

**UNIVERSIDAD ANTONIO RUIZ DE MONTOYA**

Facultad de Ingeniería y Gestión



**PROPUESTA DE MEJORA EN LA GESTIÓN DE  
MANTENIMIENTO DE PALAS 4100 XPC, MEDIANTE LA  
APLICACIÓN EL SOFTWARE PREVAIL Y GRAFANA EN UNA  
EMPRESA MINERA DEL SUR, 2019**

Trabajo de Investigación para optar al Grado Académico de Bachiller en Ingeniería  
Industrial

**PERCY JUNIOR CALATAYUD QUISPE**

**Asesor**

**Oscar Alberto Gallegos Llerena**

**Lima – Perú**

**Enero de 2024**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

Sres.

### **CONSEJEROS**

Pte.

De nuestra consideración:

Por la presente nos dirigimos a Ustedes para saludarlos e informar al Consejo Universitario sobre el producto académico elaborado por CALATAYUD QUISPE Percy Junior, quien solicita la obtención de su grado académico de Bachiller a través de un trabajo de investigación.

El producto académico elaborado tiene como título "Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento de palas 4100 xpc, mediante la aplicación el software Prevail y Grafana en una empresa minera del sur, 2019"

Por tanto, en nuestra condición de Asesor de producto académico y de integrante de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería y Gestión respectivamente, declaramos que el producto académico de CALATAYUD QUISPE Percy Junior ha sido examinado con el programa antiplagio Turnitin para identificar su nivel de coincidencias.

El resultado que arroja el programa es de 11% de similitud, el cual proviene de fuentes de información que han sido debidamente citadas o reconocidas utilizando las normas del sistema APA.

Sin otro particular, quedo de ustedes.

Firmado en Lima, el 27 del mes de junio del 2024

Atentamente,



Oscar Alberto Gallegos Llerena

Asesor



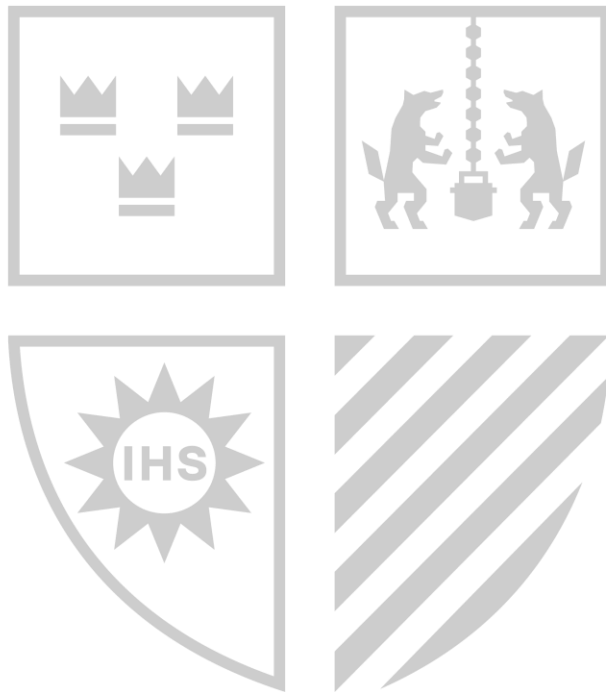
Bernardo Leonardo Meza Guzmán

Presidente  
Comisión de Grados y Títulos  
Facultad de Ingeniería y Gestión

\*Conforme a lo establecido en el documento de identidad

## EPÍGRAFE

El secreto del éxito es la persistencia por la meta.



## DEDICATORIA

A Dios, por guiarnos e iluminar nuestra mente en cada paso nuevo que damos, por colocar en mi camino oportunidades y personas que han sido de gran apoyo durante nuestro periodo de estudio.

A nuestros padres, quienes fueron nuestro apoyo y principal motivación para conseguir nuestras metas y nuestros grandes ejemplos a seguir.

A todas las personas, amigos, compañeros, maestros, familiares que nos apoyaron en diversos momentos de nuestras vidas.

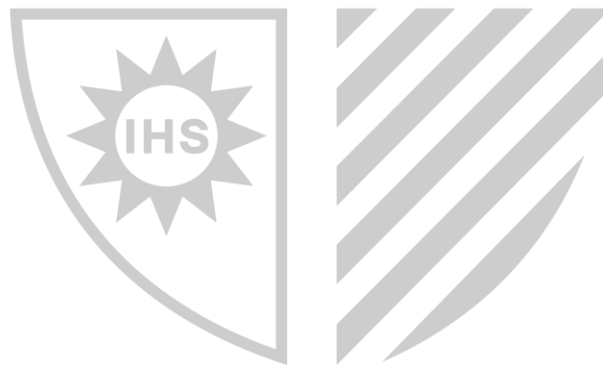


## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecemos a Dios por darnos la oportunidad de culminar esta etapa de nuestras vidas, porque gracias a Él podemos lograr triunfos y superar momentos difíciles.

A nuestros padres que siempre nos apoyaron y nos dieron el aliento para seguir adelante ante cualquier adversidad. Gracias por sus consejos y su apoyo incondicional.

A nuestros maestros y a la Universidad que contribuyeron en nuestra formación académica y de una u otra manera en la culminación de esta etapa en nuestra vida. Gracias por sus enseñanzas y experiencias que nos transmitieron día a día.



## RESUMEN

En este trabajo de investigación, se presenta una propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento de las palas 4100 XPC de la empresa minera del sur, mediante la aplicación del software PreVail y Grafana, permitirá optimizar el tiempo de mantenimiento y asegurar la disponibilidad del equipo.

Se inició con el diagnóstico de la situación actual de la empresa y la gestión de mantenimiento para llegar a conocer los puntos débiles dentro del proceso, determinando el proceso de inspección del sistema de aire y la inspección del desgaste de frenos, como los procesos a mejorar por ser los que ocasionan paradas imprevistas de las máquinas.

En la actualidad, las palas 4100 XPC cuentan con un software propio que permite obtener señales gracias a diversos sensores instalados en los equipos para facilitar el control del estado de los componentes. Sin embargo, dicho software únicamente tiene un 30% de utilización, lo que conlleva a una situación susceptible de ser mejorada.

En el diagnóstico del problema se presentó que las palas 4100 XPC tienen eventos de sobrepresión y baja presión de aire de frenos que ocasionaron la aceleración del desgaste de frenos, además se verificaron fallas en un mantenimiento programado.

Para resolver el problema encontrado, se propone la aplicación del software PreVail y Grafana, que con la ayuda de Dashboards, se pueda lograr eliminar las tareas de inspección durante el mantenimiento programado y solo se inspeccionan los equipos cuando el Dashboards indique alguna disconformidad en sus límites de control establecidos.

Finalmente, se determinó que con la instalación del software se lograría un incremento del 0.45% de disponibilidad contractual de los equipos, lo que significa un ahorro de 36 horas de mantenimiento y una representación de \$7, 920, 000 al año.

**Palabras claves:** gestión de mantenimiento, propuesta de mejora, software PreVail, Grafana

## ABSTRACT

This research paper presents a proposal for improving the maintenance management of the 4100 XPC shovels of the southern mining company, through the application of the PreVail and Grafana software, which will optimize maintenance time and ensure equipment availability.

It began with the diagnosis of the current situation of the company and the maintenance management to get to know the weak points within the process, determining the inspection process of the air system and the inspection of brake wear, as the processes to be improved for being the ones that cause unplanned stops of the machines.

At present, the 4100 XPC shovels have their own software that allows obtaining signals thanks to various sensors installed in the equipment to facilitate the control of the state of the components. However, this software only has a 30% utilization rate, which leads to a situation that can be improved.

In the diagnosis of the problem it was found that the 4100 XPC shovels have overpressure and low brake air pressure events that caused the acceleration of brake wear, also failures in scheduled maintenance were verified.

To solve the problem found, it is proposed the application of Prevail and Grafana software, that with the help of dashboards, it is possible to eliminate the inspection tasks during scheduled maintenance and only inspect the equipment when the dashboard indicates any nonconformity in its established control limits.

Finally, it was determined that with the installation of the software an increase of 0.45% of contractual availability of the equipment would be achieved, which means a saving of 36 hours of maintenance and a representation of \$7,920,000 per year.

**Keywords:** maintenance management, improvement proposal, Prevail software, Grafana.

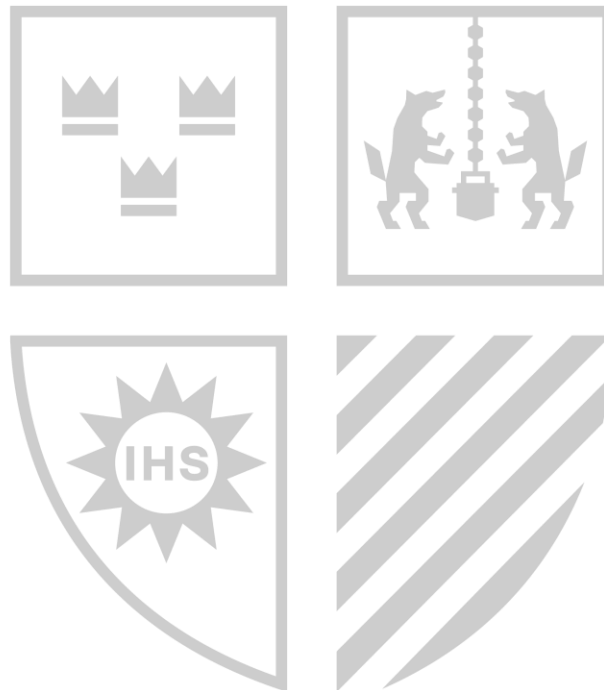
## TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	18
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO .....	20
1.1. Planteamiento del Problema. ....	20
1.2. Formulación del Problema.....	21
1.3. Objetivos.....	21
1.3.1. Objetivo general. ....	21
1.3.2. Objetivos específicos.....	21
1.4. Alcance de la investigación .....	21
1.5. Viabilidad de la investigación .....	22
1.5.1. Recursos financieros.....	22
1.5.2. Materiales y equipos.....	22
1.5.3. Tiempo.....	22
1.6. Aspectos metodológicos de la Investigación .....	22
1.6.1. Diseño de Investigación .....	22
1.6.2. Tipo de Investigación .....	23
1.6.3. Diseño de la investigación.....	23
1.6.4. Nivel de la Investigación .....	23
1.6.5. Técnicas de investigación.....	23
1.6.6. Instrumentos de investigación .....	24
1.6.7. Plan Muestral.....	24
1.7. Aspectos metodológicos para la propuesta de mejora .....	24
1.7.1. Métodos de ingeniería a aplicarse .....	24
1.7.2. Herramientas de Análisis, planificación, desarrollo y evaluación .....	24
CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA .....	26
2.1. Antecedentes de la investigación.....	26
2.2. Confiabilidad y disponibilidad .....	27
2.3. Mantenimiento.....	28



2.3.1. Objetivos del Mantenimiento .....	29
2.3.2. Historia del Mantenimiento .....	30
2.3.3. Mantenibilidad.....	31
2.4. Etapas de las mejoras en mantenimiento .....	31
2.5. Tipos de Mantenimiento .....	32
2.5.1. Mantenimiento Preventivo .....	32
2.5.2. Mantenimiento Predictivo .....	33
2.5.3. Mantenimiento Correctivo .....	33
2.6. Etapas de la Gestión de Mantenimiento. ....	33
2.6.1. Planificación .....	34
2.6.2. Programación.....	34
2.6.3. Ejecución, control y evaluación .....	34
2.7. Sistema de monitoreo de condiciones a distancia PreVail - Grafana: .....	35
2.7.1. Monitoreo de indicadores clave .....	35
2.7.2. Funcionamiento del sistema PreVail RHM.....	37
2.8. Diagramas de Ingeniería.....	38
2.8.1. Diagrama Ishikawa.....	38
2.8.2. Diagrama de flujo .....	41
<b>CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b> .....	<b>46</b>
3.1. Antecedentes Generales de la organización .....	46
3.1.1. Antecedentes y condiciones actuales de la organización .....	46
3.1.2. Sector y actividad económica.....	47
3.1.3. Misión, Visión y Valores.....	47
3.1.4. Política de la Organización.....	48
3.1.5. Organigrama de la Empresa .....	49
3.1.6. Principales procesos y operaciones .....	51
3.2. Plan estratégico de la Organización.....	51
3.3. Utilización de la herramienta SREDIM para la mejora.....	51
3.3.1. Evaluación de los procesos involucrados .....	52
3.3.2. Mejoras seleccionadas .....	59
3.3.3. Registro de los procesos .....	59
<b>CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE MEJORA</b> .....	<b>76</b>
4.1. Propuesta de mejora para la inspección del sistema de aire .....	77
4.1.1. Aplicación del software Prevail .....	77

4.1.2. Aplicación del software Grafana .....	78
4.2. Propuesta de mejora para la inspección de desgaste de frenos.....	93
4.2.1. Aplicación del software PreVail.....	93
4.2.2. Aplicación del software Grafana .....	95
4.3. Análisis de las propuestas de mejora .....	104
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>108</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>116</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>118</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>119</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Eficacia del dispositivo o sistema de producción.....	27
Figura 2. Evolución del Mantenimiento .....	31
Figura 3. Pantalla Principal de PreVail-Grafana .....	37
Figura 4. Procedimiento Ishikawa – Paso 1.....	38
Figura 5. Procedimiento Ishikawa – Paso 2.....	39
Figura 6. Procedimiento Ishikawa – Paso 4.....	39
Figura 7. Procedimiento Ishikawa – Paso 5.....	40
Figura 8. Diagrama Ishikawa - Ejemplo.....	40
Figura 9. Símbolo de Proceso.....	43
Figura 10. Símbolo de Decisión .....	43
Figura 11. Símbolo de Flechas .....	43
Figura 12. Símbolo de Documento.....	43
Figura 13. Símbolo de Entrada/Salida .....	44
Figura 14. Símbolo de Inicio/Final .....	44
Figura 15. Símbolo de Conector de proceso.....	44
Figura 16. Símbolo de Conector de página.....	44
Figura 17. Organigrama de la empresa minera del sur .....	50
Figura 18. Diagrama de Bloques del Proceso de Mantenimiento.....	52
Figura 19. Control de la energía mecánica almacenada .....	53
Figura 20. Sistema de frenos.....	55

Figura 21. Puntos de conexión.....	56
Figura 22. Válvula de freno .....	56
Figura 23. Ishikawa sobre tiempos de mantenimientos programados .....	58
Figura 24. Flujograma Inspección del sistema de aire - Mecánico 1 – parte 1 .....	60
Figura 25. Flujograma Inspección del sistema de aire - Mecánico 1 - parte 2 .....	61
Figura 26. Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 1 – parte 3.....	62
Figura 27. Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 1 – parte 4.....	63
Figura 28. Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 1 – parte 5.....	64
Figura 29. Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 2 – parte 1.....	65
Figura 30. Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 2 – parte 2.....	66
Figura 31. Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 2 – parte 3.....	67
Figura 32. Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 2 – parte.....	68
Figura 33. Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 2 – parte 5.....	69
Figura 34. Flujograma Inspección de Desgaste de frenos – parte 1 .....	71
Figura 35. Flujograma Inspección de Desgaste de frenos – parte 2 .....	72
Figura 36. Flujograma Inspección de Desgaste de frenos – parte 3 .....	73
Figura 37. Flujograma Inspección de Desgaste de frenos – parte 4 .....	74
Figura 38. Pantalla de ingreso a PreVail.....	77
Figura 39. Detalle de fallas de la Pala 4100 XPC en PreVail.....	78
Figura 40. Ingreso a Grafana .....	78
Figura 41. Selección de usuario .....	79
Figura 42. Creación del Dashboard .....	79
Figura 43: Lista de Comandos .....	80
Figura 44. Comando de presión de aire del compresor .....	80
Figura 45. Copiado del comando de presión de aire del compresor.....	80

Figura 46. Asignación de límites de la presión de aire del compresor .....	81
Figura 47. Grafica de tendencia de presión de aire del compresor.....	81
Figura 48. Comando de la presión de aire del sistema Hoist.....	82
Figura 49. Copiado del comando de presión de aire del sistema Hoist .....	82
Figura 50. Grafica de tendencia de presión de aire del sistema de Hoist .....	82
Figura 51. Comando de la presión de aire del sistema Crowd .....	83
Figura 52. Comando de la presión de aire del sistema Propel.....	83
Figura 53. Comando de la presión de aire del sistema Swing .....	83
Figura 54. Copiado del comando de presión de aire del sistema Crowd.....	83
Figura 55. Copiado del comando de presión de aire del sistema Propel .....	83
Figura 56. Copiado del comando de presión de aire del sistema Swing .....	83
Figura 57. Grafica de tendencia de presión de aire del sistema Crowd.....	84
Figura 58. Grafica de tendencia de presión de aire del sistema Propel .....	84
Figura 59. Grafica de tendencia de presión de aire del sistema Swing .....	84
Figura 60: Cartilla de mantenimiento .....	85
Figura 61. Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 1 – parte 1 .....	86
Figura 62. Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 1 – parte 2 .....	87
Figura 63. Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 1 – parte 3 .....	88
Figura 64. Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 2 – parte 1 .....	89
Figura 65. Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 2 – parte 2 .....	90

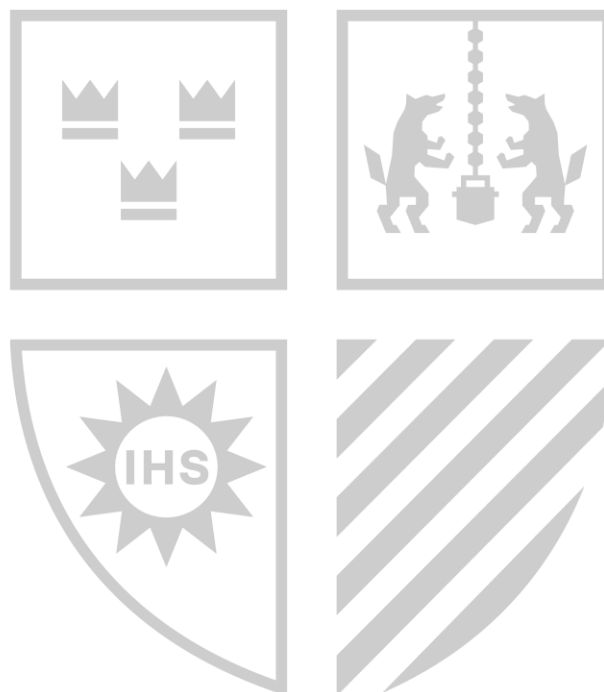
Figura 66. Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 2 – parte 3 .....	91
Figura 67. Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 2 – parte 3 .....	92
Figura 68. Ingreso al PreVail.....	94
Figura 69. Detalle de las fallas de las Palas 4100 XPC .....	94
Figura 70. Ingreso al Grafana .....	95
Figura 71. Selección de Usuario .....	95
Figura 72. Creación del Dashboard .....	96
Figura 73. Lista de Comandos .....	96
Figura 74. Nombre del comando de los tiempos de liberación de frenos del sistema Crowd .....	97
Figura 75. Asignación de límites de los tiempos de liberación de frenos del sistema Crowd .....	97
Figura 76. Ventada de verificación de los tiempos de liberación de frenos del sistema Crowd.....	97
Figura 77. Nombre del comando de los tiempos de liberación de frenos del sistema Hoist .....	98
Figura 78. Asignación de límites de los tiempos de liberación de frenos del sistema Hoist .....	98
Figura 79. Ventada de verificación de los tiempos de liberación de frenos del sistema Hoist.....	98
Figura 80. Nombre del comando de los tiempos de liberación de frenos del sistema Propel .....	99

Figura 81. Nombre del comando de los tiempos de liberación de frenos del sistema Swing	99
Figura 82. Asignación de límites de los tiempos de liberación de frenos del sistema Propel	99
Figura 83. Asignación de límites de los tiempos de liberación de frenos del sistema Swing	99
Figura 84. Ventada de verificación de los tiempos de liberación de frenos del sistema Propel	100
Figura 85. Ventada de verificación de los tiempos de liberación de frenos del sistema Swing	100
Figura 86. Ventana de visualización de los tiempos de liberación de los sistemas creados	100
Figura 87. Formato de inspección de desgaste de frenos	101
Figura 88. Flujograma Inspección de desgaste de frenos – propuesto – parte 1	102
Figura 89. Flujograma Inspección de desgaste de frenos – propuesto – parte 2	103
Figura 91. Disponibilidad contractual en el año 2018	104
Figura 92. Disponibilidades contractual, mecánica y física periodo 2018	105
Figura 93. Disponibilidad contractual periodo 2018	105
Figura 94. Disponibilidad contractual actual y pronosticada	106
Figura 94. Diagrama de Análisis del Proceso Actual – parte 1 eliminando procesos con software PreVail y Grafana	110
Figura 95. Diagrama de Análisis del Proceso Actual – parte 2 eliminando procesos con software PreVail y Grafana	111
Figura 96. Variación de Tiempo de Procesos de inspección de sistema de aire Actual y Propuesto	112

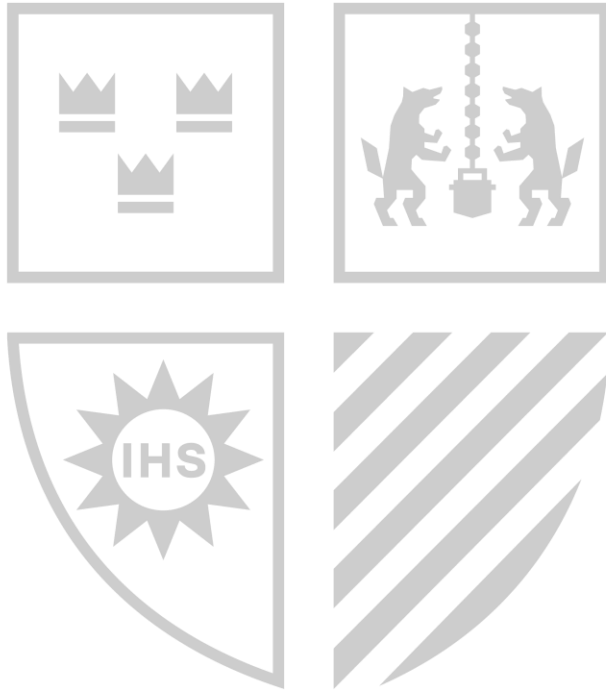
Figura 97. Diagrama de Análisis del Proceso Actual – parte 1 eliminando procesos con software PreVail y Grafana..... 113

Figura 98. Diagrama de Análisis del Proceso Actual – parte 2 eliminando procesos con software PreVail y Grafana..... 114

Figura 99. Variación de Tiempo de Proceso de desgaste de frenos Actual y Propuesto ..... 115







## INTRODUCCIÓN

La gestión de mantenimiento es una disciplina esencial en cualquier organización que dependa de activos físicos para su operación eficiente. Reducir los tiempos de mantenimiento se ha vuelto crucial para optimizar la disponibilidad de equipos, minimizar interrupciones y maximizar la productividad. En este contexto, la gestión de mantenimiento para reducir los tiempos de mantenimiento implica una combinación de planificación estratégica, implementación de tecnologías avanzadas y enfoques proactivos. Las organizaciones buscan minimizar el tiempo que los equipos y activos pasan fuera de servicio, ya que cada minuto de inactividad puede traducirse en pérdidas económicas significativas. Por lo que, en la presente investigación realizada en la empresa minera del sur, se buscó mejorar la gestión de mantenimiento de las Palas 4100 XPC mediante una propuesta de mejora basada en la generación de Dashboards en los softwares PreVail y Grafana, para así disminuir los tiempos de mantenimiento de estas maquinarias.

