CAT, con respecto al problema de la falta de aire en el momento de su encendido y las características de lo que se espera pueda solventar el sistema.

En esta primera fase, también se estudió la problemática, sus causas e impacto desde la perspectiva del área de mantenimiento. Adicionalmente, los ingenieros, dieron a conocer las expectativas que trae un sistema anti fuga y también brindaron sugerencias acerca de la funcionalidad. En síntesis, se espera mejorar la producción de los camiones 793C, disminuir las fallas en el encendido, tiempos muertos y demás situaciones con respecto a la problemática tratada que entorpezcan el normal funcionamiento de la flota. Se ha señalado anteriormente que el problema de baja producción, caídas en campo, entre otros, se relacionan en su mayoría con demoras en el encendido por fallas en la presión y disposición del aire requerido. Teniendo en cuenta esto, una de las nuevas estrategias para mejorar es mediante el desarrollo de un sistema anti fugas. Con la revisión literaria realizada a través de diversas bases de datos, se llegó a la conclusión de utilizar un sistema neumático.

Este sistema permite mejorar la tasa de productividad, facilita estar al tanto de información para actividades preventivas, cambio y comportamientos de la flota 793C. Este sistema mantiene el aire encapsulado y disponible para el momento de ser requerido y crea una alerta en caso de falta de presión o escases del mismo, avisando mediante un sensor de presión conectado a una señal LED el comportamiento del aire en el tanque de almacenamiento. Es importante también conocer la opinión de los conductores y mecánicos; y de lo que esperan del desarrollo, de este modo, una encuesta es realizada por nuestro equipo, donde se evalúa el comportamiento de la flota (caídas en campo, falta del aire, etc.) los resultados revelaron que el 90% de la flota presenta problemas de arranques por la falta de presión. De acuerdo a lo anterior, la revisión literaria ha permitido tener perspectiva sobre sistemas neumáticos de encendido para entender su funcionamiento y plantear las posibles soluciones. Entender su funcionalidad, ventajas y desventajas es muy importante para tomarlo como referente en

el diseño del prototipo de este sistema anti fuga. Sin embargo, se debe tener en cuenta la opinión del personal directamente afectado (mecánicos, conductores, ingenieros), para comprender sus necesidades y no trabajar bajo supuestos.

Los *requerimientos funcionales*, para este proyecto en particular están conformados por el listado de los requerimientos obtenidos en el levantamiento inicial, por requerimientos sugeridos por el área de mantenimiento y también, de las investigaciones realizadas por el autor mediante revisión literaria. De esta forma,

#### *Sistema anti fugas*

1. Voltaje de encendido
2. Materiales y equipos para el desarrollo del prototipo
  - 2.1 Switch de presión
  - 2.2 Manómetro
  - 2.3 Tee
  - 2.4 Válvula relay arranque
  - 2.5 Válvula rele
  - 2.6 Uniones hembra
  - 2.7 Uniones macho
  - 2.8 Uniones estándar
  - 2.9 Adaptador
  - 2.10 Bushing
  - 2.11 Codos
  - 2.12 Mangueras
  - 2.13 Pines
  - 2.14 Cable
3. Discreción en el uso del aire contenido para el encendido del motor, y a su vez las posibles fugas de este.
4. Información sobre su objetivo y funcionalidad
5. Respuesta de alerta (LED), Mantener informado al personal de mantenimiento para prevenir, cambiar o reparar en caso de ser requerido.
  - 5.1 Informar en caso de falta de presión de aire
  - 5.2 Informar en caso de fuga
6. Adaptabilidad al tipo de población
7. Guía sobre uso del sistema
8. Soporte técnico

Los *requerimientos no funcionales*, fueron establecidos por el área de mantenimiento, quién dio a conocer los criterios para evaluar el rendimiento y funcionalidad del sistema,

1. Eficiencia
2. Seguridad
3. Dependencia
4. Usabilidad
5. Compatibilidad

#### B) *Síntesis de requerimientos.*

En este apartado, se tiene por objetivo procesar la información recolectada en la etapa de análisis. Adicionalmente, en esta etapa se debe realizar la compilación de los requerimientos capturados en los tres momentos descritos al inicio de este apartado; es decir, el listado preliminar obtenido de la primera

reunión, luego su ampliación mediante documentación bibliográfica.

*Requerimientos para el desarrollo del prototipo.*

1. Swith de presión
2. Manómetro
3. Tee
4. Válvula relé
6. Uniones hembra
7. Uniones macho
8. Uniones estándar
9. Adaptador
10. Bushing
11. Codos
12. Mangueras
13. Pines
14. Cable
15. Luz LED

*Fase II: Desarrollo conceptual y básico*

A lo largo de este trabajo investigativo, se han venido considerando, los aspectos que más inciden en un bajo nivel de productividad de la flota. Debido a que se trata de un problema complejo relacionado con el sistema de arranque, se tienen múltiples causas, pero no todas pueden ser tratadas en este proyecto investigativo. Conforme a lo anterior, en esta fase se definirá el diseño conceptual del prototipo del sistema anti fugas; para ello se tomarán en consideración todas las investigaciones hasta ahora realizadas, las conclusiones de la información recabada que sustentan la selección de una alternativa que servirá de referente para el desarrollo del mismo. Lo anterior, permitirá establecer un marco de atributos y características, relaciones e interacciones entre los criterios y funcionalidades que harán del diseño, una herramienta única para que el personal de mantenimiento mejore sus labores eficientemente.