Por lo tanto, en el capítulo I se desarrolla el planteamiento del problema identificado en la empresa minera del sur, los objetivos, alcance, viabilidad y aspectos metodológicos de la presente investigación.

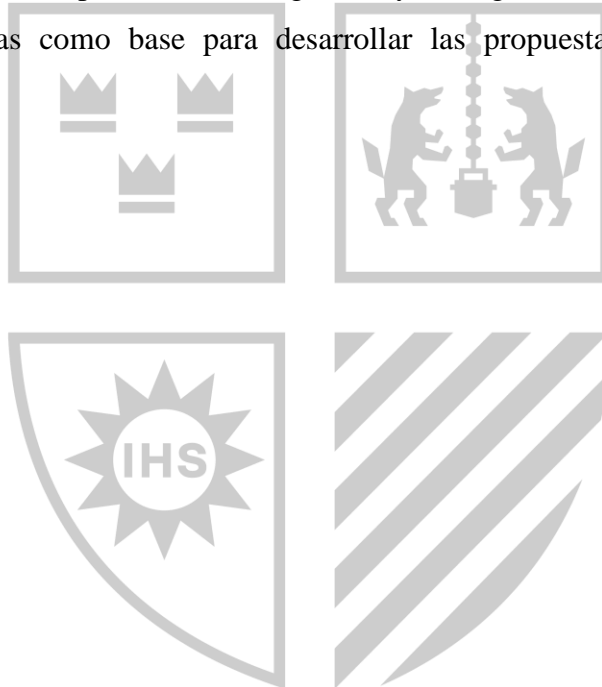
En el capítulo II, se presentan los antecedentes y las bases teóricas requeridas que sirvieron como base para el desarrollo de la investigación.

En el capítulo III, se desarrolló el diagnóstico situacional inicial que se le realizó a la empresa minera del sur, en el que se detalla la historia, la política organizacional, los principales procesos, el plan estratégico y la evaluación de los procesos mediante la herramienta SREDIM.

En el capítulo IV, se describe cómo se crearon los Dashboards en los softwares PreVail y Grafana en los cuales se desarrollaron los gráficos de tendencia para la inspección del sistema de aire y las tablas de verificación de los tiempos de liberación de frenos para la inspección del desgaste de estos.

En el capítulo V, se analizan los resultados obtenidos en base a la disminución de procesos demostrado en diagramas de análisis de procesos (DAP) y en base a la comparación del tiempo que se demoraba realizar el mantenimiento.

Finalmente, en los últimos dos apartados se presentaron las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación y de igual manera las referencias bibliográficas usadas como base para desarrollar las propuestas de mejoras de la investigación.



## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO

En este primer capítulo se plantea el problema identificado en la empresa minera del sur, los objetivos, alcance, viabilidad y aspectos metodológicos de la presente investigación.

### 1.1. Planteamiento del Problema.

Actualmente, el mantenimiento de las palas 4100 XPC, se realiza según el software propio de las máquinas que brinda señales mediante sensores instalados en todo el equipo (sensores presión, temperatura y ultrasónicos), los cuales ayudan a ver el estado de los componentes del equipo en cuanto a desgastes de material, bajas o altas presiones de trabajo, bajas o altas temperaturas de trabajo, niveles de aceites, etc.

Los softwares, en los últimos meses, tuvieron una tasa de utilización del 30% aproximadamente, dado que el porcentaje es relativamente bajo, se podría aprovechar aún más estos softwares, ajustándolos a las necesidades de monitoreo según la criticidad de los equipos. De este modo, se lograría un sistema de monitoreo más eficaz al utilizar los softwares con mayor frecuencia, en función de las exigencias específicas de cada equipo.

La poca utilización de estos softwares ha dado lugar a que se presenten fallas en las palas, puesto que se han tenido eventos de sobrepresión de aire en frenos que ocasionaron la aceleración del desgaste de frenos y asociado a esto una ruptura de sello en un freno de levante que ocasionó la parada no programada del equipo por 3 horas, así mismo se presentaron eventos por baja presión de aire que también ocasionaron desgaste acelerado de frenos por que sin la presión adecuada no existe una buena liberación de los elementos de desgaste y por consiguiente se tuvo que pedir un componente para regular la presión ya que el que tenía ya estaba averiado, lo que provocó un aumento en las horas

de mantenimiento. Todo lo mencionado anteriormente ha dado lugar a que se ocasionen paradas no programadas en estos equipos, generando consecuencias perjudiciales para la empresa, como lo son las pérdidas económicas, debido a que las palas 4100 XPC son consideradas como maquinaria crítica ya que, si estas paran su funcionamiento, la cadena de producción también es detenida. Por lo que con el presente proyecto se pretende desarrollar una propuesta de mejora para la gestión de mantenimiento de las palas 4100 XPC mediante la aplicación de los softwares Prevail y Grafana con el fin de evitar generar paradas no programadas de mantenimiento y disminuir el tiempo de mantenimiento programado en las palas 4100 XPC.

## 1.2. Formulación del Problema

¿Cómo mejorar la gestión de mantenimiento de palas 4100 XPC, mediante la aplicación del software Prevail y Grafana en la minera del sur?.

## 1.3. Objetivos.

### 1.3.1. Objetivo general.

Mejorar la gestión de mantenimiento de palas 4100 XPC, desarrollando una propuesta mediante la aplicación del software Prevail y Grafana en la minera del sur, 2019.

### 1.3.2. Objetivos específicos.

- Realizar una investigación documental para obtener un amplio dominio del tema e identificar los recursos potenciales a utilizar
- Elaborar un análisis interno que defina objetiva y claramente la problemática.
- Desarrollar la propuesta de mejora mediante la aplicación del software Prevail y Grafana

## 1.4. Alcance de la investigación

El presente estudio se dio lugar en las provincias de Cotabambas y Grau en el departamento de Apurímac y contempló el desarrollo de una propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento de palas 4100 XPC, mediante la aplicación del software Prevail y Grafana en la minera del sur el que será aplicado para en el área y evitar paradas de máquina no programadas y por ende la mejora de la productividad.

## **1.5. Viabilidad de la investigación**

### **1.5.1. Recursos financieros**

Todos los gastos relacionados a la obtención de la información tales como viáticos, útiles de escritorio, entre otros y los gastos relacionados a la elaboración del presente trabajo de investigación fueron asumidos por los investigadores.

### **1.5.2. Materiales y equipos**

En cuanto a los equipos y materiales, se contó con dos computadoras para el procesamiento de la información y la elaboración de los informes, un USB para el transporte de la información y una impresora con escáner.

### **1.5.3. Tiempo**

El tiempo estimado para el desarrollo de la presente investigación fue de tres meses, puesto que se necesitó recopilar información de varias fuentes, aplicando las herramientas de ingeniería Industrial; y de igual manera se realizó la programación necesaria para la aplicación de la mejora sugerida.

## **1.6. Aspectos metodológicos de la Investigación**

### **1.6.1. Diseño de Investigación**

En este estudio se planteó la mejora en la gestión de mantenimiento de palas 4100 XPC, mediante la aplicación del software Prevail y Grafana en la minera del sur siguiendo un diseño preexperimental.

### **1.6.2. Tipo de Investigación**

La presente investigación fue de tipo transversal, ya que se recolectaron los datos requeridos en un momento y tiempo determinado, cuyo principal propósito fue describir las dos variables de la investigación y analizar su relación.

Además, la investigación actual fue de tipo correlacional – causal, debido a que a través de dicha investigación se pretendió establecer la relación de causa y efecto entre las dos variables establecidas la gestión de mantenimiento y el software Prevail y Grafana.

### **1.6.3. Diseño de la investigación**

La presente investigación siguió un carácter no experimental, puesto que no se comprobó la variabilidad de la variable dependiente respecto a la variable independiente, en este proyecto se ha observado un problema determinado en la minera del sur, el análisis realizado permitió, finalmente, presentar una propuesta de mejora para optimizar la gestión del mantenimiento.

### **1.6.4. Nivel de la Investigación**

El presente proyecto fue de nivel explicativo, debido a que, a través de la investigación, se analizó un problema y con ayuda de instrumentos necesarios se determinaron las causas de este, con la finalidad de entender la situación actual y brindar la propuesta de mejora necesaria.

### **1.6.5. Técnicas de investigación**

- Fuentes secundarias documentales

- Entrevistas Semi estructuradas
- Observación indirecta.

### 1.6.6. Instrumentos de investigación

- Documentos de la empresa, manuales, libros.
- Guías de pautas
- Fichas de observación

### 1.6.7. Plan Muestral

#### a. Población Objetivo

La población considerada en el presente estudio estuvo conformada por todas las personas involucradas en el proceso de mantenimiento de las Palas 4100 XPC de la minera del sur.

#### b. Determinación de la muestra

Como muestra se consideró al supervisor de mantenimiento de la empresa y los operarios encargados de realizar el mantenimiento de las Palas 4100 XPC de la minera del sur.

## 1.7. Aspectos metodológicos para la propuesta de mejora

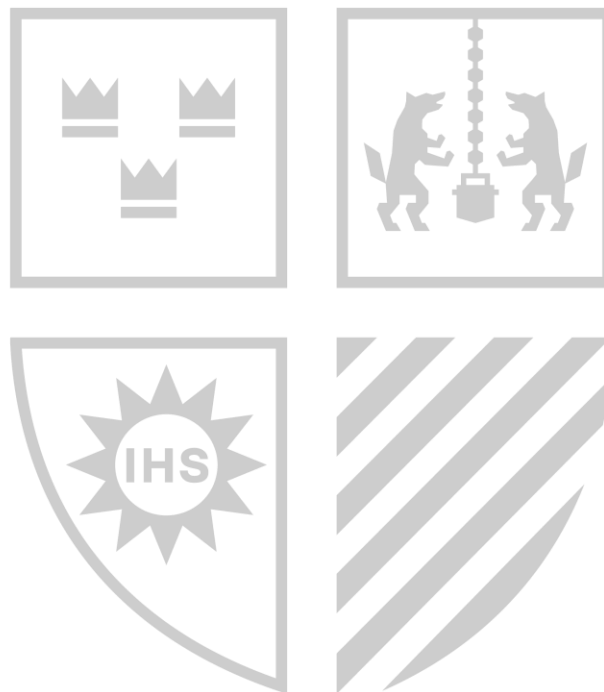
### 1.7.1. Métodos de ingeniería a aplicarse

Se utilizó el método SREDIM con la finalidad de estudiar una situación, evaluar sus objetivos y posteriormente idear un método o sistema mejorado, más eficiente y eficaz.

### 1.7.2. Herramientas de Análisis, planificación, desarrollo y evaluación



Diagrama de Análisis del Proceso, diagramas de operaciones de proceso, flujograma de procesos.



## CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA

En este segundo capítulo, se presentan los antecedentes y las bases teóricas requeridas que sirvieron como base para el desarrollo de la investigación.

### 2.1. Antecedentes de la investigación

**Rodríguez** (2012) en su investigación “Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento basado en la Mantenibilidad de equipos de acarreo de una empresa minera de Cajamarca” tuvo como objetivo general la mejora de la gestión de mantenimiento basado en Mantenibilidad de equipos de acarreo en una empresa dedicada a la minería en la ciudad de Cajamarca, permitiendo finalmente el incremento en la disponibilidad mecánica de estos equipos. Se inició como un diagnóstico situacional y de la gestión de mantenimiento con la finalidad de conocer los puntos débiles del proceso para posteriormente formular propuestas de mejora y así reducir sus costos. En el análisis financiero del proyecto se vio que este es adecuado y se recomienda su implementación ya que permitirá un ahorro a la empresa.

**Villegas** (2016) en su estudio “Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa “MANFER S.R.L. contratistas generales”, Arequipa 2016” se centra en la mejora de la gestión del área de mantenimiento de la empresa MANFER, la empresa dispone de una flota de 33 equipos, que incluyen rodillos compactadores, retroexcavadoras, compresores neumáticos, excavadoras y mezcladoras de concreto. El objetivo del proyecto es optimizar el desempeño de estos equipos, asegurando una disponibilidad superior al 90% y evitando retrasos en la obra, así como paradas no planificadas debido a averías. Se analizó primeramente la gestión actual en el mantenimiento en la que se determinó una falta de competencia y capacitación del personal y en general una baja disponibilidad de los equipos, posteriormente se presentó una propuesta de gestión para optimizar el

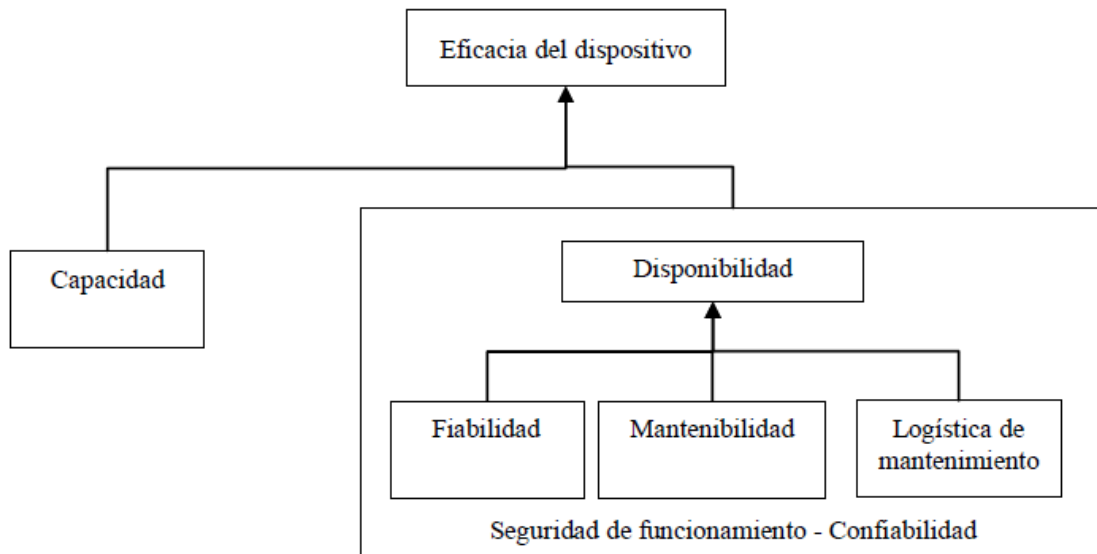
desempeño y a la vez la disminución de costos por alquiler, se realizó un análisis de costo-beneficio, se determinó que, en un plazo de dos años, se logrará un aumento en la disponibilidad de los equipos, generando una utilidad superior a los 100,000 soles.

**Uscátegui** (2014) en su investigación “Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento, para el departamento de confiabilidad y proyectos en la empresa PETROSANTANDER, Colombia”, Colombia, 2014” tuvo como objetivo central diseñar una propuesta para mejorar la gestión de mantenimiento para el departamento de confiabilidad y proyecto en el empresa Petrosantander en Colombia, ayudando a la empresa a mejorar el control en la ejecución de las actividades de mantenimiento y así se garantice el funcionamiento correcto de los equipos y maquinarias necesarios para continuar el sistema productivo. Para lograrlo se implementó un software de mantenimiento “MP9” este análisis contribuyó en la gestión de planes, equipos, localización y rutinas de mantenimiento. Se concluye destacando las ventajas de una adecuada gestión y planificación del mantenimiento en la empresa, así como las actividades enfocadas en la corrección y el análisis de fallas.

## 2.2. Confiabilidad y disponibilidad

La disponibilidad es sinónimo de eficacia de un dispositivo o sistema industrial cuando se demuestra su aptitud para responder a una demanda de servicio. La eficacia de un sistema productivo depende de su capacidad de producción, confiabilidad, seguridad de funcionamiento y de la disponibilidad que presenta para poder producir. El “propósito” de un sistema productivo se expresa generalmente en forma de compromisos cuantitativos para prestar su servicio durante periodos establecidos previamente en sus planes y programas de producción, si el sistema cumple con estos propósitos de manera satisfactoria se le podría catalogar como un sistema eficaz (Red temática nacional sobre seguridad de funcionamiento y calidad de servicio de sistemas productivos, 2010).

**Figura 1.** Eficacia del dispositivo o sistema de producción



Fuente: Red temática nacional sobre seguridad de funcionamiento y calidad de servicio de sistemas productivos, 2010, Pág. 22

### 2.3. Mantenimiento

Según Muñoz (2004) el mantenimiento se define como el control y revisión de las instalaciones de forma general o de los componentes de forma específica en caso de equipos o máquinas para garantizar un correcto funcionamiento de estos. Además, Muñoz (2004) considera que la palabra mantenimiento hace referencia a tareas de reparación de fallas o averías presentadas.

Por otro lado, García (2003) extiende más el concepto de mantenimiento, incluyendo la importancia de su gestión y hace referencia al mantenimiento como el conjunto de acciones, tareas y técnicas con el fin de garantizar el funcionamiento correcto de equipos e instalaciones con la máxima disponibilidad y rendimiento posible. También considera que para que exista una relación entre producción y mantenimiento en una empresa, debe existir “Gestión de Mantenimiento”, hace referencia a optimizar recursos que se emplean en el mantenimiento de un equipo o instalación.

Hoy en día, la gestión de mantenimiento es un tema muy importante para cualquier empresa productiva debido a que la competencia es cada vez más grande lo que las obliga a disminuir costos optimizando el consumo de materiales, mano de obra y la disponibilidad de los equipos. Esto es posible mediante la aplicación de nuevas metodologías de mantenimiento que han ido apareciendo, entre las cuales se encuentran

TPM (Mantenimiento Productivo Total), GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador) y RCM (Mantenimiento centrado en Fiabilidad). Así mismos temas como la calidad de productos, la seguridad y la relación con el medio ambiente juegan un papel importante para las industrias en la actualidad.

Finalmente, Díaz (2004) en su libro “Técnicas de Mantenimiento”, refiere al mantenimiento como una función empresarial, que tiene como tarea el control de las instalaciones y máquinas de la empresa, es decir, es el conjunto de acciones realizadas para conservar o restablecer un sistema o equipo. Incluyendo actividades como la de prevenir y corregir averías, evaluar el estado actual de instalaciones y equipos; y analizar los costes.

Moubray (1991) habla de un mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM), quien lo define como un método, que tiene como finalidad determinar las necesidades del mantenimiento de cualquier activo físico de la empresa.

De forma más amplia Parra (2009), define el RCM como un proceso de la gestión de mantenimiento que tiene como objetivo optimizar el trabajo operacional del mantenimiento a través de actividades con mayor efectividad dependiendo de la criticidad de los sistemas, equipos o maquinaria. El RCM se caracteriza por ser una herramienta que controla los fallos del entorno operacional, cuenta con un procedimiento sistemático para realizar planes óptimos de mantenimiento, su duración es de mediano a largo plazo y mejora la disponibilidad de los sistemas, equipos o maquinarias (Bloom, 2006).

### **2.3.1. Objetivos del Mantenimiento**

Según Muñoz (2004), el mantenimiento tiene los siguientes objetivos:

- Evitar y reducir fallos o averías durante el tiempo de producción.
- Evitar tiempos de detención o paradas de máquinas.
- Evitar accidentes laborales y garantizar la seguridad de los trabajadores.
- Disminuir las pérdidas por paradas en la producción y los costos de mantenimiento.

- Garantizar operatividad y disponibilidad de las máquinas y equipos durante la vida útil de las mismas.

### 2.3.2. Historia del Mantenimiento

Para llegar a la definición actual de mantenimiento, el concepto evolucionó a través del tiempo, pasando de la función simple de reparar equipos a funciones más complejas como la prevención, corrección y revisión de equipos en base a planes de mantenimiento (Mora G., 2012).

Por lo que distinguen cuatro generaciones de evolución:

#### a. Primera Generación

Empezó con la Revolución Industrial culminando en la 2° Guerra Mundial, donde la función del mantenimiento se limitaba a sólo arreglar averías presentadas (Mantenimiento Correctivo).

#### b. Segunda Generación

Esta duró hasta los años 70, donde se descubre una relación entre la edad de los equipos y la posibilidad de fallo de estos (Mantenimiento Preventivo).

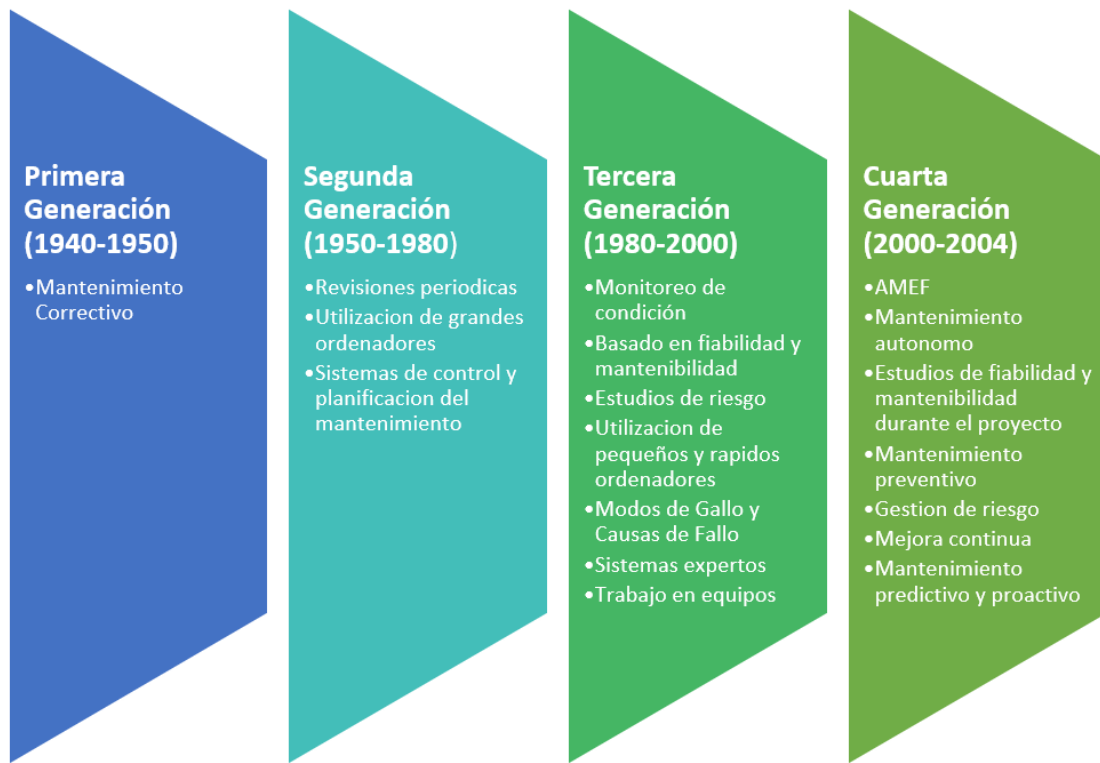
#### c. Tercera Generación

Empezó en los años 80, realizando pruebas de causa y efecto para descubrir el origen de los problemas presentados en las máquinas o equipos, es decir, busca detectar fallas antes que la situación empeore.

#### d. Cuarta Generación

Aparece en los 90 y relaciona al mantenimiento con un concepto de “Calidad Total”, mediante la llamada “Gestión de Mantenimiento”, que buscaba aumentar la disponibilidad de los equipos y así lograr la reducción de costos por mantenimiento.

**Figura 2.** Evolución del Mantenimiento



Fuente: Técnicas de Mantenimiento Industrial, 2004, Pág. 13

### 2.3.3. Mantenibilidad

En la actualidad se habla de la ingeniería de Mantenibilidad, indica que es una disciplina que estudia la complejidad de los recursos y los factores que se relacionan con las actividades que realizan los usuarios para mantener la funcionalidad de un producto para lo cual elabora métodos de cuantificación predicción evaluación y mejora. (Mes, Ortiz, & Pinzón, 2006).

La importancia de la ingeniería de Mantenibilidad crece rápidamente puesto que contribuye grandemente en la reducción de los costos de mantenimiento y la capacidad de ser recuperado el equipo para el servicio mediante las tareas de mantenimiento según especificaciones (Knezevic, 1996).

### 2.4. Etapas de las mejoras en mantenimiento

Hay que tener en cuenta que, para que las iniciativas operativas se encaminen adecuadamente, se debe previamente plantear las líneas estratégicas, objetivos empresariales y determinar la situación futura que se desea conseguir; ya sea en caso de reducción de costos, diversificación, aumento de la calidad, para la visión empresarial y para la visión operativa fijarse metas como disponibilidad de equipos, confiabilidad, efectividad, etc.

Una vez identificados y definidos los indicadores, se debe de obtener datos contrastados sobre la situación existente, con su grado y nivel de problemas correctamente medidos de forma rigurosa para evitar márgenes de error importantes. Posteriormente, se debe de realizar un análisis de la situación mejorable detectada o bloques potencialmente mejorables con el fin de cuantificar y priorizar los problemas detectados, y así poder generar las posibles propuestas de mejora para reducir los problemas y fallas de los equipos con mayor criticidad. Por último, se deberá de implantar y evaluar las soluciones y mejoras propuestas (Gonzales, 2004).

## **2.5. Tipos de Mantenimiento**

El mantenimiento se puede clasificar de diversas formas, a continuación, se detalla la clasificación de mantenimiento según las actividades y planes de acción, los cuales son: preventivo, predictivo y correctivo (Esparza, 2015).

### **2.5.1. Mantenimiento Preventivo**

Este tipo de mantenimiento se define como el conjunto de acciones realizadas bajo un cronograma y tiempo determinado que permita detectar, impedir o eliminar el daño de un componente o sistema y ampliar el tiempo de vida a un nivel aceptable.

En este tipo de mantenimiento las máquinas son revisadas periódicamente en ciclos fijos determinados para llevar a cabo inspecciones, ajustes o reemplazos antes que se dañe algún equipo sistema, de esta manera se evitará fallas o averías durante la producción.



Las principales ventajas de este tipo de mantenimiento son programar actividades y acciones para optimizar recursos, disminuir los tiempos de paro y aprovechar para realizar varias reparaciones, anticiparse a las fallas para evitar pérdidas y disminuir costos y realizar reparaciones en momentos oportunos (Esparza, 2015).

### **2.5.2. Mantenimiento Predictivo**

Esta estrategia consiste en realizar un seguimiento sobre la evolución de diversos parámetros para predecir comportamientos futuros según manifestaciones de fallas situaciones fuera de las normales se presente. Su objetivo se basa en planear tareas con el tiempo suficiente para evitar y disminuir paradas para mantenimientos preventivos y así minimizar costos por mantenimiento.

Las técnicas de mantenimiento predictivo se basan en análisis estadísticos, recomendaciones de fabricantes de los equipos que necesitan mantenimiento y la capacitación del personal encargado de mantenimiento.

Las principales ventajas de este tipo de mantenimiento son disminuir el costo invertido en reparaciones de maquinaria, evitar tiempos por parada, optimizar las tareas del personal encargado del mantenimiento, permitir un registro de historial de las máquinas según sus fallas y características y facilitar el análisis estadístico y de averías de una máquina o sistema (Esparza, 2015).

### **2.5.3. Mantenimiento Correctivo**

Este mantenimiento consiste en el reemplazo de una maquinaria o parte de ella con la finalidad de recuperar su función tras la falla presentada. Se realiza para corregir un problema o falla que se presente, su gestión es inmediata al presentarse una interrupción en el sistema equipo o máquina e incurre altos costos.

Este tipo de mantenimiento se divide en mantenimiento por emergencia, mantenimiento por causa de rutina y mantenimiento por menor trabajo (Esparza, 2015).

## **2.6. Etapas de la Gestión de Mantenimiento.**

Como se mencionó anteriormente la gestión de mantenimiento en la actualidad se define como un conjunto de acciones y técnicas enfocadas en mantener la funcionalidad de los sistemas de producción a lo largo de su vida útil, utilizando los diversos equipos, máquinas y maquinarias con la máxima disponibilidad y evitando costos asegurando su disponibilidad (Markets, 2018).

Dicha gestión de mantenimiento cuenta con diversas etapas para cumplir sus objetivos siendo la planificación y programación el punto inicial y principal de la gestión de mantenimiento (Rodríguez, 2012). Estas etapas son:

### **2.6.1. Planificación**

En este proceso se definen las rutinas, procedimientos, acciones y la elaboración de los planes detallados para su ejecución a corto y mediano plazo, los cuales suelen durar de dos a tres meses, en dicho plan se considera:

- Establecer los objetivos relacionados a las metas
- Garantizar la disponibilidad efectiva de equipos, máquinas o sistemas.
- Priorizar actividades según el grado de interferencia en la producción para realizar las opciones de mantenimiento
- Establecer procedimientos y rutinas de mantenimiento.
- Registrar fallas, causas y soluciones.

### **2.6.2. Programación**

En esta segunda etapa se determina la frecuencia del mantenimiento preventivo para las diferentes actividades detectadas en la planificación, las fechas programadas deben contar con la disponibilidad continua de equipos e instalaciones.

### **2.6.3. Ejecución, control y evaluación**

En esta tercera etapa se involucran al área de mantenimiento, administración y dirección de la empresa con el fin de garantizar el logro de los objetivos propuestos

durante la programación y planeación de la gestión de mantenimiento. Permitiendo así que se realicen las actividades de mantenimiento de forma adecuada para que los resultados sean evaluados y comparados con estándares y así iniciar un proceso de retroalimentación.

## **2.7. Sistema de monitoreo de condiciones a distancia PreVail - Grafana:**

La industria minera demuestra una marcada innovación en su empeño por mejorar la eficiencia y la seguridad. Mantener el equipo operando a niveles elevados de productividad y confiabilidad es crucial para controlar los costos y favorecer el crecimiento de las utilidades. En este sentido, se han desarrollado diversos sistemas de monitoreo remoto de condiciones, como Grafana, que eficientemente proporciona información sobre el rendimiento y estado de las máquinas, identifica patrones familiares y desviaciones de los límites de control normales, establece conexiones entre eventos actuales y pasados, y facilita la toma de decisiones oportuna para mejorar la utilización, la producción y la eficiencia de los activos. Asimismo, se destaca el sistema de gestión remota de condiciones PreVail (RHM), que suministra datos de rendimiento y estado de las máquinas de manera eficiente y oportuna a los equipos de mantenimiento y operaciones. Con esta información, los equipos pueden enfocarse en optimizar la producción y aplicar estrategias de mantenimiento orientadas a la confiabilidad, resultando en un esfuerzo concentrado hacia niveles más altos de confiabilidad, productividad y rentabilidad.

### **2.7.1. Monitoreo de indicadores clave**

El sistema PreVail RHM realiza una vigilancia continua ininterrumpida de los factores críticos del estado de la máquina que podrían resultar en interrupciones costosas, detenciones instantáneas o demoras. Estos factores abarcan:

- La alimentación eléctrica principal es suministrada a través del cable colgante de alto voltaje.
- Datos térmicos de los engranajes del motor.
- Datos analíticos de los frenos.

- Tensión de la correa de empuje del mango del accesorio de excavación.
- Informes y tableros.

PreVail RHM capitaliza las sólidas capacidades de comunicación, comando y control del sistema eléctrico del equipo, transformando los datos generados en información más refinada. Esto se traduce en indicadores clave de rendimiento (KPI), herramientas gráficas de análisis, modelos predictivos y herramientas de elaboración de informes. La información sobre productividad y confiabilidad abarca aspectos como:

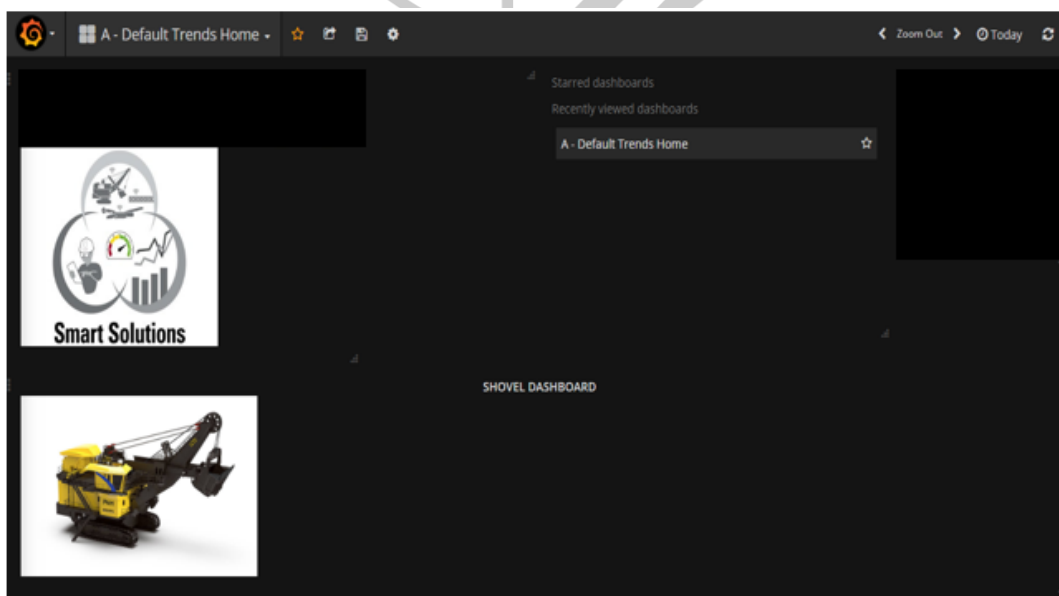
- Productividad de la flota (estado, utilización): facilita la identificación de equipos con un rendimiento subóptimo para tomar las medidas correctivas necesarias.
- Análisis de utilización: muestra el funcionamiento, inactividad y fallas de las unidades.
- Análisis de tiempo medio entre apagados forzosos: ofrece parámetros de confiabilidad para identificar unidades que necesitan mayor disponibilidad.
- Análisis de la distribución de los tiempos de funcionamiento: revela el equipo con menos horas de operación para mejorar la disponibilidad.
- Análisis filtrado de paradas/subsistemas: identifica fallas y sistemas que requieren medidas correctivas.
- Lista filtrada de paradas: analiza fallas según gravedad o vinculadas a operadores para identificar rápidamente la causa raíz.
- Análisis de advertencias del sistema: destaca patrones y modos potenciales de falla.
- Gestión de alertas: agiliza la comunicación de alertas para una respuesta y resolución más rápidas.
- Distribución de la carga (conteo de cargas, carga promedio, cargas bajas/sobrecargas): identifica ajustes en la técnica de operación.
- Rendimiento de los tiempos de ciclo: mejora la productividad al identificar necesidades de capacitación para operadores inexpertos.
- Análisis de prácticas operativas: muestra casos y gravedad de detenciones del motor, elevaciones forzadas e impactos durante el giro.

- Visualización del consumo de combustible: correlaciona la eficiencia del cargador sobre neumáticos con las toneladas transportadas.
- Análisis de movilidad: rastrea toneladas por hora transportadas según el tiempo en propulsión.
- Resumen detallado de agujeros: ofrece detalles sobre la perforación para mejorar la planificación de tronadura.
- Notificaciones de alertas para dispositivos móviles: brinda información completa sobre fallas enviada rápidamente a dispositivos móviles.

### 2.7.2. Funcionamiento del sistema PreVail RHM

El sistema PreVail RHM emplea módulos de monitoreo de equipo basado en la condición (CBEM) para identificar tendencias de datos del sistema que se apartan de los límites de control normales. Cuando la recopilación y análisis de datos en tiempo real detectan una anomalía en los datos del sistema, el modelo CBEM identifica el problema y su posible impacto en el estado de la máquina. En consecuencia, emite una Notificación Básica Inicial (First-Snapshot Notification, FSN) a la oficina de soporte más cercana. El equipo de monitoreo y pronóstico del estado de las máquinas actúa en respuesta a la notificación FSN, verificando, interpretando y evaluando el progreso. Luego, se emite una orden de trabajo para iniciar la acción correctiva.

**Figura 3.** Pantalla Principal de PreVail-Grafana



Fuente: Manual PreVail- Grafana

## 2.8. Diagramas de Ingeniería

### 2.8.1. Diagrama Ishikawa

Es una herramienta de análisis cuya principal finalidad consiste en analizar de forma más detallada un problema, permitiendo una fácil visualización de las diversas causas que engloban el problema central. La aplicación del también llamado diagrama causa – efecto no pretende solucionar un problema, sino brindar un panorama general del problema y sus causas principales y secundarias (Ingenieros Industriales, 2003).

Según Domenech (2013), el diagrama Ishikawa es una gráfica que representa de forma lógica y ordenada el entorno de un problema, mencionando las causas potenciales del mismo según el orden de importancia. También llamado espina de pescado, permite brindar a los trabajadores la concepción de un problema complejo, detallando de forma clara y visible el nivel de causalidad (Zapata & Villegas, 2006).

#### a. Procedimiento

El diagrama Ishikawa, denominado así por su creador el profesor japonés Kaoru Ishikawa, es realizado siguiendo ocho pasos básicos, los cuales son:

- Identificar el problema o efecto que se busca eliminar o analizar.

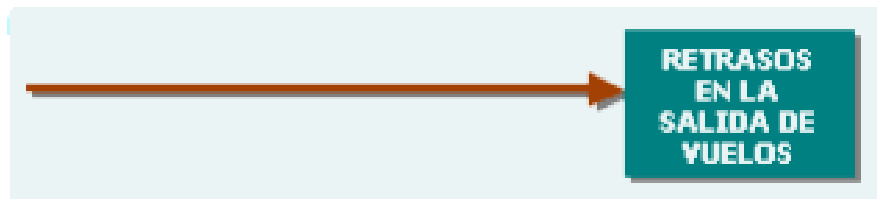
**Figura 4.** Procedimiento Ishikawa – Paso 1



Fuente: (Domenech, 2013)

- Colocar el problema en la parte derecha del diagrama, de forma precisa y clara para posteriormente dibujar una flecha horizontal con dirección hacia él.

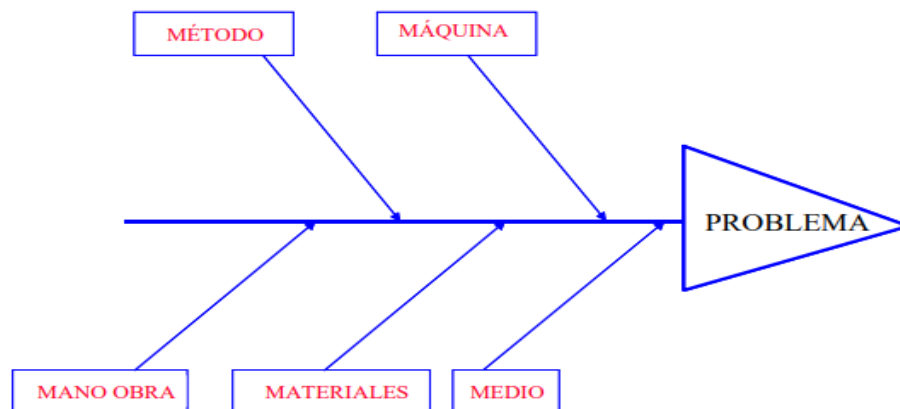
**Figura 5.** Procedimiento Ishikawa – Paso 2



Fuente: (Domenech, 2013)

- Determinar las causas principales que ocasiona el problema o efecto seleccionado. Este punto se generaliza en dos grupos, las causas principales para procesos productivos (Materiales, Mano de obra, Método de trabajo, Maquinaria, Medio ambiente y Mantenimiento) y las causas principales para servicios (Personal, Suministros, Puestos de trabajo, Clientes).
- Colocar las causas principales registradas como ramas principales.