No obstante, no se puede omitir uno de los aspectos más importantes a la hora de diseñar un producto o servicio: conocer el mercado, o bien, el segmento o concentraciones de grupos que se beneficiarán de este diseño. Por ello se inicia esta fase consolidando las características principales de la población objetivo.

*Necesidades del sector*

Se enumera a continuación las principales características de la población objetivo y sus necesidades:

1. *Población objetivo:* personal de mantenimiento y conductores de la flota 793 CAT.
2. *Uso de camiones 793C:* el 100% de la flota
3. *Objetivo del sistema:* Mejorar los niveles de productividad y minimizar los niveles de estrés generados por la necesidad de solventar los problemas muy seguidos

4. *Mejorar el funcionamiento de la flota*
5. *Capacitar al personal de mantenimiento* con respecto al uso del sistema
6. *Mejorar el seguimiento y control* del comportamiento de los camiones
7. *Brindar confiabilidad y seguridad* en todo el personal de trabajo.

Para mejorar el seguimiento y control del sistema anti fuga, se refiere al trabajo del personal mecánico, el cual requiere de apoyo para lograr controlar cada uno de las fallas registradas. Otros criterios importantes es brindar información de primera mano al personal con el fin de que adopte comportamientos preventivos; la información es una condición necesaria pero no suficiente ya que no es la única vía para lograr mejorar los niveles de productividad de la flota, tal como brindar espacios de información, capacitación y educación.

Con base a las especificaciones técnicas presentadas, se han establecido los atributos y características bases para el diseño concurrente. Se podría afirmar que estas constituirán las funcionalidades que lo enmarcaran. Una vez definidas las especificaciones, se discriminarán finalmente cuáles serán los requerimientos que se tendrán en cuenta para este, quedarían establecidos así en la Tabla VIII,

TABLE VIII  
PARTES REQUERIDAS PARA EL SISTEMA

Partes	
1	3E-2033 Swith de presión (en serie con swith liberación P.)
1	8T-0846 Manómetro (140 Psi)
4	2D-7325 Tee ¼
1	115-9190 Válvula relay arranque (sapo)
1	5T-4434 V/V rele (línea 24Vol RH cabina-wategate)
3	8S-7169 Union hembra ¼
3	5P-8998 Union hembra ¼
3	P/S 20328 Union 1" ½ X 1" ½
1	P/S 20251 Adapter (Giratorio hembra) 1" ½ M X 1" ½ H
1	5B-7660 o P/S 20346 Bushing 2" M X 1" ½ H
2	5H-4778 Codo ¼ M & H 90 grados
1	1L-0766 Codo grande giratorio 1" ½
Manguera	
1	122-6867 Manguera de ¼ X 40" (124-1841 dos coupling)
Partes Eléctricas	
5	155-2270 Pin plug (2 conexiones)
5	102-8802 Pin recep (2 conexiones)
10	126-1767 Pin
10	126.1768 SKT
32	Mts cable 14
8	Mts cable flexicondui 3/8 P/S 17021

### Fase III: Desarrollo avanzado

En esta fase se inicia el proceso de diseño y desarrollo del prototipo a partir de la construcción de esquemas y diagramas, los cuales servirán de base para lograrlo. Ahora bien, para el desarrollo del diseño sólo se destacarán los aspectos más importantes para facilitar la comprensión de este.

#### 1) Diseño esquemático

En este apartado, se enmarca los aspectos técnicos de la solución y se definen las actividades relacionadas con el diseño. Hasta ahora se han realizado, el análisis, síntesis y evaluación de requerimientos y se establecieron las condiciones y atributos que deberá incluir el prototipo para cumplir el objetivo general de este proyecto, el proceso de desarrollo incluye las actividades de diseño de la arquitectura, el diseño detallado y las pruebas pertinentes para validar dicho diseño. A continuación, se presentará el diseño del sistema, o bien, la arquitectura del diseño basado en los datos recabados acerca de la estructura y funcionamiento de un sistema neumático, representado en la Fig. 21.,

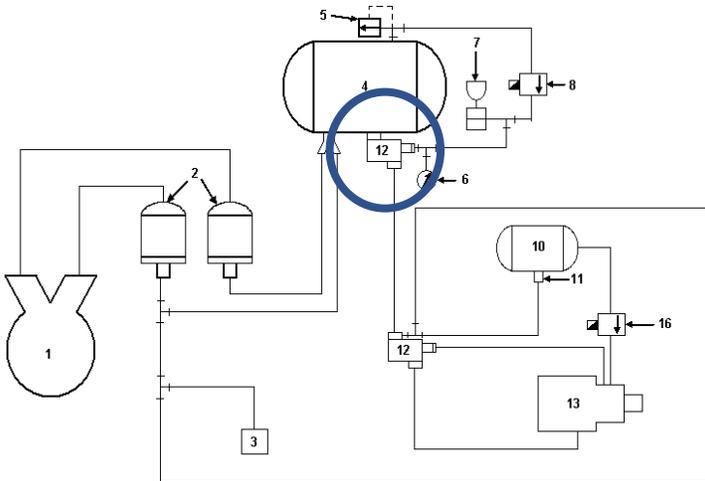


Fig. 21 a. Diseño esquemático de un sistema neumático.

Item	Nombre
1	Compresor
2	Secador de aire
3	Acople rápido llenado
4	Tanque de aire primario
5	v/v de alivio
6	Manómetro
7	Sw de presión
8	Válvula solenoide, wastegate
10	Tanque de aire secundario
11	v/v cheque
12	v/v relay arranque (sapo)
13	Motor de arranque
16	v/v starter solenoide

Fig. 21 b. Diseño esquemático de un sistema neumático.