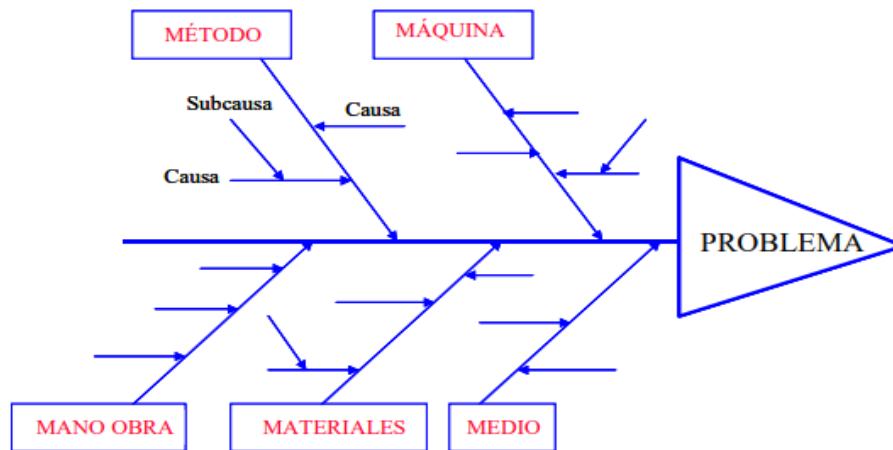
**Figura 6.** Procedimiento Ishikawa – Paso 4



Fuente: (Domenech, 2013)

- Identificar las causas secundarias o sub – causas, las cuales dependen de las causas principales

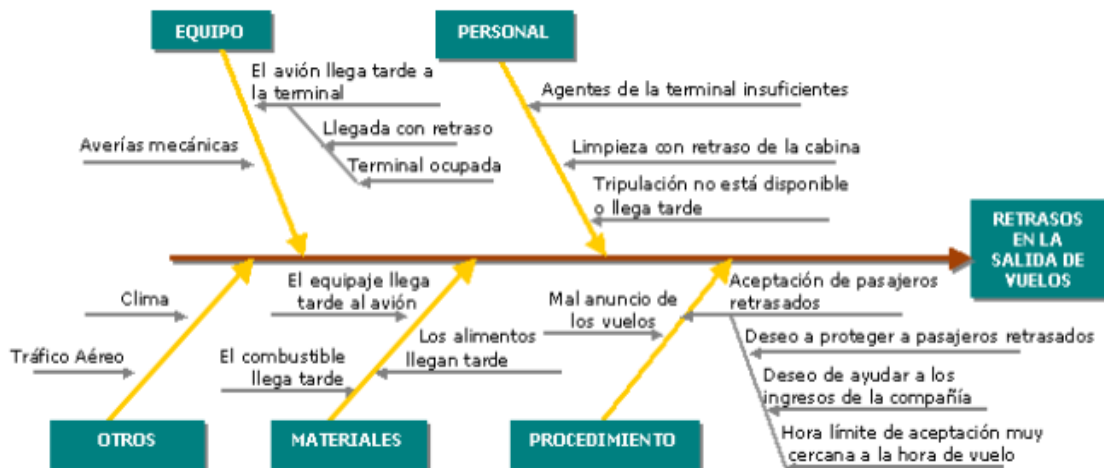
**Figura 7.** Procedimiento Ishikawa – Paso 5



Fuente: (Domenech, 2013)

- Colocar las causas secundarias dentro de las ramas principales, lo que permitirá encontrar la causa más probable.
- Se procede a la etapa de análisis del diagrama, evaluando las relevantes y considerando posibles soluciones para la mejor.
- Identificar las causas más importantes para poder dar conclusiones y aportar soluciones permanentes.

**Figura 8.** Diagrama Ishikawa - Ejemplo



Fuente: (Domenech, 2013)



## **b. Recomendaciones**

Es importante tomar en cuenta que para elaborar y utilizar de manera adecuada el diagrama causa efecto se deben considerar las siguientes recomendaciones (Ingenieros Industriales, 2003):

- Identificar factores importantes a través de las personas del entorno, utilizando diversas técnicas como la lluvia de ideas.
- Especificar los factores concretamente de forma correcta.
- Definir el problema de forma clara y precisa, es importante que sólo se desarrolle un problema en cada diagrama elaborado.
- Identificar qué causas ayudará a resolver el problema.
- Mejorar continuamente el diagrama de causa efecto durante su uso.

### **2.8.2. Diagrama de flujo**

El diagrama de flujo es una representación gráfica cuyo objetivo principal es representar un proceso determinado en una empresa industrial o servicio definiendo la participación de cada departamento en sus procesos (Manene, 2011).

Estos diagramas se han convertido en uno de los más utilizados en las empresas gracias a su simplicidad y facilidad para presentar un proceso, cuyo principal objetivo dentro de la organización es facilitar la comunicación entre las personas de diversas áreas (Ramonet, 2013).

#### **a. Elaboración**

Para poder iniciar la elaboración de un diagrama de flujo se recomienda seguir los siguientes pasos explicados a continuación (Manene, 2011):

- Elaborar un grupo de trabajo conformado de trabajadores que participen en los procesos productivos.

- Realizar reuniones con el fin de recaudar datos de proceso por medio de diversas interrogantes como: ¿Qué pasó primero?, ¿Qué paso sigue?, ¿De dónde proviene el material o servicio?, ¿Quién es el responsable?, ¿Qué pasa si la decisión es SÍ?, ¿Qué pasa si la decisión es NO?, ¿Adónde va el producto o servicios de esta operación? y ¿Qué pasa si el resultado no cumple lo especificado?
- Anotar toda la información recaudada por medio de las preguntas del paso anterior para elaborar el diagrama.
- Confeccionar la tabla de símbolos estándares que serán utilizados en el diagrama de flujo a construir.
- Graficar el diagrama de flujo general y a partir del cual se especificarán los procesos según la información recogida.

## b. Ventajas

Las principales ventajas del diagrama de flujo son (Manene, 2011):

- Facilitar y mejorar la comunicación entre las personas en diferentes departamentos.
- Facilitar el entendimiento de un proceso para todas los que intervienen.
- Identificar de forma clara posibles mejoras.
- Permitir que los trabajadores sepan los antecedentes y procedentes de su proceso.
- Ayudar al entrenamiento y capacitación de personal nuevo incorporado a la empresa.
- Ayudar a la integración de la organización, lo que genera compromiso por parte de los trabajadores en conseguir procesos cortos y a menor costo, mejorando la relación entre ellos.

## c. Simbología

Es importante que cada organización determine una simbología general para la elaboración de su diagrama, sin embargo, estos son basados en los siguientes símbolos:

- Rectángulo caja: Este representa una actividad, operación o tarea realizada.

**Figura 9. Símbolo de Proceso**



Fuente: (Ramonet, 2013)

- Rombo: Este símbolo indica condición, pregunta o decisión, cuando es utilizado tiene dos alternativas “SI” y “NO”

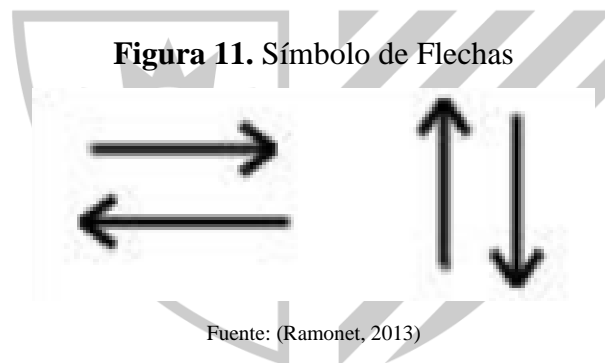
**Figura 10. Símbolo de Decisión**



Fuente: (Ramonet, 2013)

- Línea con flecha: Representa el sentido del flujo o la secuencia de las actividades.

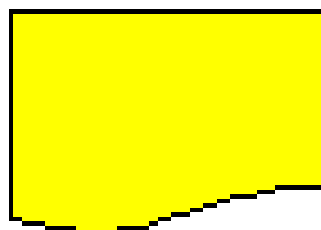
**Figura 11. Símbolo de Flechas**



Fuente: (Ramonet, 2013)

- Documento: Representa la introducción de algún documento o información de forma impresa.

**Figura 12. Símbolo de Documento**



Fuente: (Ramonet, 2013)

- Entradas o Salidas: Representa la entrada o salida de documentos o información a través de cualquier dispositivo.

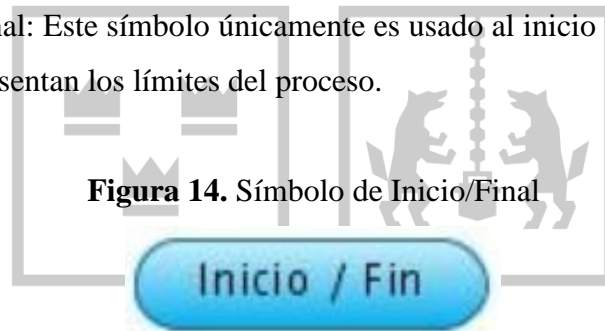
**Figura 13.** Símbolo de Entrada/Salida



Fuente: (Ramonet, 2013)

- Inicio / Final: Este símbolo únicamente es usado al inicio y fin del diagrama, es decir representan los límites del proceso.

**Figura 14.** Símbolo de Inicio/Final



Fuente: (Ramonet, 2013)

- Conector interno de procesos: Este conector permite unir el seguimiento de los procesos en una misma página.

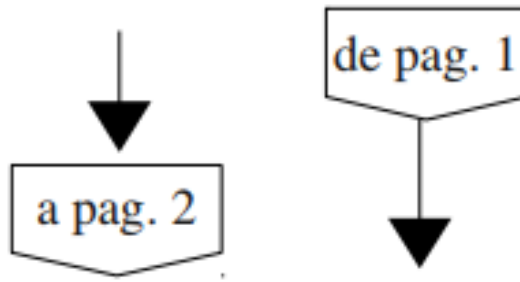
**Figura 15.** Símbolo de Conector de proceso



Fuente: (Ramonet, 2013)

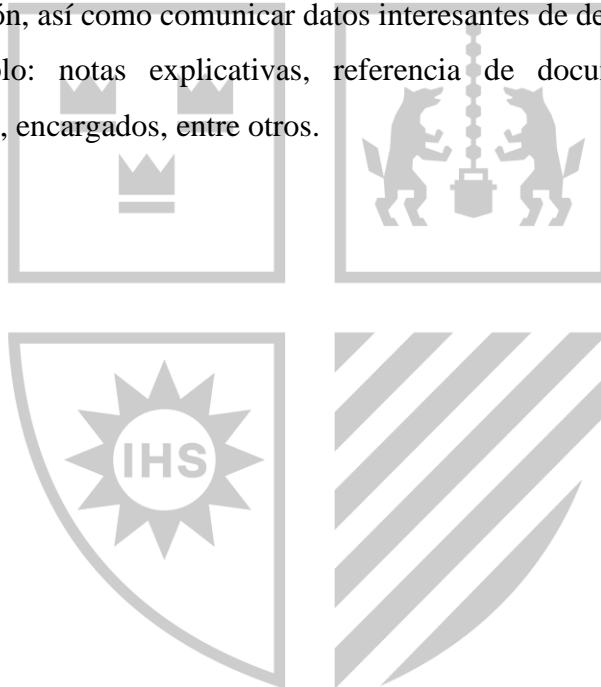
- Conector externo de página: Este símbolo tiene como objetivo unir la continuidad del diagrama de una página a otra.

**Figura 16.** Símbolo de Conector de página



Fuente: (Ramonet, 2013)

- Otros elementos: Se pueden utilizar diversos símbolos con el fin de hacer un diagrama de flujo de forma más entendible para los participantes de la organización, así como comunicar datos interesantes de determinados procesos. Por ejemplo: notas explicativas, referencia de documentos, códigos de actividades, encargados, entre otros.



## CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En este tercer capítulo se expone el diagnóstico situacional inicial realizado a la empresa minera del sur, en el que se describe su historia, política organizacional, principales procesos, plan estratégico y la evaluación de dichos procesos mediante la herramienta SREDIM.

### 3.1. Antecedentes Generales de la organización

La empresa minera del sur es cliente de la compañía, que forma parte de una familia global de empresas, socios clave para las industrias minera, forestal, industrial y de la construcción. Proporciona equipos, sistemas y soluciones esenciales que las empresas de todo el mundo utilizan para extraer minerales fundamentales, los cuales son cruciales para el desarrollo de infraestructura, tecnología y productos de consumo modernos.

#### 3.1.1. Antecedentes y condiciones actuales de la organización

Surgió como una división de Takeuchi Mining Corp, fundada en 1894 por el ingeniero Tashiro Shiraishi, quien fungió como el primer presidente de la compañía hasta 1925.

En la década de 1960, la empresa diversifica su línea de productos, introduciendo motoconformadoras, camiones de volteo, vehículos especializados, cargadoras de pala, cargadoras sobre neumáticos y excavadoras hidráulicas. Este avance le permitió ingresar al mercado estadounidense en 1967, marcando un hito que transformó a la compañía de un pequeño fabricante local a un destacado competidor en el mercado mundial de la construcción en sólo dos décadas.

En 1980, se fusionó con Dresser Industries, una entidad dedicada a la fabricación de maquinaria y equipo de construcción. Hacia finales de la década de 1980, empezó a ser reconocida como una "Empresa de tecnología total", experimentando un notable aumento del 40% en las ventas y el crecimiento de la compañía.

En la actualidad, consta de 178 empresas, con 146 subsidiarias consolidadas y una fuerza laboral total de 46,730 empleados. Sus principales áreas de negocios incluyen la fabricación y venta de equipos de construcción y minería, servicios, maquinaria forestal y maquinaria industrial.

En el territorio peruano, se presenta como una entidad comprometida socialmente, dedicada a ofrecer soluciones completas y servicios postventa para los sectores de minería y construcción. Sus actividades abarcan la venta y servicio de maquinaria amarilla, equipos de generación y motores.

Actualmente, atiende las necesidades del mercado peruano mediante una red compuesta por 14 sucursales y tiendas. Su presencia incluye un destacado personal que brinda soporte a las principales empresas mineras y del sector de construcción en Perú.

### **3.1.2. Sector y actividad económica**

La empresa es uno de los grupos líderes mundiales en soluciones de minería de alta productividad tanto para minería subterránea como de superficie. La empresa fabrica y comercializa gran cantidad de equipos y servicios al sector minero, los cuales son ampliamente usados para la extracción de minerales de roca dura, procesos industriales y procesos de generación de energía. Así mismo esta empresa se caracteriza por siempre ofrecer una excelente asistencia y atención al cliente, brindando técnicos de servicio calificados que son entrenados y capacitados regularmente sobre nuevas tecnologías y proveedores calificados para mantener y reparar los equipos de cualquier mal funcionamiento que tenga.

### **3.1.3. Misión, Visión y Valores**

#### **a. Visión**

Convertirnos en la primera opción para nuestros clientes excediendo sus expectativas.

## **b. Misión**

Contribuir al desarrollo del país mejorando la productividad de nuestros clientes ofreciendo soluciones integrales e innovadoras con productos y servicios de la industria de maquinarias.

## **c. Valores**

- Seguridad
- Integridad
- Responsabilidad
- Orientación al cliente
- Sentido de la Urgencia
- Compromiso Social
- Diversidad.



### **3.1.4. Política de la Organización**

La empresa se encuentra estructurada en Unidades Funcionales, como Recursos Humanos, Finanzas y Soporte al Producto (PSG), además de Unidades Operativas de Negocio (UON) que comparten metas, recursos y están sujetas a dirección y evaluación de desempeño. Esta configuración tiene como objetivo:

- Establecer la organización en estrecha proximidad a los mercados, clientes y partes interesadas relevantes, buscando beneficios, economías de escala y sinergias a nivel regional y global.
- Desarrollar e implementar propuestas de valor orientadas al cliente, fomentando relaciones de confianza a largo plazo mediante la oferta de productos y servicios de calidad.



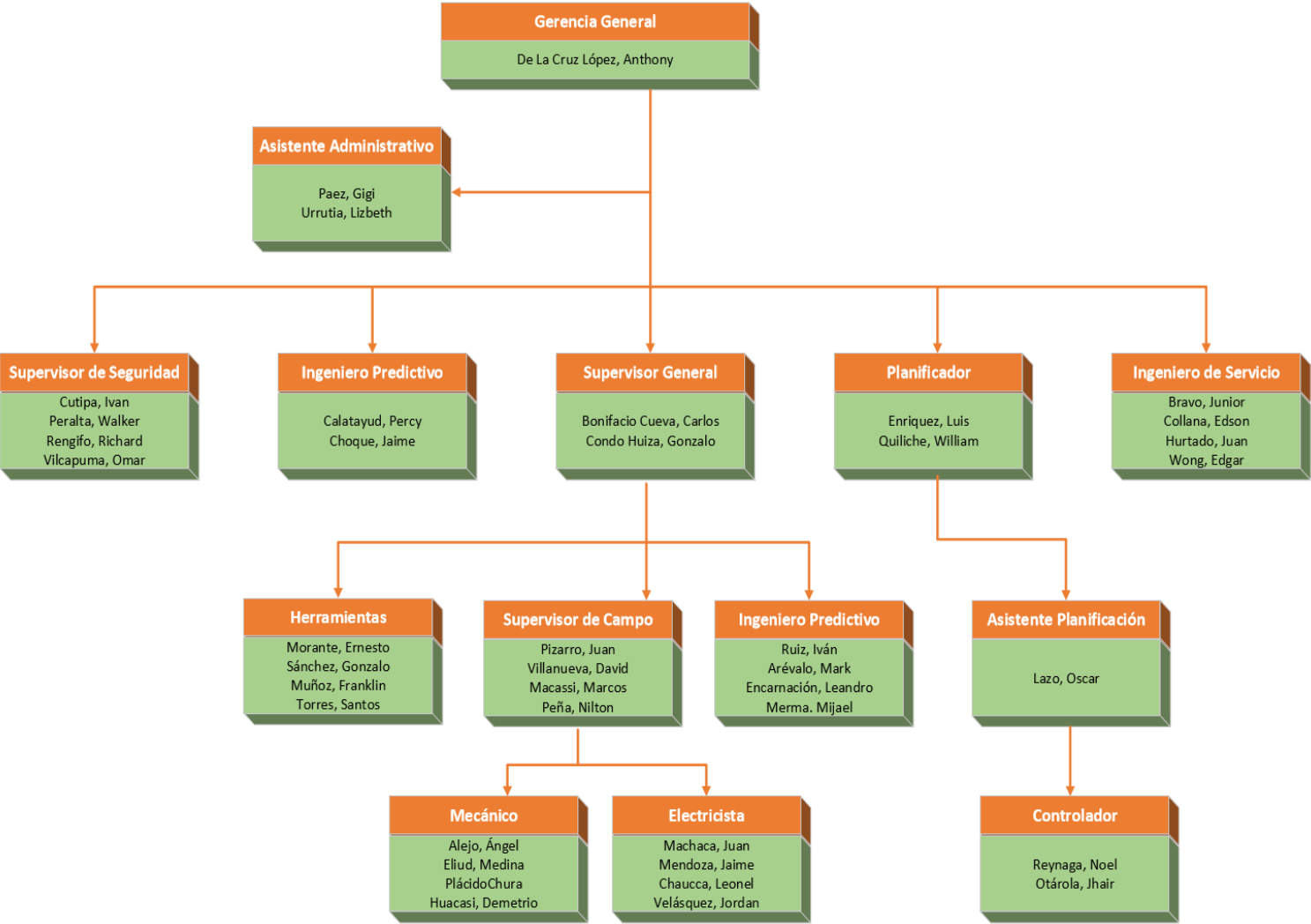
- Mejorar la relación con las fábricas de la empresa y sus socios comerciales de manera más eficiente.
- Generar sinergias que conduzcan al logro de objetivos, implementación de estrategias, utilización eficiente de recursos, reducción de costos y optimización de procesos, promoviendo el aprendizaje y compartiendo buenas prácticas.

### 3.1.5. Organigrama de la Empresa

A continuación, se muestra el organigrama actual de la empresa minera del sur, cuya información ha sido extraída directamente de la empresa, encontrándose en las siguientes áreas: planeamiento, seguridad, monitoreo de condición, administración, servicio de campo e ingeniería del producto.



**Figura 17.** Organigrama de la empresa minera del sur



### **3.1.6. Principales procesos y operaciones**

Durante más de una década, el grupo ha experimentado un crecimiento continuo en el mercado peruano, consolidándose como la segunda empresa con mayor participación en la venta de maquinaria pesada para la gran minería. Es importante destacar que la venta de estos equipos incluye servicios postventa, lo que permite realizar análisis predictivos para optimizar el rendimiento de la maquinaria. Esto contribuye a una mejor planificación de los costos que el cliente deberá afrontar tras adquirir la máquina, como, por ejemplo, los cambios periódicos de filtros o zapatas, que experimentan un desgaste constante en estos productos, así como los mantenimientos generales de toda la maquinaria destinada a la gran minería, constituye su clientela principal.