Es importante enmarcar la ubicación del prototipo en el camión; este se colocará en el tanque de almacenamiento o deposito para poder controlar de forma directa la presión y el contenido del tanque en caso de fugas (ubicación encerrada con un círculo como se observa en Fig. 21).

#### A) Funcionalidades del prototipo anti fuga

Anteriormente se a bordo de manera generalizada el funcionamiento del sistema de arranque de los camiones 793 C. Teniendo en cuenta lo anterior se procede a describir la funcionalidad del sistema anti fugas en la Table IX,

TABLE IX  
PASO A PASO SISTEMA NEUMÁTICO

SISTEMA NEUMÁTICO	
<b>Nombre</b>	<b>Compresor</b>
<b>Descripción</b>	El aire es almacenado de manera comprimida en un tanque de almacenamiento primario que lo mantiene disponible para cuando el sistema lo requiera.
<b>Nombre</b>	<b>Secado del aire</b>
<b>Descripción</b>	Este aire comprimido necesita estar seco para que las partículas dañinas no obstruyan las partes móviles del sistema para esto se seca y se filtra.
<b>Nombre</b>	<b>Presión del aire</b>
<b>Descripción</b>	Una vez seco, se ajusta el paso y la presión del aire con un manómetro.
<b>Nombre</b>	<b>Ignición del sistema</b>
<b>Descripción</b>	El sistema funciona cuando un dispositivo magnético llamado solenoide se energiza con un voltaje de 24 voltios proveniente del switche de encendido del camión, enviando una señal piloto de aire.
<b>Actores</b>	Conductor
<b>Nombre</b>	<b>Paso del aire</b>
<b>Descripción</b>	Una vez recibida la señal piloto de aire es activada una válvula de paso (válvula sapo) dejando pasar el aire con una presión de 90 – 105 psi contenido en el tanque de almacenamiento del camión para ser conducido a través de una manguera a una segunda válvula (válvula de encendido).
<b>Nombre</b>	<b>Arranque del motor</b>
<b>Descripción</b>	Una vez energizado el sistema, un dispositivo llamado relé de arranque permite el paso del aire retenido, a través de la válvula de encendido hasta el motor de arranque.

#### B) Presentación del producto sistema anti fuga

En cuanto al diseño del prototipo del sistema anti fuga, este boceto como se ha mencionado debe maximizar el nivel de efectividad en el encendido de los camiones 793C, esto a su vez se verá reflejado en los niveles de productividad. Como se ilustra en la Fig. 22., con el número 1 se enmarca el sistema anti fuga y con el número 2 el sistema de alerta; uno controla el uso discreto del aire para que no se pierda en el sistema y la otra se encarga avisar por medio de un switche de presión al personal de mantenimiento en caso de fugas o falta de presión en el depósito. De esta forma el personal de mantenimiento está al tanto del comportamiento del aire. Si bien, este es un prototipo sujeto a mejoras.

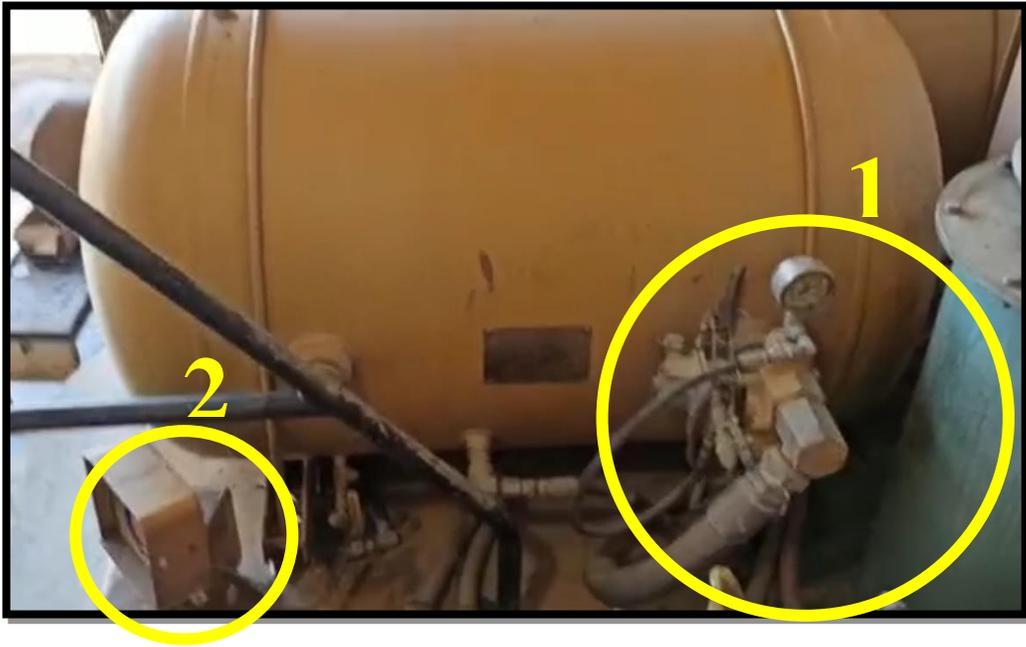


Fig. 22. Sistema de anti fuga para camión 793C. Imagen otorgada por colaboración de un empleado de La Mina.



Fig. 23. Sistema de anti fuga vista superior y lateral.



Fig. 24. Alerta LED. imagen otorgada por un empleado de la mina.