### **3.2. Plan estratégico de la Organización.**

El centro de servicios y mantenimiento, situado en La Joya, ofrece un respaldo local de alta calidad a una variedad de clientes, diseñado para abarcar todo el ciclo de vida de los equipos de minería. Esto contribuye a optimizar la productividad y reducir los costos operativos. Asimismo, las instalaciones del centro incluyen talleres especializados en reparaciones estructurales, mecánicas, eléctricas e hidráulicas, así como centros dedicados a ensayos e inspecciones, entrenamiento de operaciones y mantenimiento, y monitoreo y diagnóstico predictivo remoto. Además, cuenta con un almacén de repuestos, componentes y consumibles.

En la actualidad, el centro de servicios y mantenimiento en La Joya es el único taller autorizado en América Latina para la fabricación de componentes estructurales P&H, también se encarga de la fabricación de motores de TECO Westinghouse Motor Company y motores de WEG.

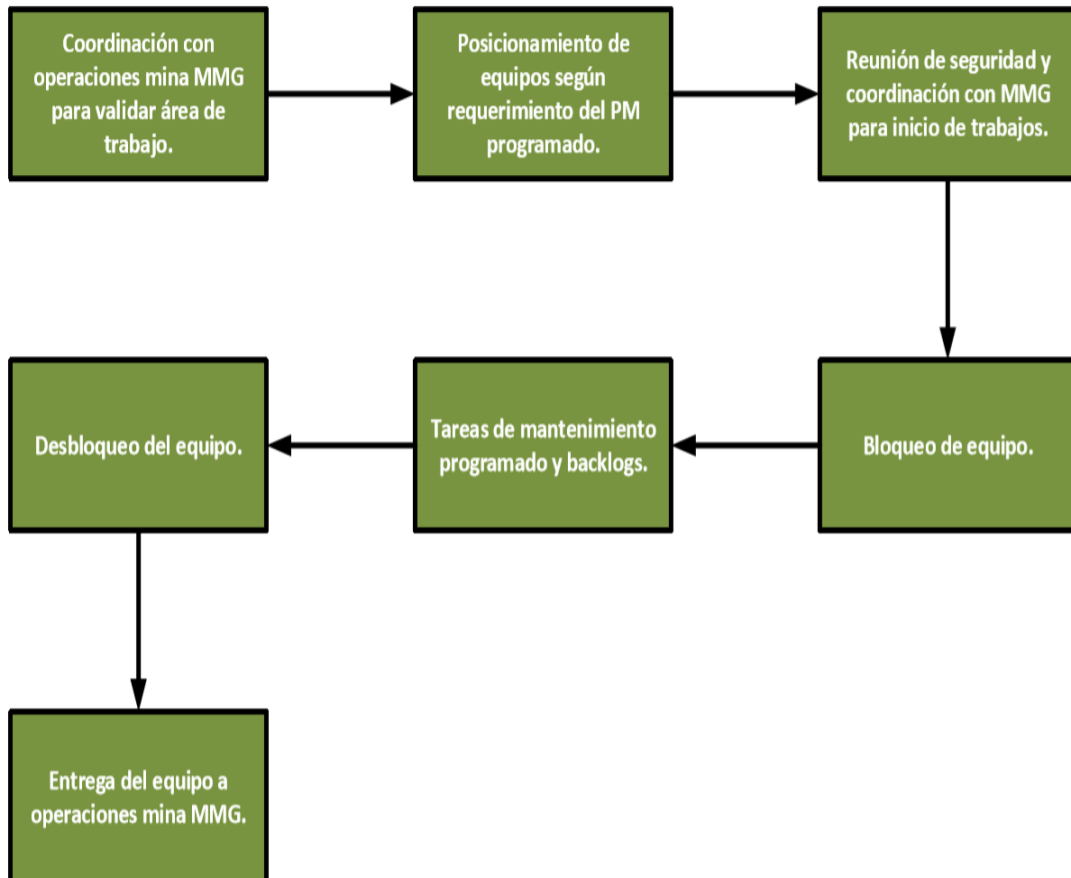
### **3.3. Utilización de la herramienta SREDIM para la mejora**

La herramienta que se utilizó para desarrollar la mejora es el SREDIM, se divide en diversas etapas las cuales sirven para seleccionar, registrar, examinar, diseñar, implementar y mantener las mejoras implementadas en un sistema de mantenimiento.

### 3.3.1. Evaluación de los procesos involucrados

Para evaluar los procesos involucrados en el mantenimiento de las palas y seleccionar la tarea para mejorar, se realizó un análisis detallado de los procesos involucrados en el procedimiento actual de mantenimiento.

**Figura 18.** Diagrama de Bloques del Proceso de Mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

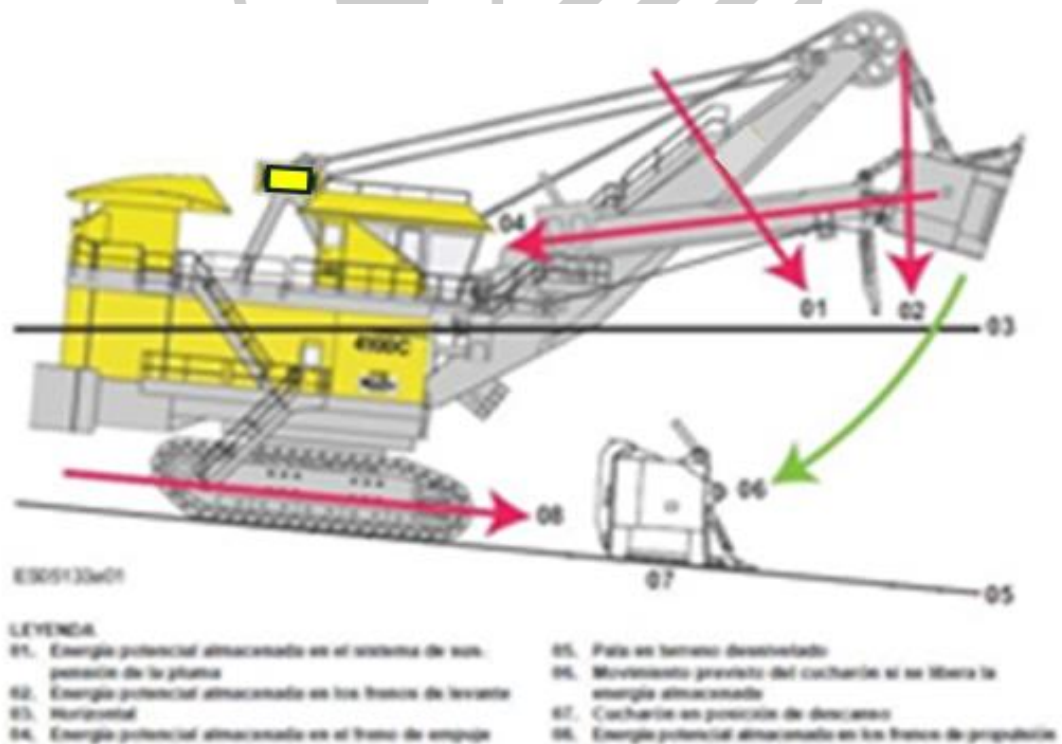
Para llevar a cabo el mantenimiento de las palas 4100 XPC, es esencial realizar la detención del equipo, siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

- Desplazar la pala hacia una zona sólida y nivelada, alejada de paredes o taludes.
- Orientar la pala de manera que la tornamesa coincida con el bastidor lateral de la oruga, permitiendo un descenso seguro de la escalera de acceso.

- c. Descender el cucharón hasta que repose en el suelo, aplicando los frenos de levante con el aro levantado. Tomar precauciones para evitar daños a los cables de levante durante la bajada del aro.
- d. Presionar el botón de paro ubicado en la consola del operador. Bloquear los controles del operador con candado y tarjeta, según lo indicado en el procedimiento de bloqueo.
- e. Colocar barreras alrededor del área de trabajo para prevenir la proximidad de otras personas durante las actividades de mantenimiento.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta como advertencia los riesgos de movimientos descontrolados ocasionados por la liberación de energía mecánica almacenada, los cuales podrían resultar en impactos o aplastamientos, causando lesiones graves o incluso la muerte. Por esta razón, se recomienda comprender completamente el control de la energía mecánica almacenada y la liberación de frenos de propulsión antes de proceder con el mantenimiento. Asimismo, es imperativo asegurarse de que los trabajadores se encuentren distanciados de los movimientos principales afectados por el freno que será liberado antes de iniciar el procedimiento.

**Figura 19.** Control de la energía mecánica almacenada



Fuente: Manual de mantenimiento

El manejo de la energía peligrosa es un desafío diario, tanto en entornos domésticos como laborales, y específicamente en las minas, se requiere el establecimiento de normativas específicas para el control de diversas formas de energía, como la eléctrica, mecánica e hidráulica. Se debe tener en cuenta una variante de la energía potencial conocida como energía mecánica almacenada y en partícula, está vinculada a dos procedimientos de mantenimiento distintos y separados aplicados a las palas eléctricas mineras: la liberación manual de freno y el desmontaje de los frenos.

Es crucial tomar precauciones frente a la liberación descontrolada de la energía mecánica almacenada, ya que puede dar lugar a movimientos imprevistos, causando lesiones graves o incluso la muerte. Por esta razón, es imperativo liberar siempre la energía mecánica almacenada antes de emprender el mantenimiento o desmontaje de los frenos de disco de las Palas Mineras.

En el contexto de las Palas Mineras, los frenos de disco utilizados son sistemas de retención accionados por resorte y liberados mediante aire, con un suministro de aire controlado electrónicamente. Esto implica que los frenos de disco se encuentran en condición "aplicada" cuando se utiliza el suministro de aire o eléctrico. No obstante, una vez que los frenos de disco son aplicados, tienen la capacidad de almacenar y retener la energía mecánica.

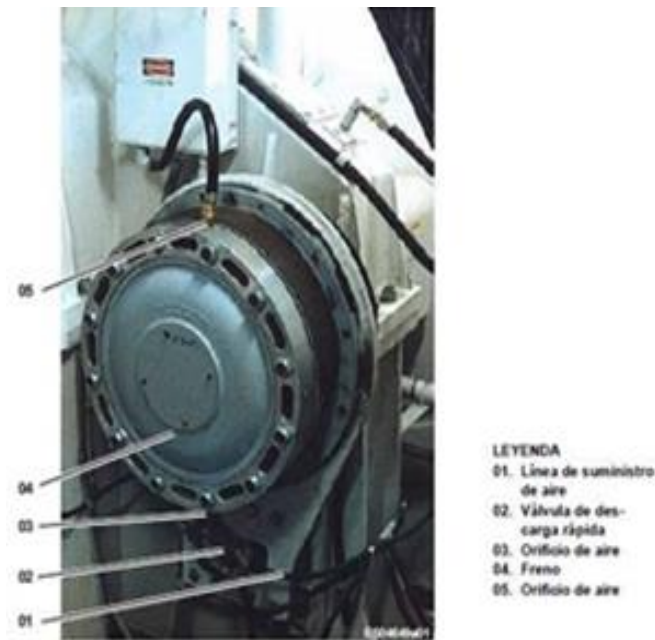
Durante la operación normal, cuando los frenos se liberan, los motores mantienen la posición de cada componente de movimiento de la pala, como el giro, levante, empuje y propulsión. En cambio, cuando los frenos están aplicados, los componentes se mantienen en su posición actual. Por lo tanto, liberar los frenos con los motores en funcionamiento no resultará en la liberación de la energía almacenada, de tal manera que, para lograr la liberación de la energía almacenada de los frenos, es esencial que los motores no estén en funcionamiento. Los pasos para realizar correctamente este proceso se detallan a continuación.

Paso 1: La pala se debe de colocar adecuadamente en un terreno nivelado y estable, con la cuchara en posición de descanso sobre el suelo, el aro de la cuchara hacia adelante, los cables de levante aflojados y los cables de suspensión ajustados. Se deben

de utilizar topes mecánicos, bloqueos y durmientes para estacionar la pala de manera segura.

Paso 2: Una vez la pala se encuentre detenida se deben de aplicar los bloqueos de seguridad mediante candado y tarjeta.

**Figura 20.** Sistema de frenos

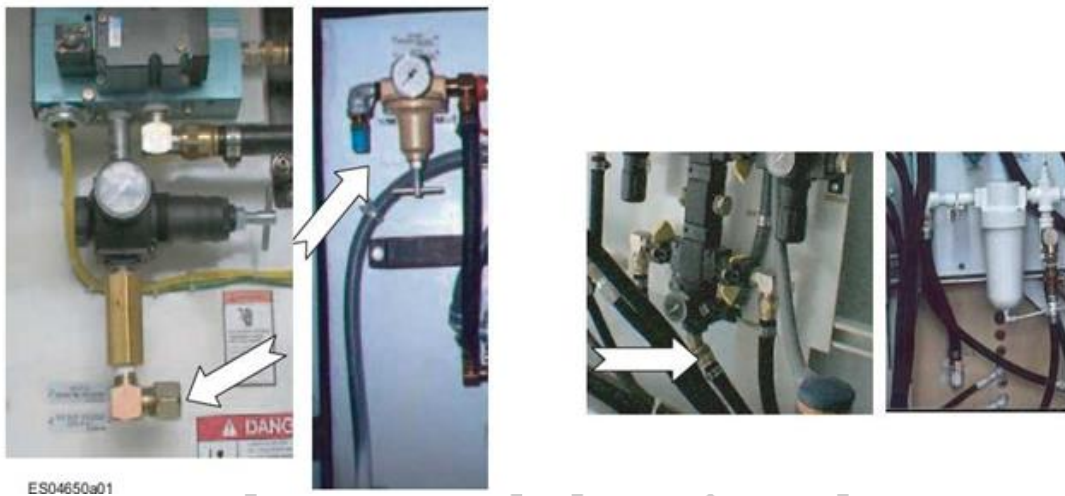


Fuente: Manual de mantenimiento

Paso 3: En sistemas con paneles de aire, se debe desconectar la línea del orificio de aire e instalar un tapón. En todos los sistemas, se tapa el orificio opuesto a la válvula de descarga rápida antes de continuar.

Paso 4: Se debe verificar que la presión de aire en el receptor de aire principal sea de al menos 105 psi (7,25 bar), comprobando el indicador en la consola del operador. Si la presión de aire es insuficiente, se desconecta la línea de aire entre el lubricante de aire y el regulador de la presión de aire, conectando una fuente de aire externa de al menos 105 psi (7,25 bar). La ubicación específica para conectar la fuente de aire externa varía según el sistema, y se muestra en la figura 21 con ejemplos de puntos de conexión. En todos los casos, el punto de conexión debe estar justo aguas arriba del regulador de la presión del aire del freno. El uso de la válvula de aire puede generar movimientos descontrolados de los componentes de la pala, lo que podría causar lesiones graves o la muerte. Se requiere personal adicional y es imperativo establecer un medio de comunicación entre las personas.

**Figura 21.** Puntos de conexión



Fuente: Manual de mantenimiento

Paso 5: Tras verificar la presión del aire, se deben de situar a los técnicos encargados de maniobrar la liberación y notificar al operador de la válvula de freno cuando los técnicos se encuentren presentes en cada uno de los frenos preparados.

**Figura 22.** Válvula de freno



Fuente: Manual de mantenimiento

Paso 6: Se confirma con el vigilante que el área está despejada y que se puede liberar el freno.

Paso 7: Se solicita al operador de la válvula de freno que identifique la válvula de aire que suministra aire al freno a operar. Se deben instalar etiquetas cerca de la válvula.



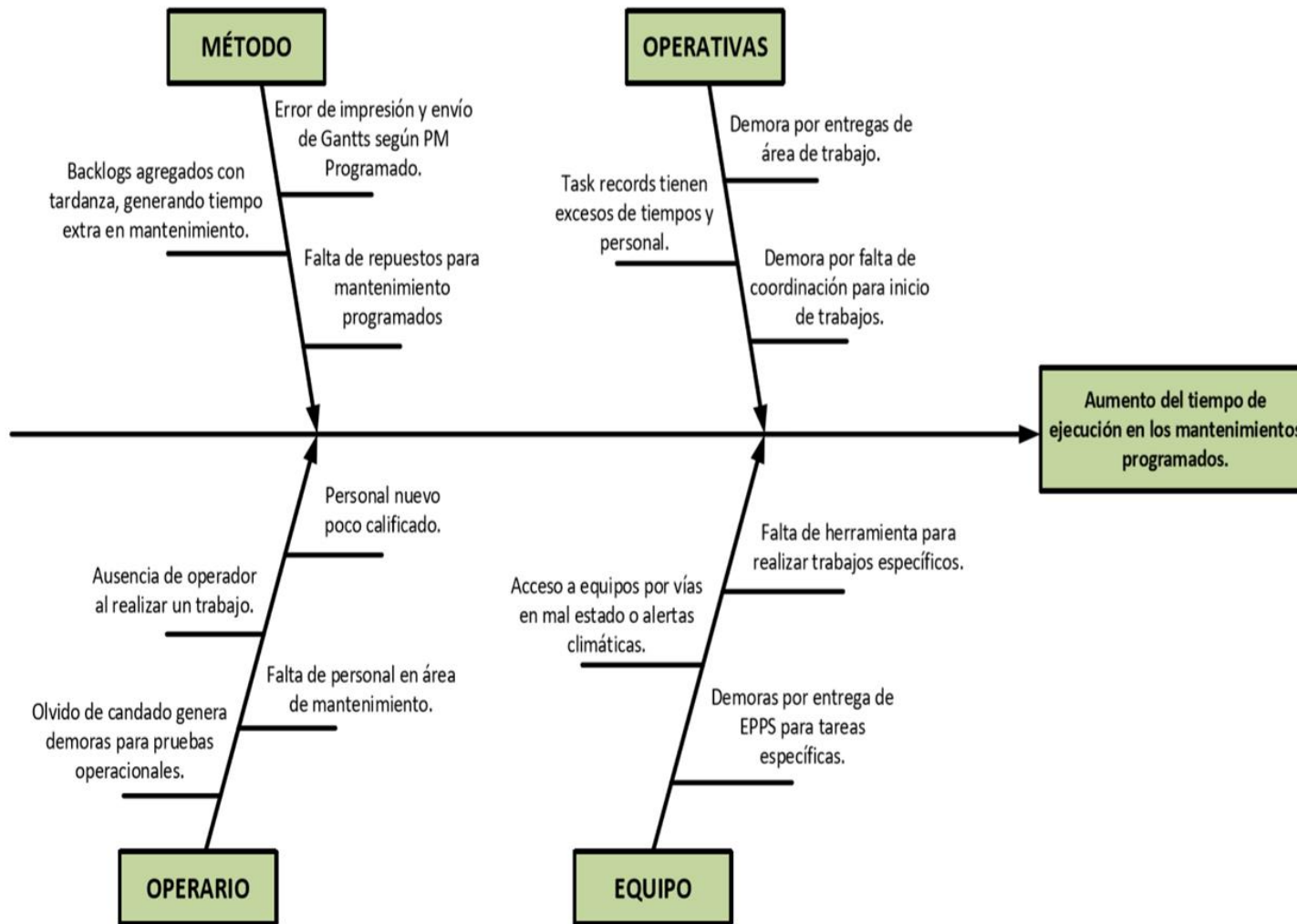
Paso 8: Se notifica a todos los miembros del equipo que se va a liberar el freno. Se pide al operador de la válvula de freno que utilice una varilla de 1/8" de diámetro (o un dispositivo similar adecuado) para presionar el botón del actuador manual en la válvula que suministra aire al freno a operar. El operador de la válvula de freno debe mantener presionado el botón del actuador manual durante la maniobra para liberar el freno.

Paso 9: Cuando el freno de disco se abre mecánicamente, es probable que haya ciertos movimientos en los componentes asociados. Los técnicos deben de observar los rotores de los frenos de disco (un técnico por freno) mientras rotan y cuando quedan en posición de descanso deben indicar que la energía almacenada ha sido liberada. La liberación descontrolada de la energía mecánica almacenada puede provocar movimientos inesperados, causando lesiones graves o la muerte. Si en el paso 9 los frenos de disco no rotan ni quedan en posición de descanso, se procede directamente con los procedimientos de desmontaje.

Paso 10: Una vez comprobada la liberación de la energía se procede a realizar las inspecciones, reemplazar componentes, tomar medidas y llevar a cabo todas las acciones de mantenimiento requeridas.

Para determinar las causas del aumento del tiempo de ejecución de los mantenimientos programados, se realizó un análisis a base del diagrama de Ishikawa, se muestran las causas principales y secundarias de este problema. Dicho análisis se muestra en la siguiente figura.

**Figura 23.** Ishikawa sobre tiempos de mantenimientos programados



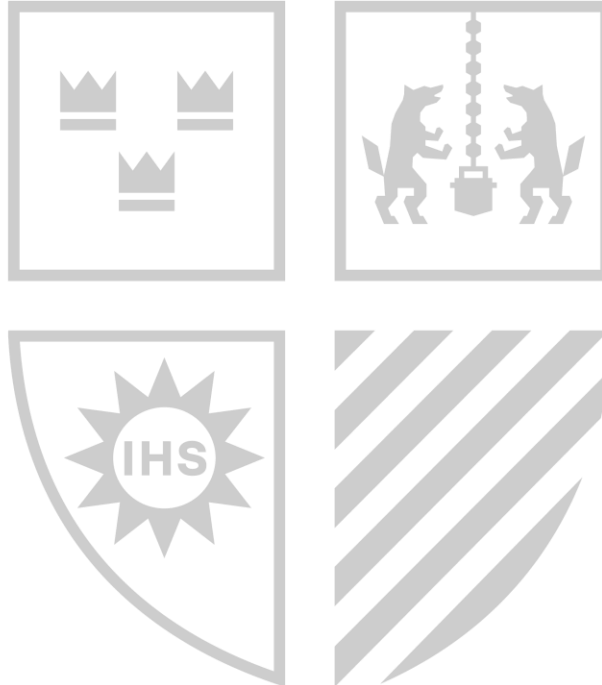
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2. Mejoras seleccionadas

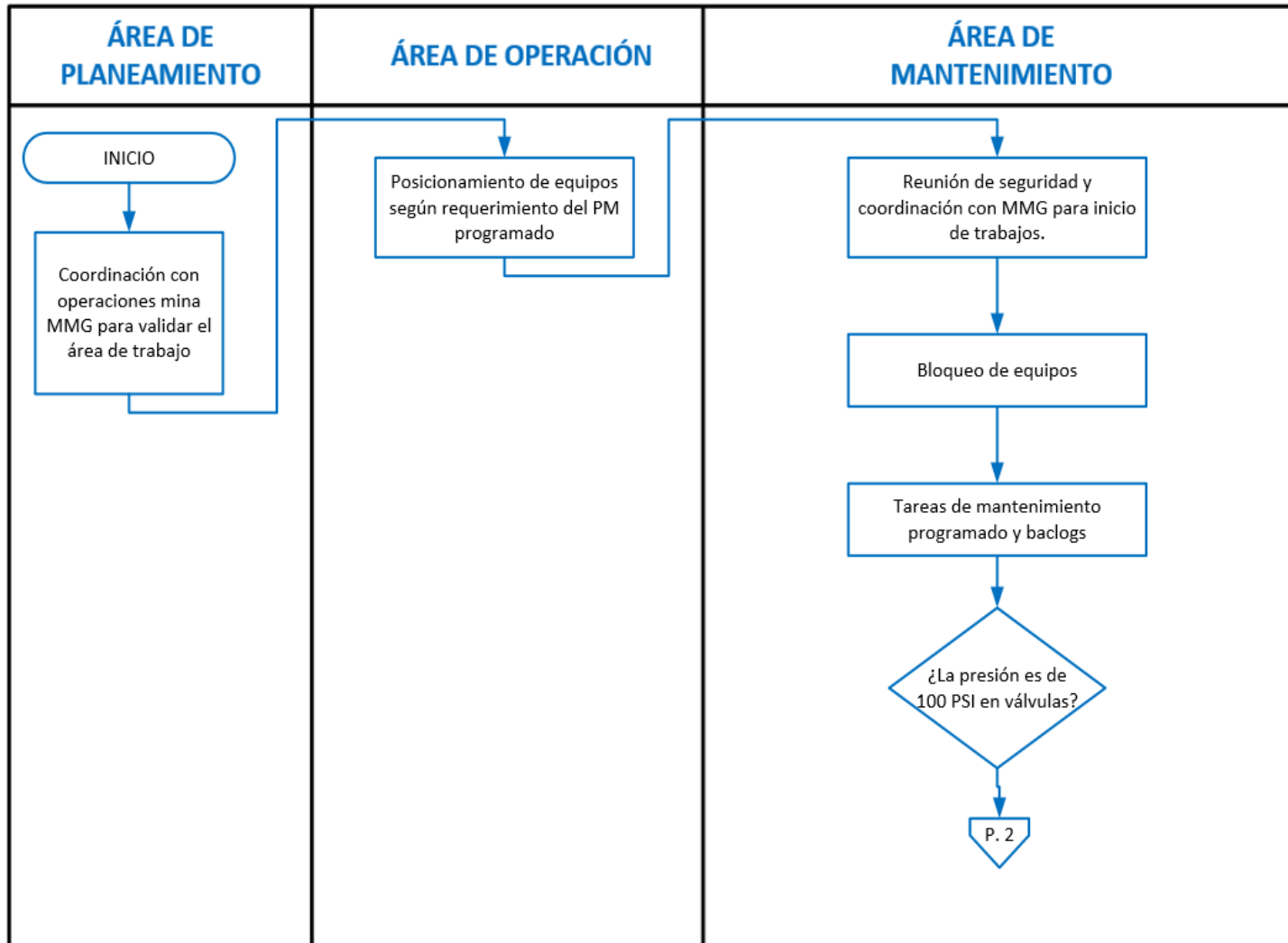
Los procesos seleccionados para el desarrollo de la propuesta de mejora fueron la inspección del sistema de aire y el desgaste de frenos, ya que se observó que son los más habituales y por ende los que podrían ocasionar paradas inesperadas de mantenimiento con la consecuente pérdida económica para la empresa.

### 3.3.3. Registro de los procesos

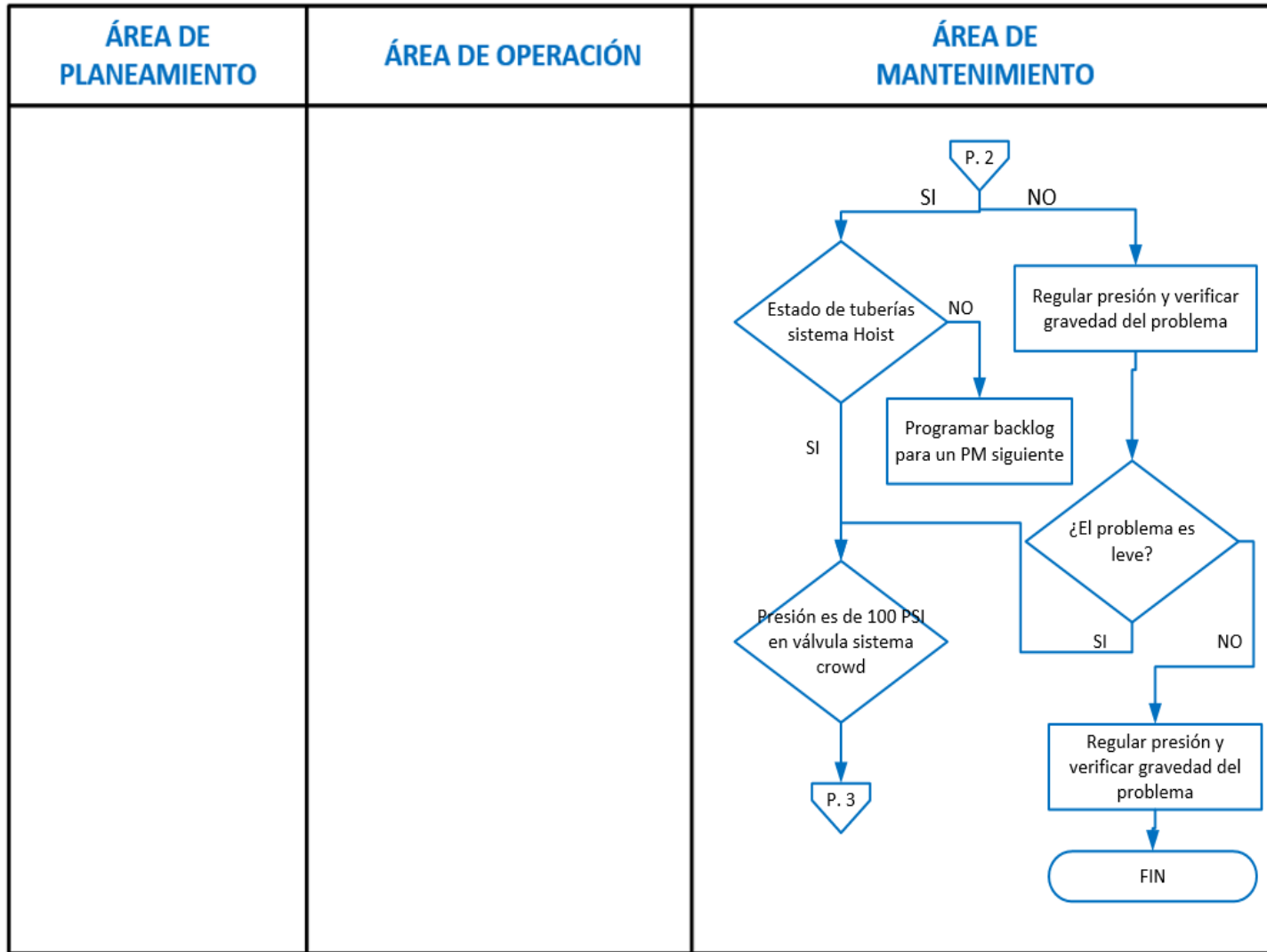
Para registrar los procesos se utilizaron los diagramas de análisis de proceso (DAP), y los diagramas de operaciones de proceso (DOP) como se muestra a continuación.



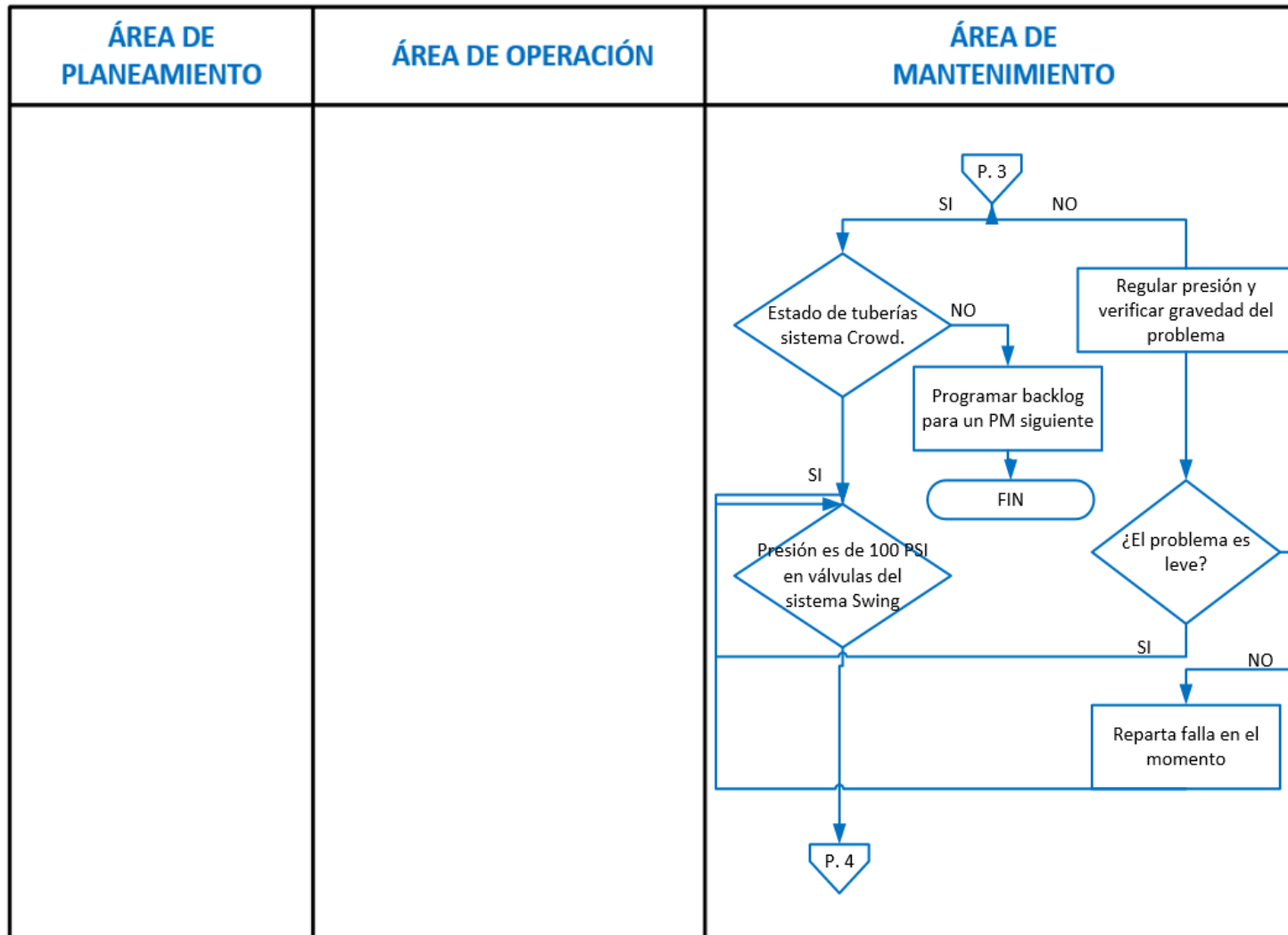
**Figura 24.** Flujograma Inspección del sistema de aire - Mecánico 1 – parte 1



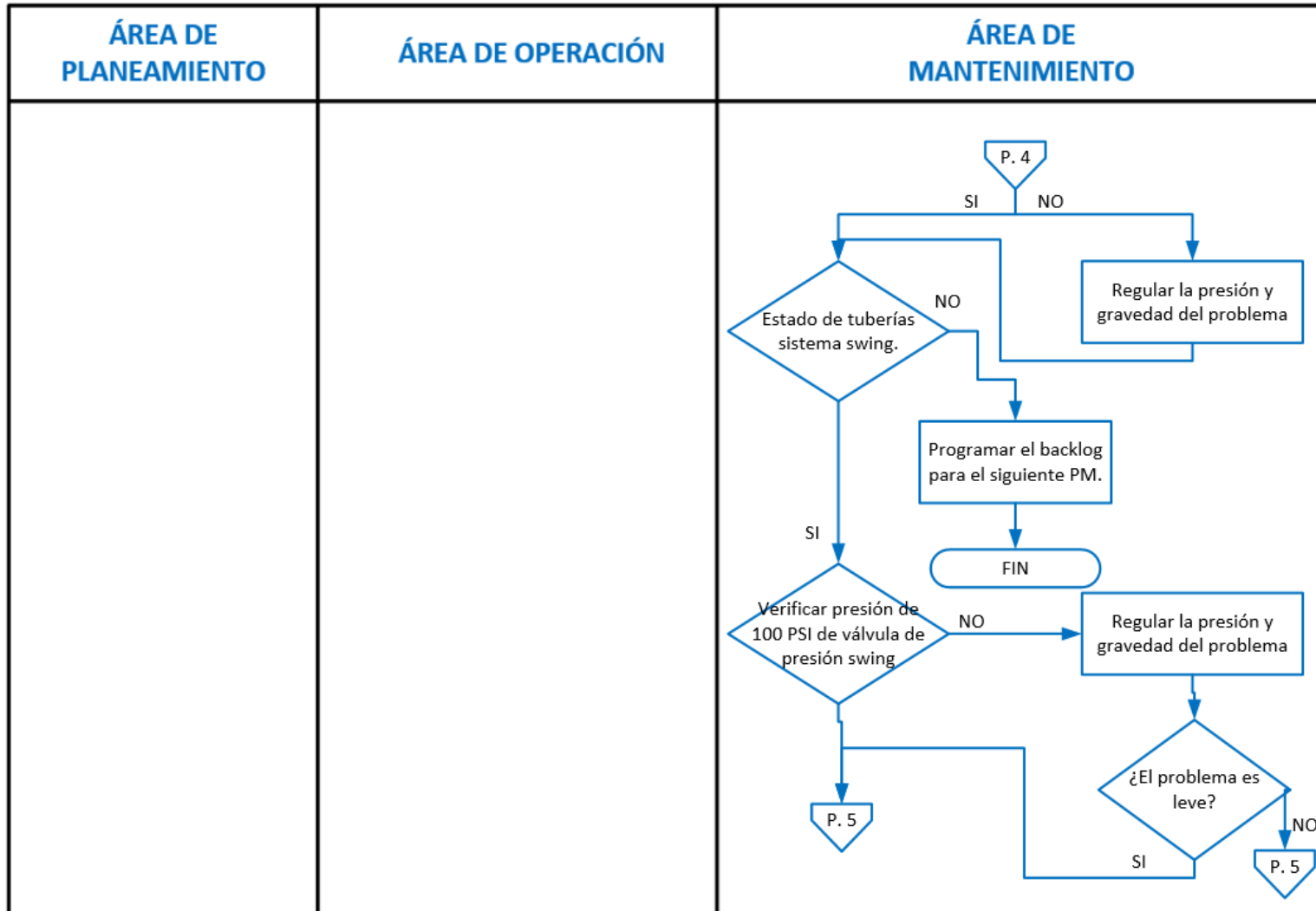
**Figura 25.** Flujograma Inspección del sistema de aire - Mecánico 1 - parte 2



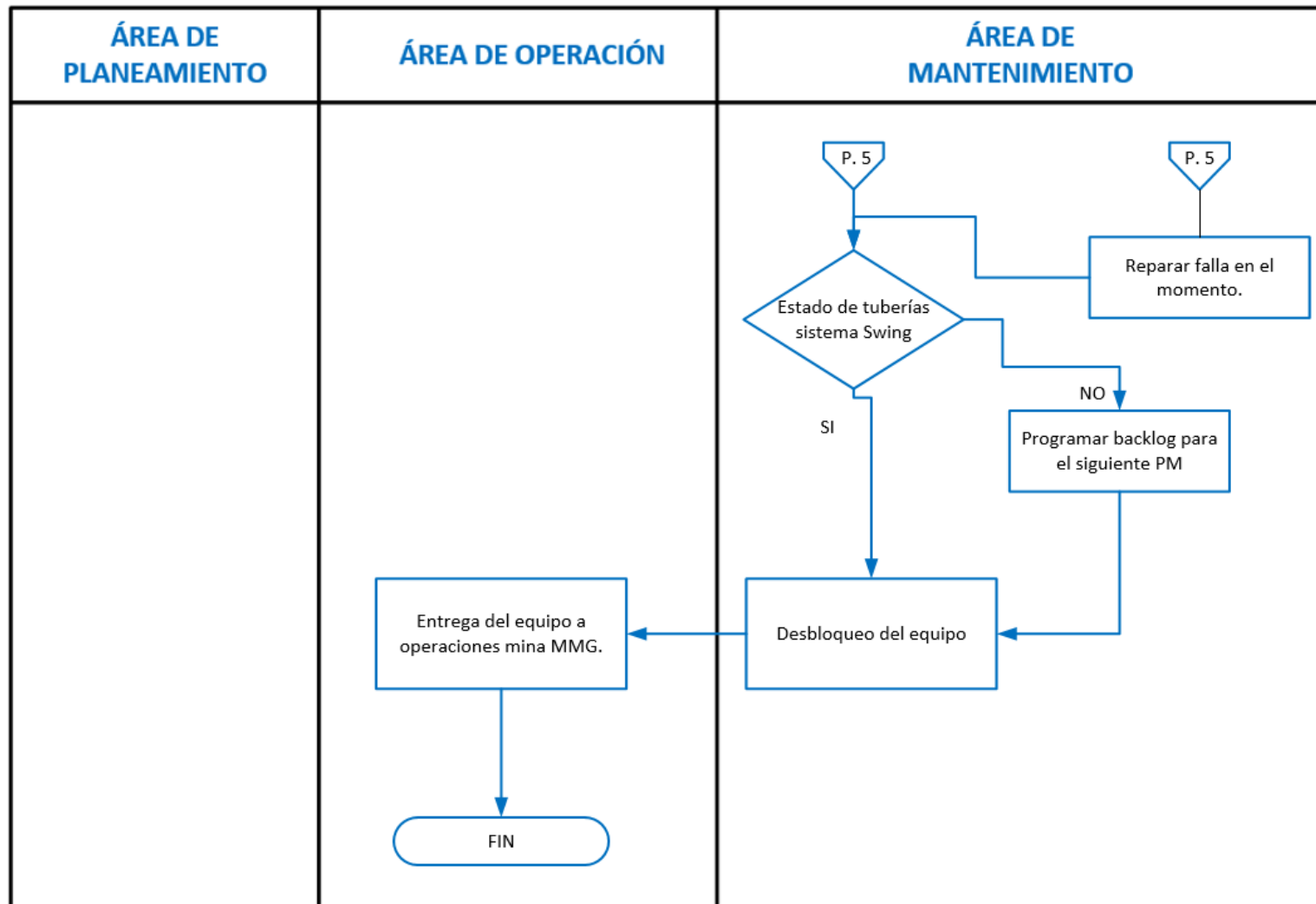
**Figura 26.** Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 1 – parte 3