Se han tenido varias consideraciones para el diseño, ya que es muy importante que todo el personal involucrado se sienta satisfecho, y que se vea reflejado en el trabajo diario. En este sentido, se presenta el marco de aspectos fundamentales que hasta ahora la aplicación está cumpliendo como prioridad, observar Fig. 23.

- *Diseño y pertinencia*
- *Discreción en el uso del aire contenido para el encendido del motor, y a su vez las posibles fugas de este.*
- *Información sobre su objetivo y funcionalidad*
- *Respuesta de alerta (LED), mantener informado al personal de mantenimiento para prevenir, cambiar o reparar en caso de ser requerido.*

A partir de estos criterios se desagregan otros criterios más específicos algunos visibles, otros por el contrario operan de forma oculta y en segundo plano. Como se observa el acople de este primer prototipo es sencillo y funcional. Se mantiene un perfil discreto en caso de que terceros intervengan. En la Fig. 24., se presenta la incorporación de una luz LED que funcionará como alerta para el nivel de presión en el sistema.

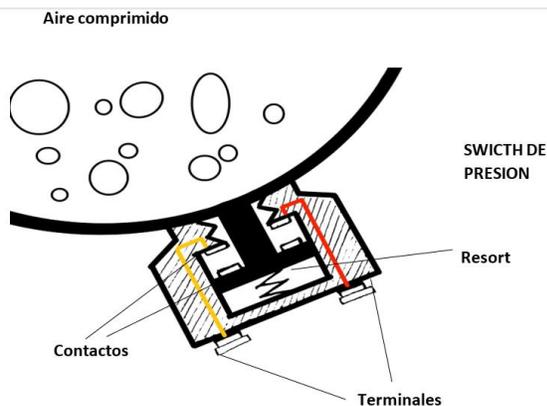


Fig. 25. Sistema Alerta LED. Elaboración propia.

### **Funcionalidad alerta LED**

Como se observa en la Fig. 24 - 25., el swich de presión ubicado en el tanque de almacenamiento o deposito, controla de forma directa el aire retenido en este. Cuando se presentan variaciones en la presión, una caída en las mismas por fugas se ve reflejado inmediatamente gracias a la alerta LED. La funcionalidad de este enmarca una falla en la presión lo cual cierra el circuito del swich y por medio de los terminales eléctricos inmediatamente manda una señal que es transformada por medio de un relay y enciende la alerta LED, ofreciendo una luz roja. Para establecer un valor de referencia en la alerta, se estableció que cuando la presión 90 PSI, la luz LED se apaga lo cual indica que el aire comprimido dentro del tanque está en el rango adecuado (más de 90 PSI) para el encendido del motor de arranque, en caso contrario se encendería la luz roja, lo que indica que puede existir una posible fuga en el depósito de aire.

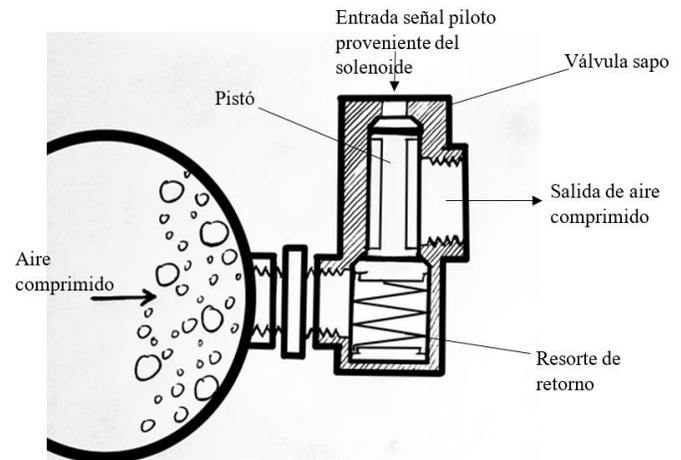


Fig. 26. Función del sistema anti fuga. Elaboración propia.

### **Funcionalidad sistema anti fuga**

El sistema funciona cuando un dispositivo magnético llamado solenoide se energiza con un voltaje de 24 voltios, lo mínimo requerido para encenderlo es 16 voltios. Este voltaje proviene del swich de encendido del camión, el cual una señal piloto de aire. Una vez recibida la señal piloto de aire es accionado el pistón de la válvula de paso (válvula sapo), dejando pasar el aire con una presión de 90 – 105 PSI contenido en el tanque de almacenamiento del camión para ser conducido a través de una manguera, llamada línea de descarga de encendido del tanque principal a una segunda válvula (válvula de encendido). De esta manera le damos solución a la problemática central de este proyecto, que es mantener el aire en el depósito disponible para el momento del arranque con sus características, ver Tabla X,

### **Características técnicas del sistema**

TABLE X  
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA

Tensión nominal	24 voltios
Peso	4 kg
Ancho	10 cm
Largo	20 cm
Temperatura Operativa	-29°C a 93°C
Presión Requerida	90 – 105 PSI

## Especificaciones técnicas de conexión

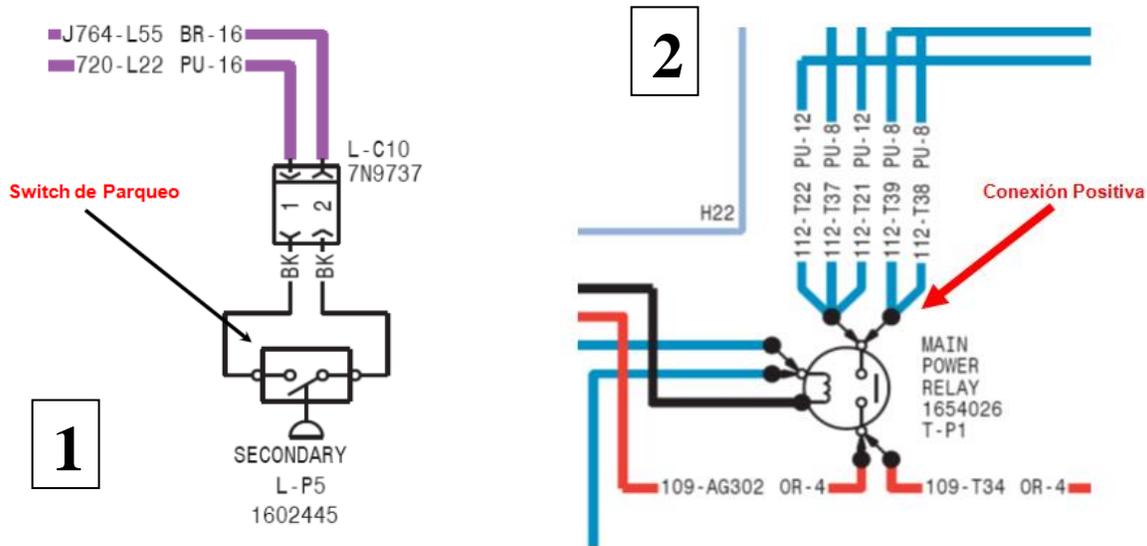


Fig. 27. Circuito del sistema de freno, conexión de switch (3E-2033) y relé de encendido, conexión valvular ele (5T-4434). Elaboración propia.

Con base a la Fig. 27., la imagen 1 presenta un switch de freno de parqueo de aire, que normalmente funciona abierto, el camión se encuentra parqueado o bien, frenado. El freno de liberación de parqueo es un switch para generar movimiento del camión, al estar deshabilitado no permite que el camión se mueva. Además, se tiene un freno de emergencia que funciona similar al de parqueo; cuando se encuentra deshabilitado, necesita una presión de aire para mover una válvula neumática que, a su vez, mueva un spool (switch que opera al presentarse presión de aire) en un cuerpo de válvula hidráulico, esto manda presión a los paquetes de freno para que deshabiliten los resortes que están en los mandos y los wheels (frenos delantero y trasero), entonces el camión queda sin freno de parqueo. Al fallar este freno, está disponible el de emergencia y lo que hace es extraer el aire almacenado del sistema anti fuga (conectado al cuerpo de válvula hidráulico), habilitándose nuevamente el freno. Para el caso de la imagen 2, presenta el relé principal de encendido, viene del *key switch*, el cual es la llave de encendido que, entre sus funciones activa, por ejemplo, las luces del tablero, entre otros. Este switch funciona con un cable positivo que viene directo de la batería, al cerrar el circuito o conectarlo, envía una señal a este relé, el cual debe tener capacidad de mandar suministro a todo el sistema que opera conectado el switch.

### 1.- Conexión de switch (3E-2033)

conexión en serie con swith de liberación parqueo detrás de la cabina.

### 2.- Conexión valvular ele (5T-4434)

Conexión a la relay principal (sistema de arranque) (main power relay 165-4026 línea 24 vol.) detrás de la cabina.

Con respecto a las especificaciones técnicas para el uso e instalación del sistema, estas hacen referencia a las

características que debe las partes tanto de freno y relay, para que puedan ser compatibles. Por lo tanto, se establece un voltaje estándar de trabajo para los dispositivos eléctricos del sistema, en este caso 24 voltios (voltaje generado por el swith de arranque del camión), y una presión máxima y mínima para que el motor de arranque ponga en funcionamiento el motor Diesel, para nuestro caso una presión de 90 -105 PSI. Con respecto a la fig.28., se representa el circuito electroneumático del sistema de anti fuga. La parte neumática controla los switch de presión como es el caso del tanque de almacenamiento que trabaja con un determinado volumen de aire, como antes se ha mencionado; cuando entra una presión de aire de 90 a 130 PSI, abre para controlar la presión de un dispositivo, ya sea de entrada o salida. Los pines que figuran en la ilustración, de control electrónico son de conexión de un módulo y se observan los voltajes directos de baterías y después de batería; el módulo de control lo que hace es controlar determinado circuito para apertura o cierre de un dispositivo.

### 3.- Conexión solenoide válvula relay sistema anti fuga 793C

Línea 122-BU es la línea que sale hacia la resistencia del secador de aire, se anula la resistencia ya que para este clima no se necesita y se toma el pin 5 del conector la alimentación para el solenoide de la v/v relay del sistema anti fuga.

### Posición del conector

#### Lado RH de cabina parte trasera externa

**3SJ** (Conector 20 Pines); **1HL 1-194** (Conector 20 Pines); **1HL 195-322** (Conector 40 pines); **1HL 322-UP** (Conector 40 Pines).

### 4.- Enrutamiento

Se puede utilizar harness CAT calibre 14 de tres cables P/N 3668856.