**Figura 27.** Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 1 – parte 4

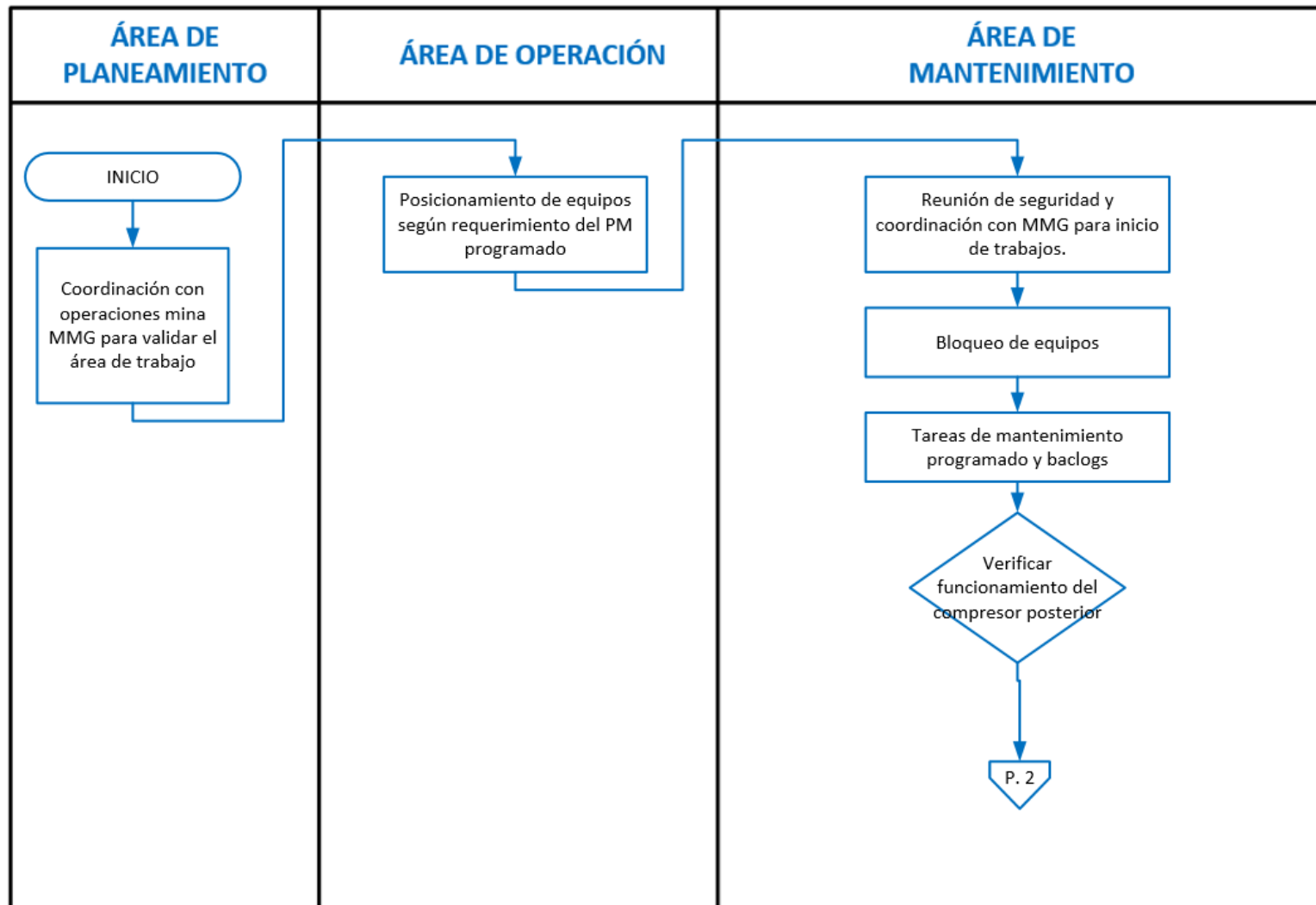


**Figura 28.** Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 1 – parte 5

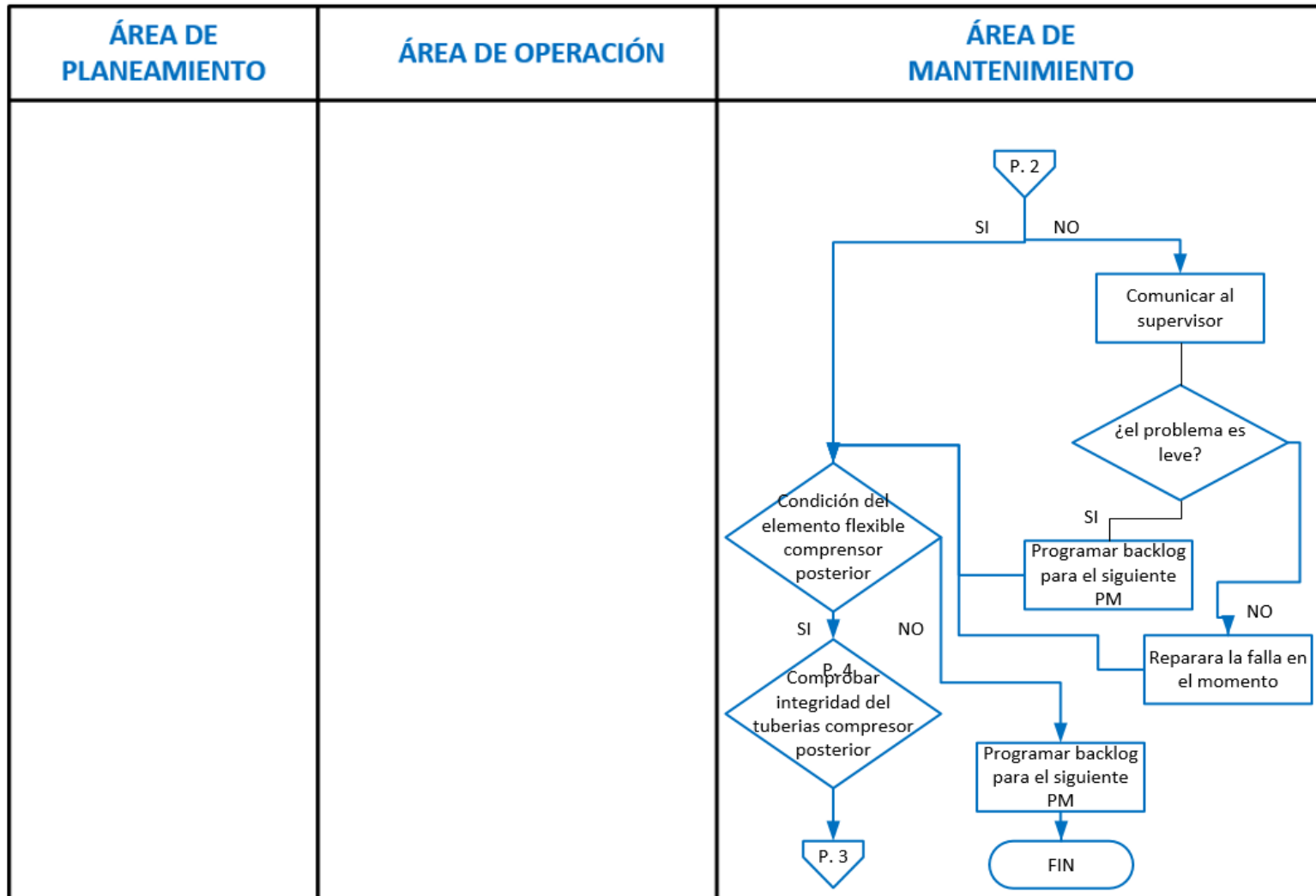




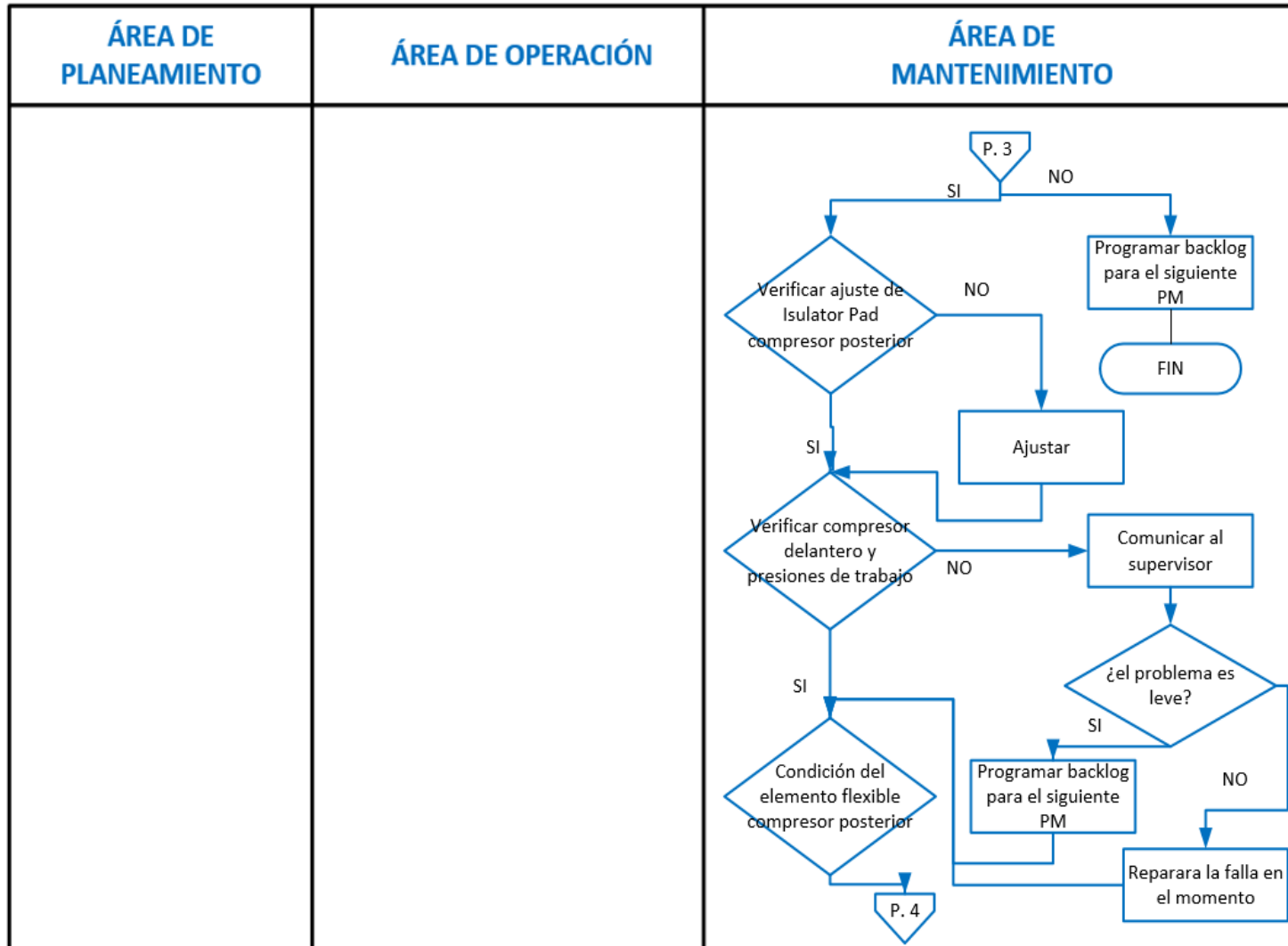
**Figura 29.** Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 2 – parte 1



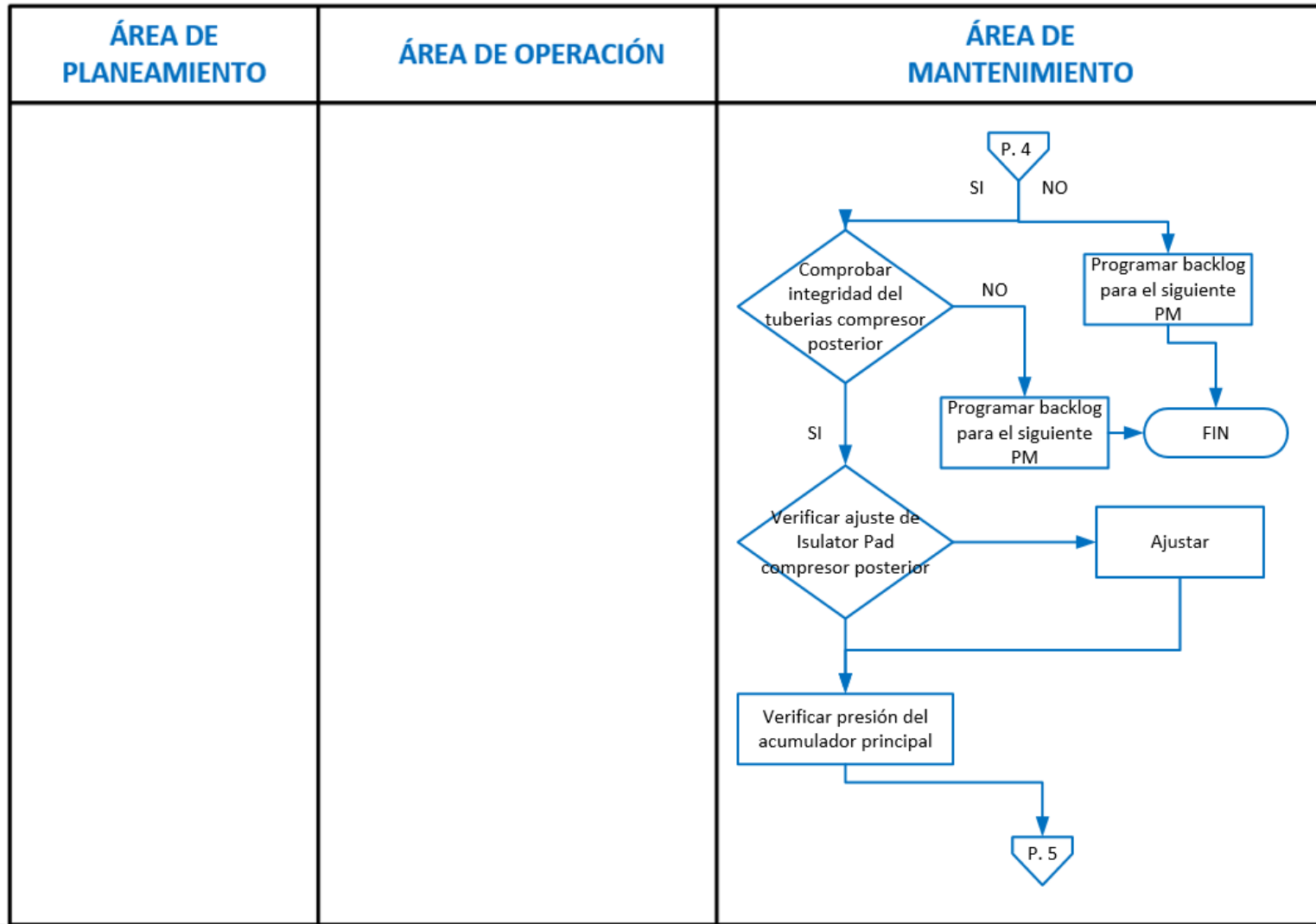
**Figura 30.** Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 2 – parte 2



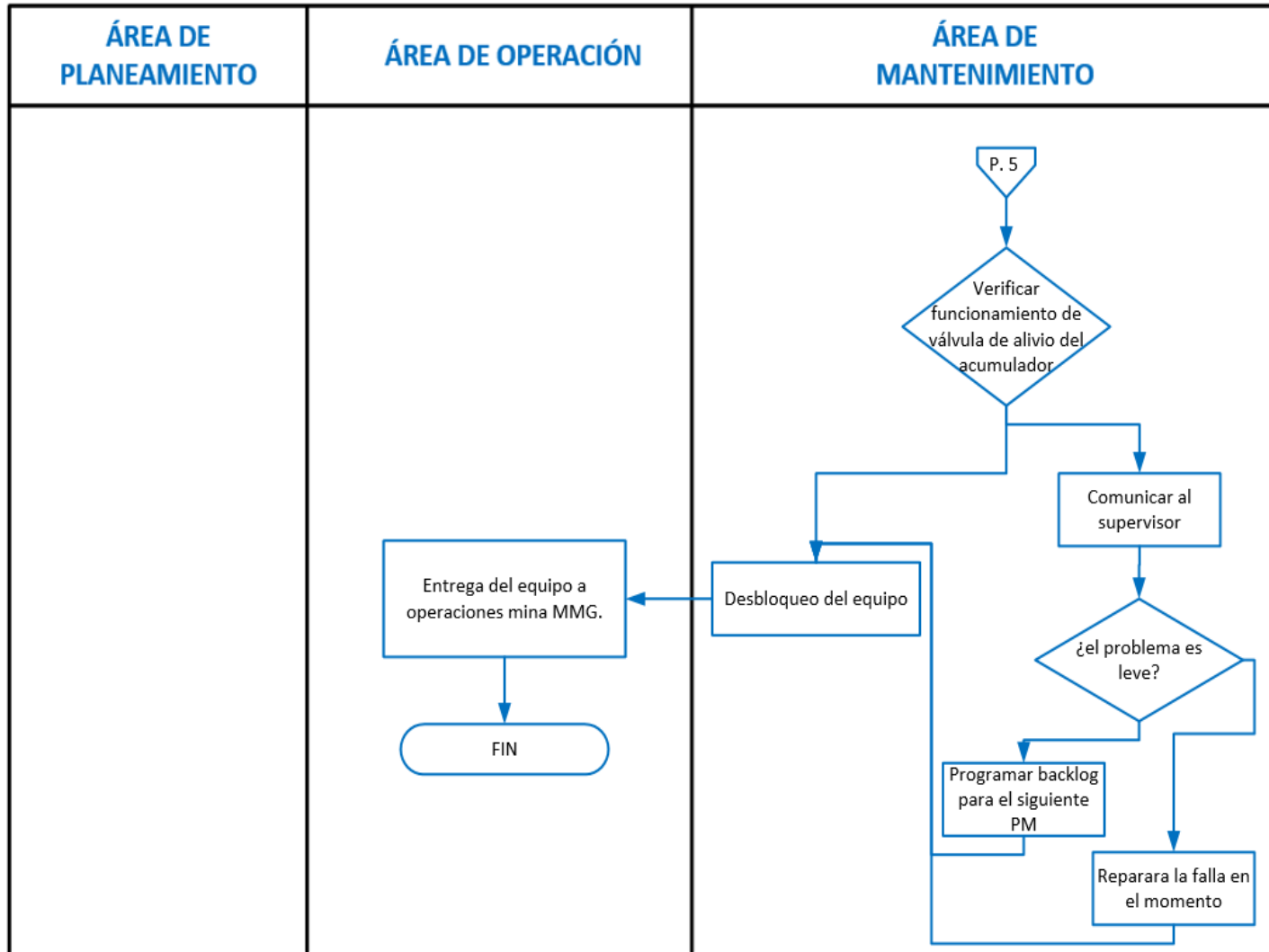
**Figura 31.** Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 2 – parte 3



**Figura 32.** Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 2 – parte



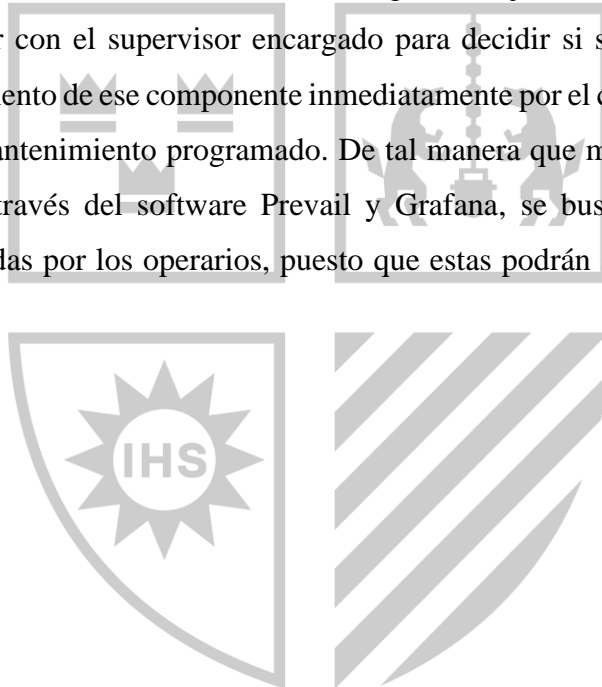
**Figura 33.** Flujograma Inspección del sistema de aire – Mecánico 2 – parte 5



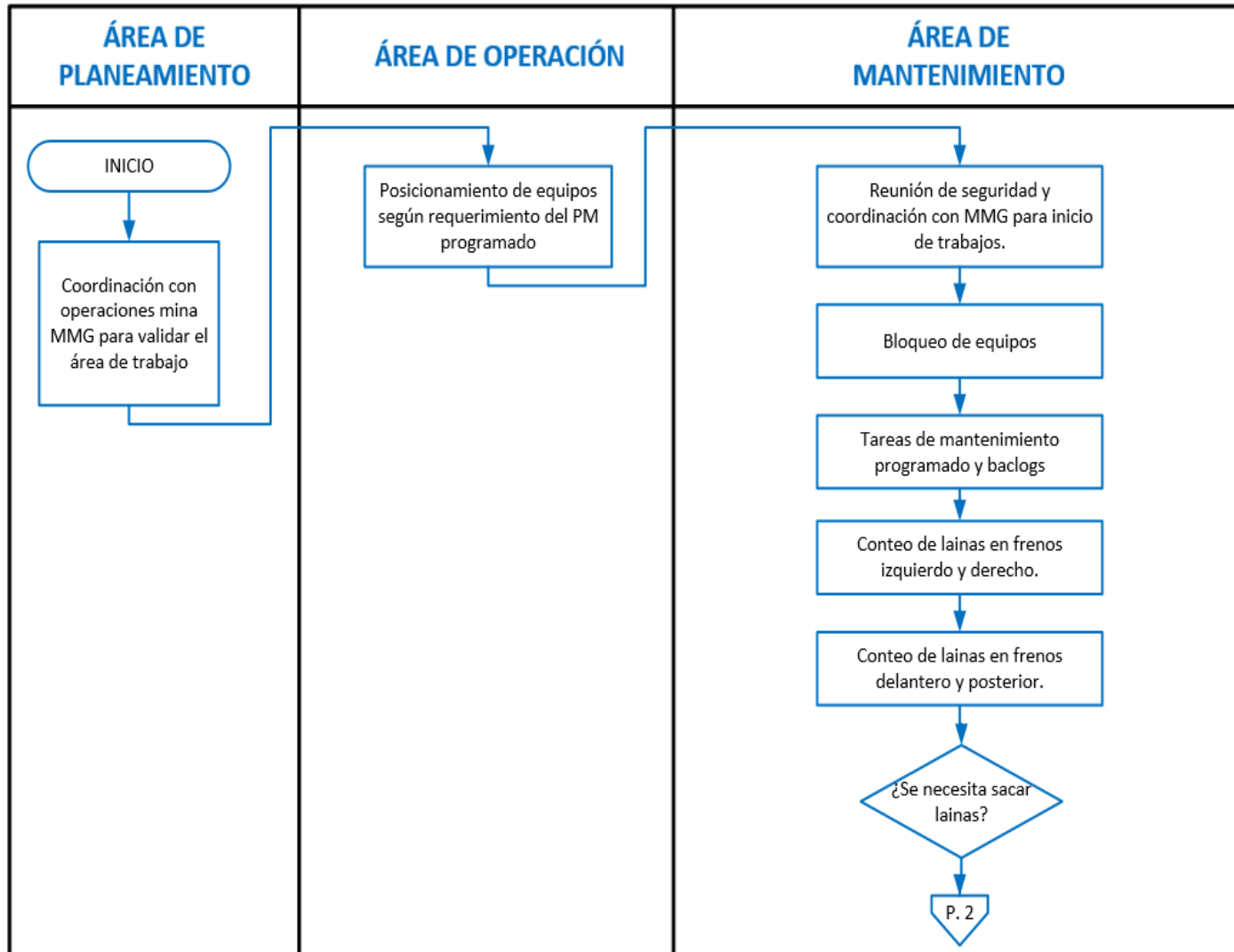
En las figuras anteriores se observa el Flujograma del proceso de inspección del sistema de aire, se puede observar que dicho proceso es desarrollado por dos mecánicos que realizan un trabajo en serie.