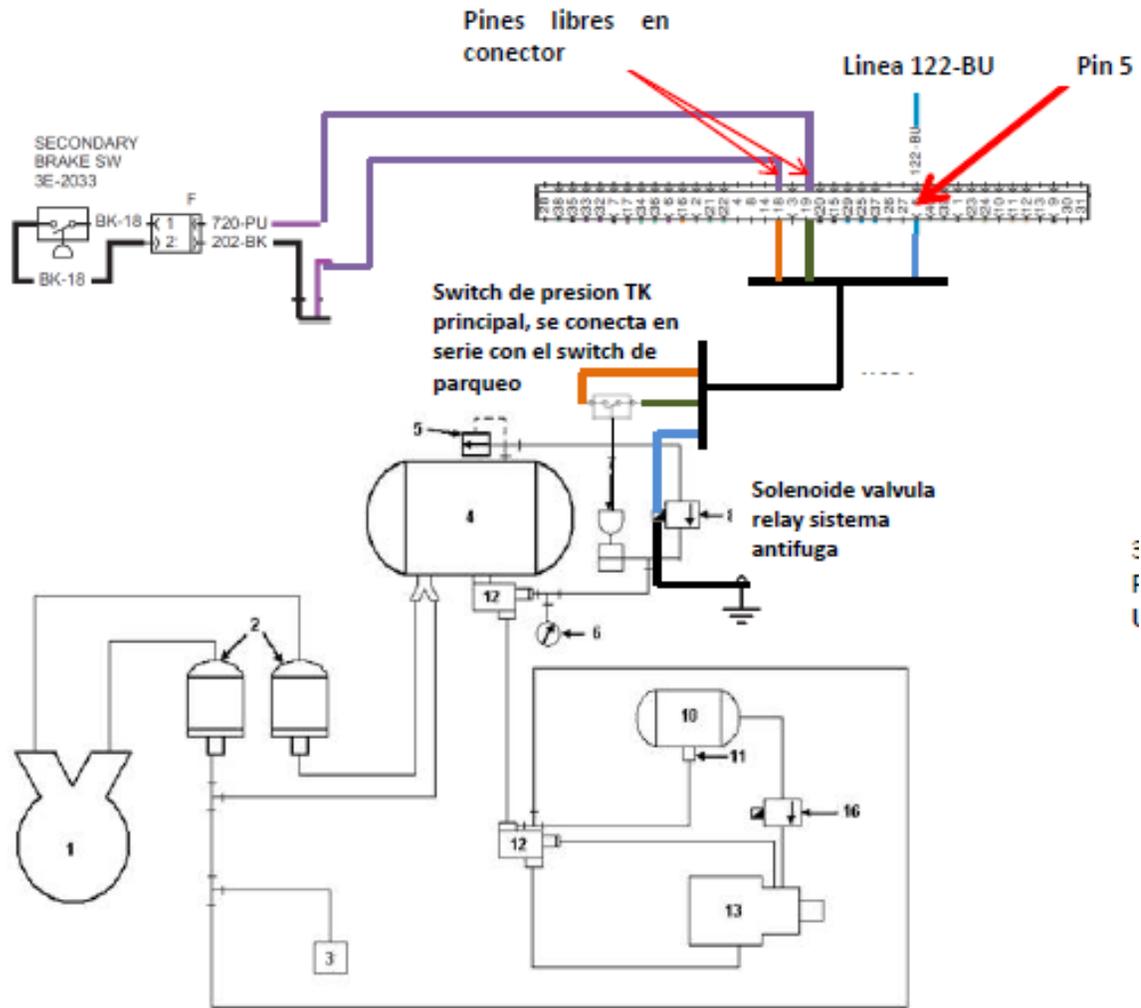


Fig. 28. Circuito electroneumático del sistema anti fuga. De acuerdo a la ilustración la definición de cada una de las líneas del circuito es: azul, líneas de alimentación directa de voltaje (vienen directas de la batería); púrpura, son líneas circuito de monitoreo payload; naranjas, líneas de arranque o starting. Elaboración propia.

## 2). Indicadores de control

Con fines de establecer una medición coherente con el plan de mejora que permita cuantificar la gestión y establecer estándares de calidad para evaluar la efectividad del sistema. Se consideraron importantes establecer los siguientes KPIs que permiten medir el avance y desarrollo del área de mantenimiento [3], los cuales son:

### 1. Rendimiento

Es la medida del rendimiento del área de mantenimiento o cualquier otra área de trabajo en el momento de realización del trabajo con respecto al estándar de trabajo rutinario.

$$\text{RENDIMIENTO} = \frac{\text{TIEMPO ESTIMADO DE TRABAJO}}{\text{TIEMPO NETO TRABAJADO}} \quad (1)$$

Nota: para el tiempo neto trabajado se excluyen los retrasos.

### 2.- Productividad

Es la medición del área de trabajo en cuanto al desempeño de esta, al cumplir con respecto al estándar de trabajo rutinario.

$$\text{PRODUCTIVIDAD} = \frac{\text{TIEMPO ESTIMADO DE TRABAJO}}{\text{TOTAL DE HORAS UTILIZADAS}} \quad (2)$$

### 3.- Disponibilidad

Es la probabilidad de que la maquinaria de acarreo se encuentre en condiciones óptimas para realizar con normalidad su trabajo en el momento en que se necesite o sea requerido.

$$\text{DISPONIBILIDAD OPERACIONAL} = \frac{\text{HL} - \text{PP} - \text{PR}}{\text{HL}} \quad (3)$$

Donde,

HL: horas laborales de la empresa o tiempo calendario.

PP: paradas programadas de mantenimiento.

PR: paradas de mantenimiento reactivo (no programado).

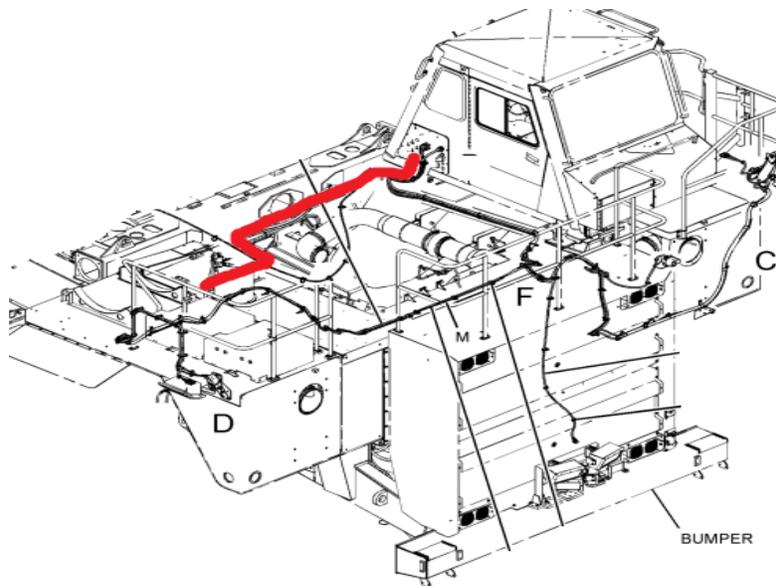


Fig. 29. Ubicación línea principal 793C. Elaboración propia.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de recabar toda la información relacionada con el análisis del funcionamiento de los camiones de acarreo 793C de Caterpillar aplicando las diversas herramientas se llega a la conclusión de:

- a) Para el presente proyecto se tomó como referencia un complejo minero ubicado en Calenturita Cesar. En el campo minero, específicamente área de producción se cuenta con 251 camiones 793CAT, pero para este estudio se trabajó sólo con los 793C de los cuales se encuentran rodando 70. La vida útil de estos camiones es de aproximadamente 90,000 horas de operación; cada uno con capacidad de 240 toneladas y trabajan de manera continua, 23 horas con cambios de turno en caliente, es decir saliendo un operario inmediatamente ingresa otro, paradas por media hora por horarios de almuerzo.
- b) Mediante un diagrama de Pareto, se identificaron las fallas con mayor incidencia en la operatividad de la flota y se encontró que entre las que más se presentan y con un tiempo de falla mayor fueron sistema de arranque, frenos y suspensión. El sistema de arranque representó la de mayor impacto sobre las demás fallas, con un 30%.
- c) La frecuencia de fallas del sistema de arranque repercute de manera negativa sobre la disponibilidad de equipos ya que aumentan los tiempos de mantenimiento, aumento de horas hombre para la reparación de los equipos de acarreo, aumento en horas muertas, aumento en costos de oportunidad.
- d) Se determinó que por cada hora que un camión 793C deja de producir por fallas en el sistema de arranque se dejan de producir 480 toneladas lo que equivale a 33,600 USD, lo cual, si lo llevamos a los 70 camiones con que se cuentan, ascendería a 33,600 toneladas y 2,352,000 USD. De acuerdo a estos datos, esta falla realmente representa el lunar negro para los tiempos de producción, donde los principales responsables de garantizar cumplimiento en las metas y los indicadores son el área de producción y área de mantenimiento. Es por ello, que analizar el sistema de arranque fue el foco y eje central de este proyecto.
- e) Mediante la aplicación de un análisis metodológico se presentó el estudio del funcionamiento de un sistema de arranque para camiones 793C y se estudiaron los componentes necesarios para su funcionamiento. Se utiliza como herramienta de estudio, fue un análisis DOFA y se identificó las debilidades y fortalezas del sistema de arranque sin mejoras. Teniendo en cuenta, que el arranque responde a un sistema neumático, este fue el marco de referencia para establecer el plan de mejora.
- f) De acuerdo a los resultados obtenidos por la matriz DOFA, se determina como estrategia para solventar las amenazas y fortalezas que desde el área de mantenimiento se puede presentar el bosquejo de un plan de mejora trabajando de forma sistemática por tres etapas: ideación, desarrollo básico y avanzando.

- g) Se propone un sistema anti fuga para controlar la oscilación de presión de aire dentro del tanque de almacenamiento y las líneas o mangueras en los que se transporta. Se realiza un paralelo del sistema actual y el que se incorpora como solución a los problemas de fugas como averías y fallas en los sistemas neumáticos.
- h) La incorporación del sistema anti fuga, consiste en instalar un switch que está en paralelo con switch de parqueo que muestra la alarma de freno de estacionamiento encendido. Se adapta para el plan de mejora también una alarma (luz LED) que indique cuando el camión se queda sin aire por fugas, y presenta también la alarma de parqueo. Si la alarma de parqueo se mantiene encendida, indica que los frenos se encuentran bien y que el problema no proviene de ellos sino por parte del switch que está en el sistema anti fuga que indica que el camión se ha quedado sin aire.
- i) Esta mejora agiliza los procesos de mantenimiento, ya que no es necesario que los operarios tengan que estar revisando constantemente los niveles de presión, sino que cada que haya una incidencia de caída en campo (down) de manera visual lo puedan detectar e identificar y proceder a darle reparación inmediata.
- j) Se establecieron unos KPIs e indicadores de gestión para medir y cuantificar en términos de rendimiento, productividad y disponibilidad, los resultados de la mejora instalada.

En cuanto a las recomendaciones para el sistema anti fuga en los camiones 793C, se parte de que al contar con el personal cualificado y los recursos de componentes y tiempo, se propone la instalación de este sistema en los 70 camiones con el fin de solventar a gran escala las caídas en campo, los procesos en el mantenimiento repetitivo y constante de esta falla, además de lograr una efectividad en los tiempos de detección temprana de una avería para lograr mejorar el indicador de tiempos de mantenimiento.

A nivel general, son más las ventajas que se proyectan con la materialización de este sistema que las limitaciones. A nivel empresa se puede lograr un aumento en el cumplimiento de las metas de productividad de mineral transportado y recolectado con un mínimo de inversión. Potencia la rapidez de trabajo, aumentando la productividad, lo cual representa una disminución en los costos operacionales. Por otra parte, a nivel técnico mecánico, la implementación de una solución con un sistema neumático las cuales son de fácil mantenimiento, su implementación es sencilla con disponibilidad de aire comprimido, es también resistente a ambientes hostiles y lo más importante son seguros evitando posibles accidentes de trabajo. Sin embargo, es importante destacar que para este sistema anti fuga es importante tener en cuenta controlar la humedad dentro del tanque de almacenamiento para evitar

contaminaciones, sería una buena opción incorporar al sistema un sensor de humedad. Por último y no menos importante, controlar y mantener pues monitoreado el comportamiento de los componentes del sistema, ya que los sistemas neumáticos generalmente presentan fallas o averías con diferentes orígenes; generalmente las fallas pueden afectar y desgastar los componentes y elementos, se pueden presentar obstrucciones en las mangueras o líneas de conexión, roturas, fugas y caídas de presión. Adicionalmente, es importante que todo cambio o modificación que se realice en el sistema de arranque actual, sea fielmente documentado a los cambios incorporados y que posteriormente se realice un programa de capacitación a todo el personal para evitar dificultades en la identificación y localización de fallas y no estorbar el proceso de reparación.

#### REFERENCIAS

- [1] Agueda, E., & Gómez, T. (2018). *Sistema DE TRANSMISIÓN DE FUERZAS Y TRENES DE RODAJE*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- [2] Boccardo, R. (2006). *Creatividad EN LA Ingeniería DE Diseño*. Caracas: Equinoccio.
- [3] Caceres, R., & León, A. (2017). *Aplicación De La Gestión De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad A La Flota De Camiones De Acarreo Caterpillar 793f De Una Compañía Minera Para El Mejoramiento De La Confiabilidad Operacional*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional DEL Santa .
- [4] Camacho, Antonio. (2005). *Herramienta PARA EL ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DENTRO DE LA PEQUEÑA EMPRESA DESARROLLADORA DE SOFTWARE EN Bogotá*. Pontificia Universidad Javeriana.
- [5] Castiñeira, N. (S.F.). *Tecnología Técnica*. Obtenido DE Tecnología Técnica: [HTTPS://WWW.TECNOLOGIA-TECNICA.COM.AR/INDEX\\_ARCHIVOS/Page5297.HTM](https://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/page5297.htm)
- [6] Caterpillar. (S.F.). *Caterpillar* . Obtenido DE [HTTPS://WWW.CAT.COM/ES\\_US/PRODUCTS/NEW/EQUIPM ENT/OFF-HIGHWAY-TRUCKS/MINING-TRUCKS.HTML](https://www.cat.com/es_us/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks.html)
- [7] Colmenares, E., Ordoñez, J., Walteros, J., & Verbel, J. (2007). *Diseño E Implementación DE PROTOTIPO PARA DETECTAR FUGAS DE GAS PARA USO RESIDENCIAL*. Bogotá: Universidad DE San Buenaventura.
- [8] Creus, A. (2011). *Neumática E Hidráulica*. Barcelona: Marcombo.
- [9] García, F. (2004). *Ingeniería CONCURRENTE Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN*. 39-44.
- [10] Guzman, J., & Romero, Y. (2002). *Diseño, Construcción Y Montaje De Un Equipo Neumático Para Moldear Laminas De Diferentes Formas Usadas En La Construcción De Carrocerías Para Buses*. Cartegena: Corporación Universitaria Tecnológica De Bolívar.
- [11] Linero, C., & Otero, A. (2014). *Modelo De Mantenimiento Basado En La Confiabilidad (Rcm) Para Flotas De Camiones 789c Caterpillar Y Su Impacto En La Disponibilidad En Una Empresa Del Sector Minero En El Departamento Del Cesar (Prodeco-Calenturitas)*. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander.
- [12] Mireles, R. (2007). *Implementación DEL Despliegue DE LA Función DE Calidad*. México: Universidad Autónoma DE Hidalgo.
- [13] Negocios Y Empresa. (S.F.). *Negocios Y Empresa*. Obtenido DE Negocios Y Empresa: [HTTPS://NEGOCIOSYEMPRESA.COM/ANALISIS-FODA-MATRIZ-DOFA/](https://negociosyempresa.com/analisis-foda-matriz-dofa/). Inédito

- [14] Olaya, E., Cortés, C., & German, O. (2005). Quality FUNCTION DEPLOYMENT Qfd: BENEFITS AND LIMITATIONS WHEN APPLIED TO DESIGNING MYOELECTRIC PROSTHESIS HAND. *Revista Ingeniería E Investigacoin*, 30-38.
- [15] Otto, & Wood. (2001).
- [16] Parker, H. (2003). Neumática. *Tecnología Industrial Neumática*, 167.
- [17] Ribas, C., & Molina, A. (2006). Ingeniería Concurrente: UNA METODOLOGÍA INTEGRADORA. *Universidad DEL Norte*.