El mecánico 1, demora un tiempo total de 76 minutos con 15 segundos en terminar su labor y poder empezar alguna otra tarea designada. Mientras que el mecánico 2 se toma un tiempo de 81 minutos y 45 segundos para realizar los trabajos de inspección del sistema de aire en cada mantenimiento programado de 500 horas de trabajo.

Es importante mencionar que si en el proceso de mantenimiento, los mecánicos encontrarán válvulas en mal estado, tuberías o algún trabajo adicional que realizar, se deberá de coordinar con el supervisor encargado para decidir si se debe de realizar el cambio o mantenimiento de ese componente inmediatamente por el contrario programarlo para el siguiente mantenimiento programado. De tal manera que mediante la aplicación del seguimiento a través del software Prevail y Grafana, se buscará eliminar ciertas operaciones realizadas por los operarios, puesto que estas podrán ser realizadas por los softwares.



**Figura 34.** Flujograma Inspección de Desgaste de frenos – parte 1



**Figura 35.** Flujograma Inspección de Desgaste de frenos – parte 2

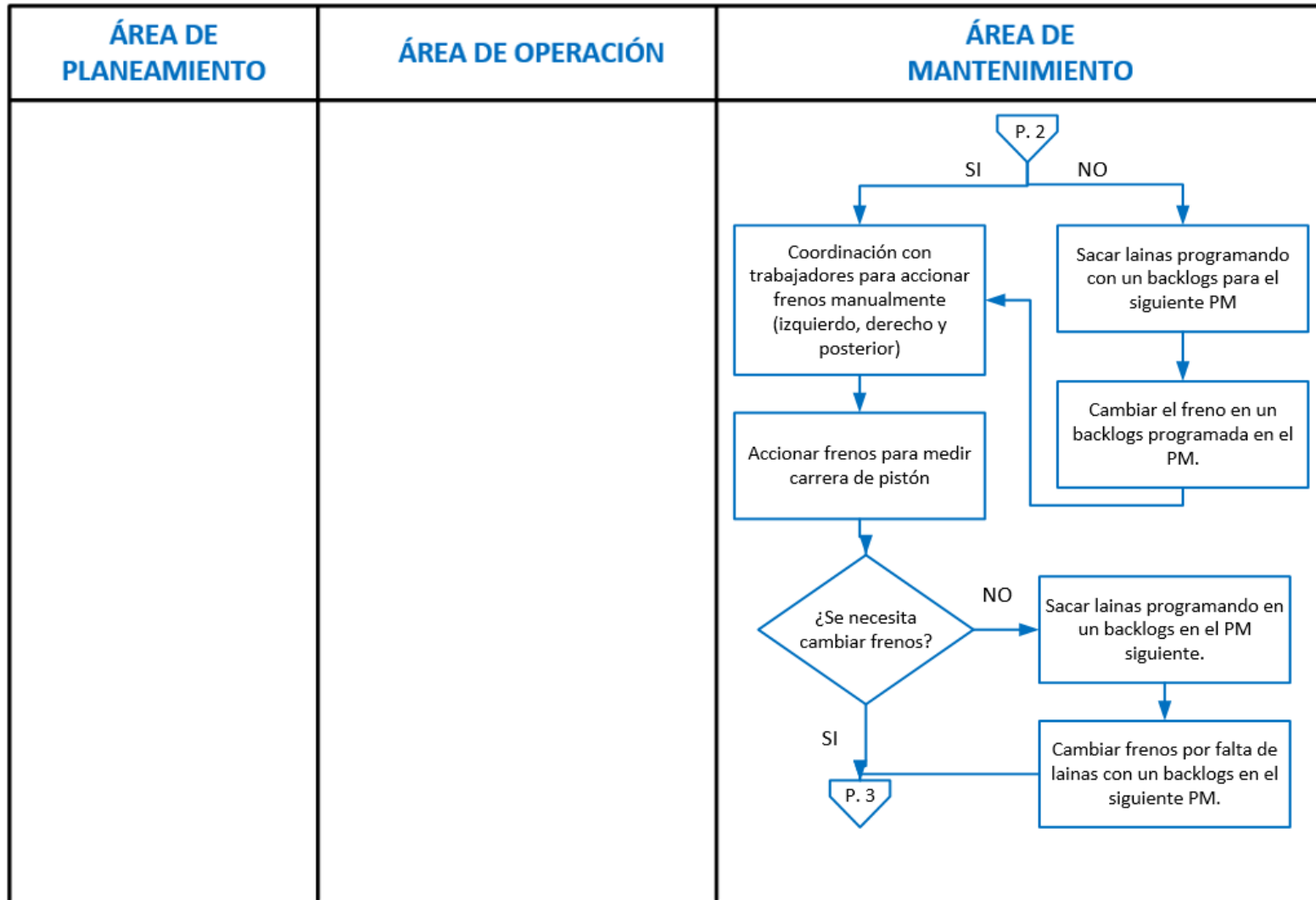
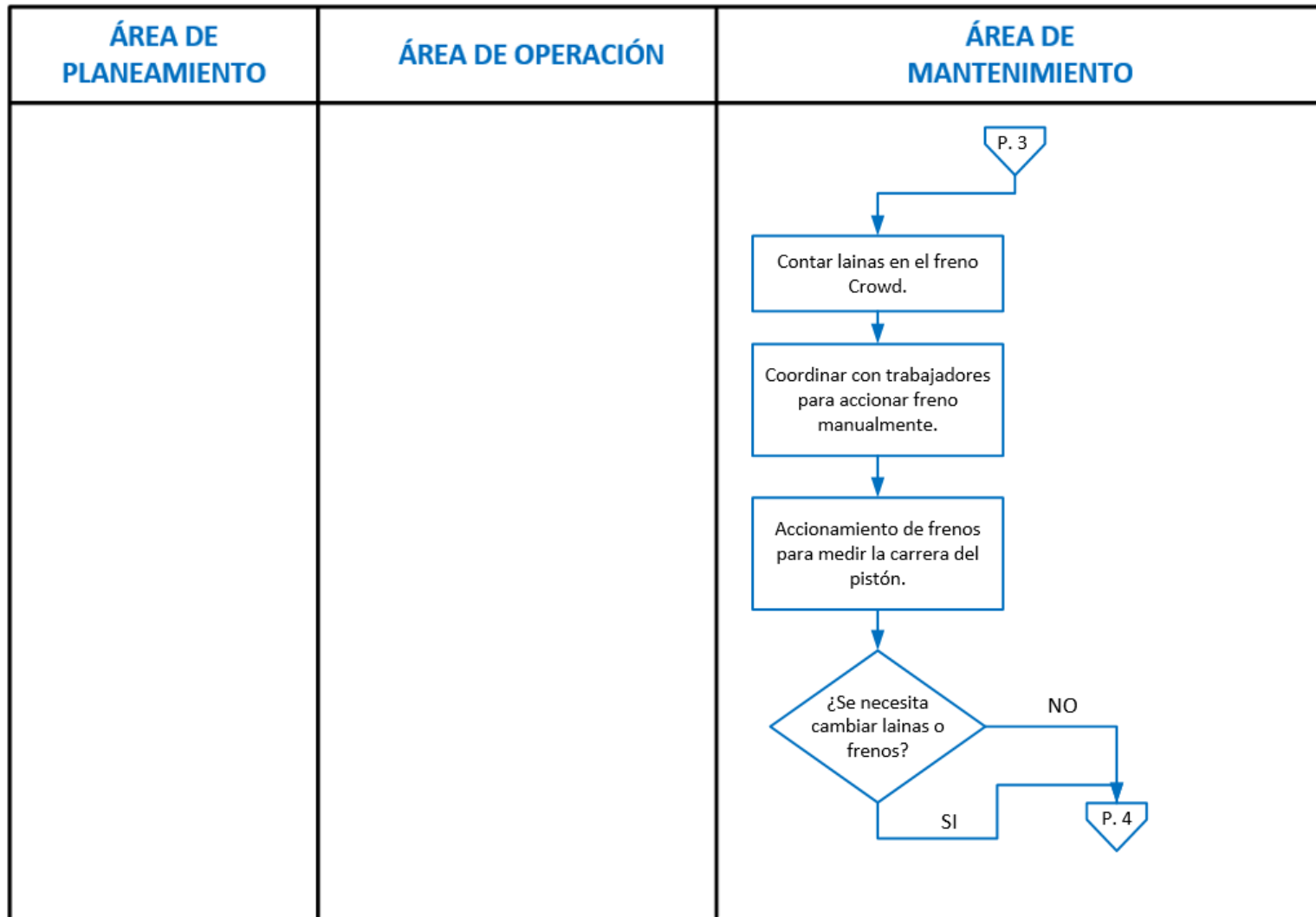
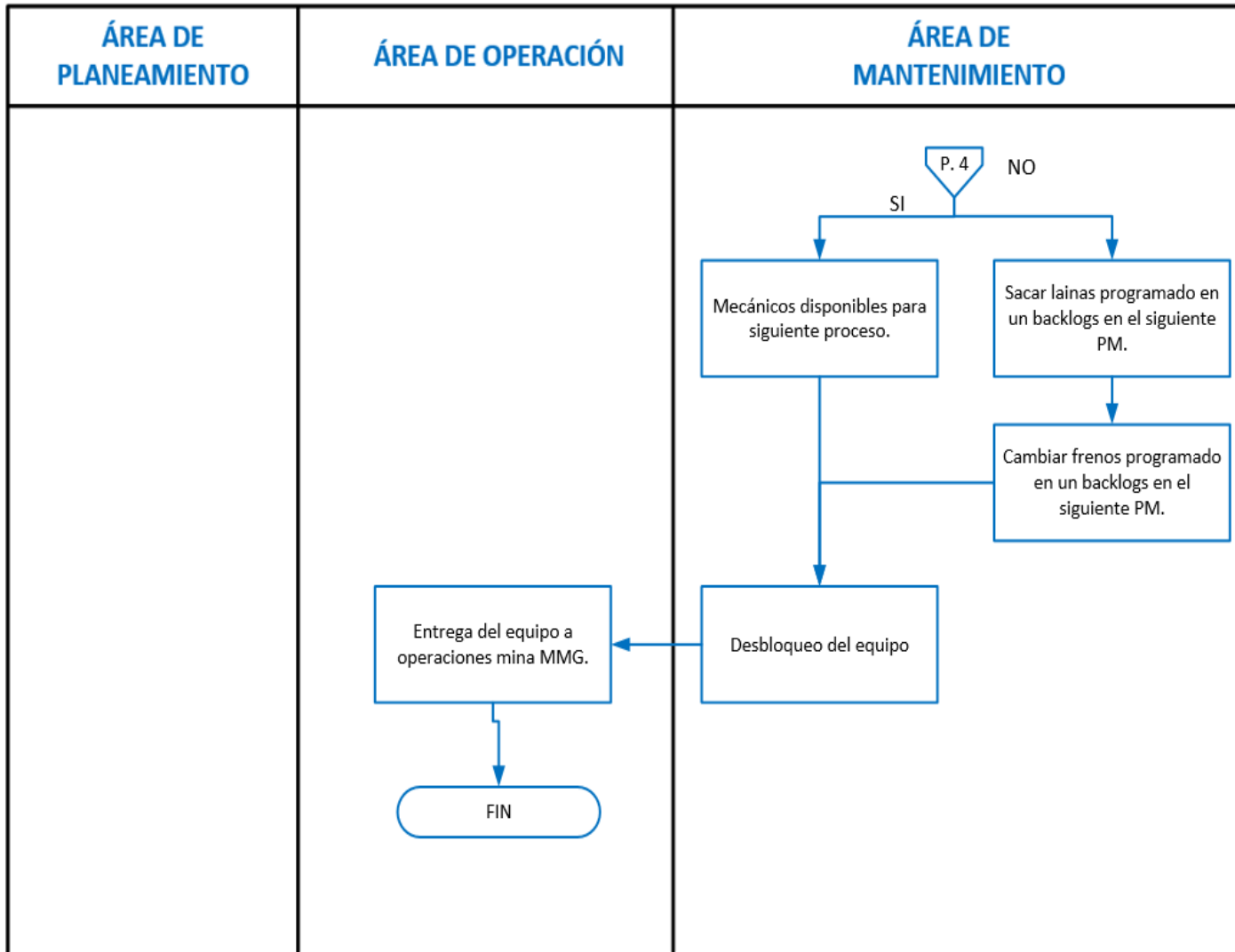




Figura 36. Flujograma Inspección de Desgaste de frenos – parte 3

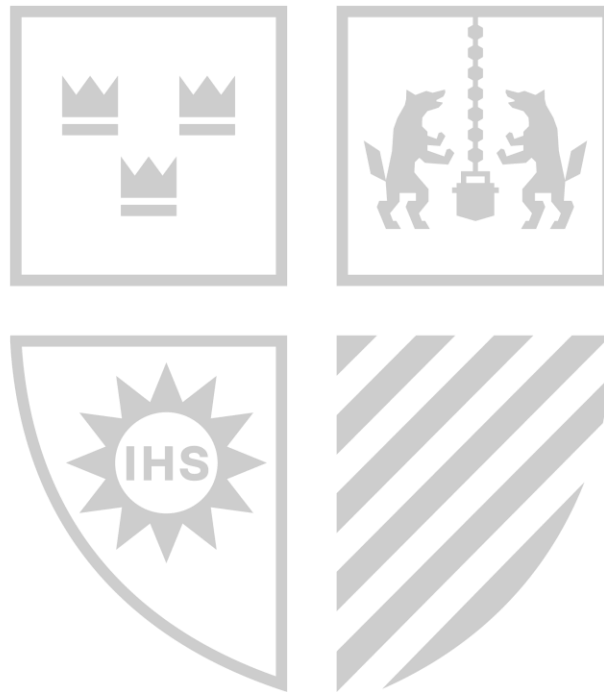


**Figura 37.** Flujograma Inspección de Desgaste de frenos – parte 4



En las figuras anteriores se observa el Flujograma del proceso de inspección de desgaste de frenos actual, es desarrollado por dos mecánicos que realizan un trabajo en conjunto.

Según el plan de mantenimiento registrado en la empresa los dos mecánicos realizan un trabajo en serie por lo que ocupan 92 minutos para realizar el trabajo aproximadamente. Por lo que con la implementación del seguimiento a través del software Prevail y Grafana se buscará reducir el tiempo de mantenimiento eliminando ciertos procesos que podrán ser realizados por los softwares.



## CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE MEJORA

En el presente capítulo, se describe como se crearon los Dashboards en los softwares PreVail y Grafana en los cuales se desarrollaron los gráficos de tendencia para la inspección del sistema de aire y las tablas de verificación de los tiempos de liberación de frenos para la inspección del desgaste de estos.

### 4.1.Descripción de las propuestas de mejora propuestas

Las propuestas de mejora planteadas buscan implementar el uso de los softwares PreVail y Grafana para el control de las máquinas durante el proceso productivo. Esta implementación contribuirá a optimizar la gestión del mantenimiento en la empresa, al reducir los tiempos muertos, los tiempos de parada y los costos asociados tanto a las paradas como al mantenimiento.

Es importante recalcar que para que el software funcione de manera efectiva a través del tiempo se requerirá que la minera del sur adquiera el paquete completo del software. Dentro del paquete del software se tendrán diversos beneficios, como el monitoreo durante todo el día por parte de dos ingenieros de confiabilidad, cuyo propósito principal es analizar el monitoreo de las condiciones de los equipos. Además de brindar constantemente propuestas para mejorar el software PreVail y Grafana.

Finalmente, la implementación de dicho software no incurre en costos mayores, ya que, en la sucursal de la Joya, en el área de Smart Solutions, se brindan capacitaciones constantes para implementar mejoras en dicho sistema. Todo lo mencionado anteriormente sustenta la aplicación del software PreVail y Grafana como una propuesta sustentable y mejorable a través del tiempo.

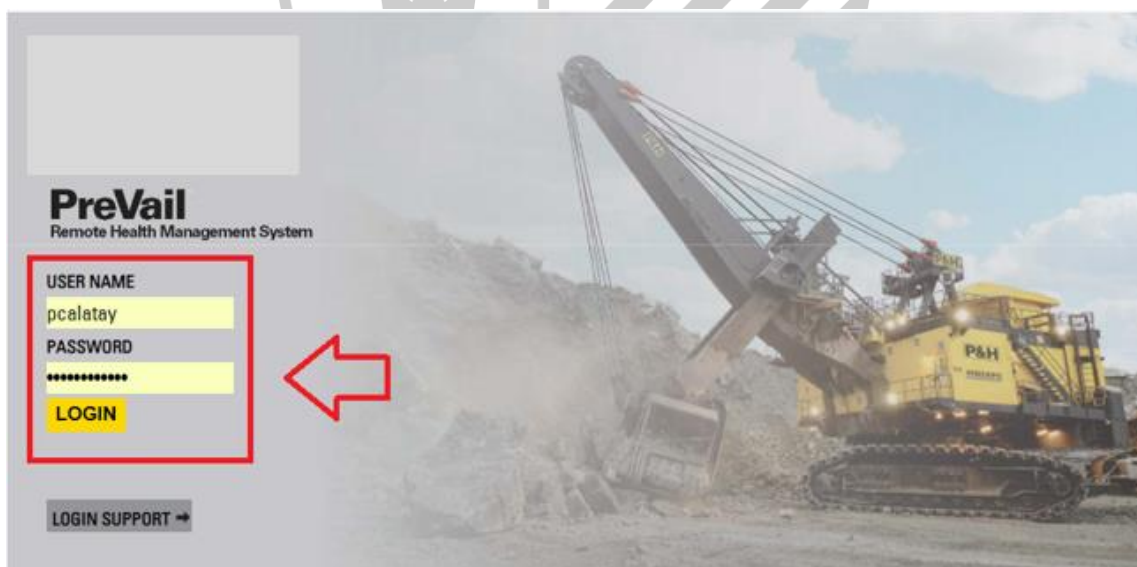
## 4.2. Propuesta de mejora para la inspección del sistema de aire

En esta primera propuesta, con la creación y modificación de ventanas de monitoreo remoto es que se va a poder verificar la presión de aire principal con la que trabaja el equipo, y presiones en los distintos sistemas (CROWD, HOIST, PROPEL, SWING y Compresor). Con esto se quiere comprobar que puede haber una disminución en los tiempos de inspección y recursos en cada mantenimiento programado al pasar las tareas de inspección de presiones en los sistemas y compresor principal a los softwares. La propuesta de mejora se dividió en dos partes, la primera se utilizó el software PreVail y la segunda donde se utilizó el software Grafana.

### 4.2.1. Aplicación del software PreVail

En esta primera etapa se utilizó el software PreVail, por lo que, para ingresar a este sistema, se usó el usuario y contraseña propios de cada analista como se muestra a continuación.

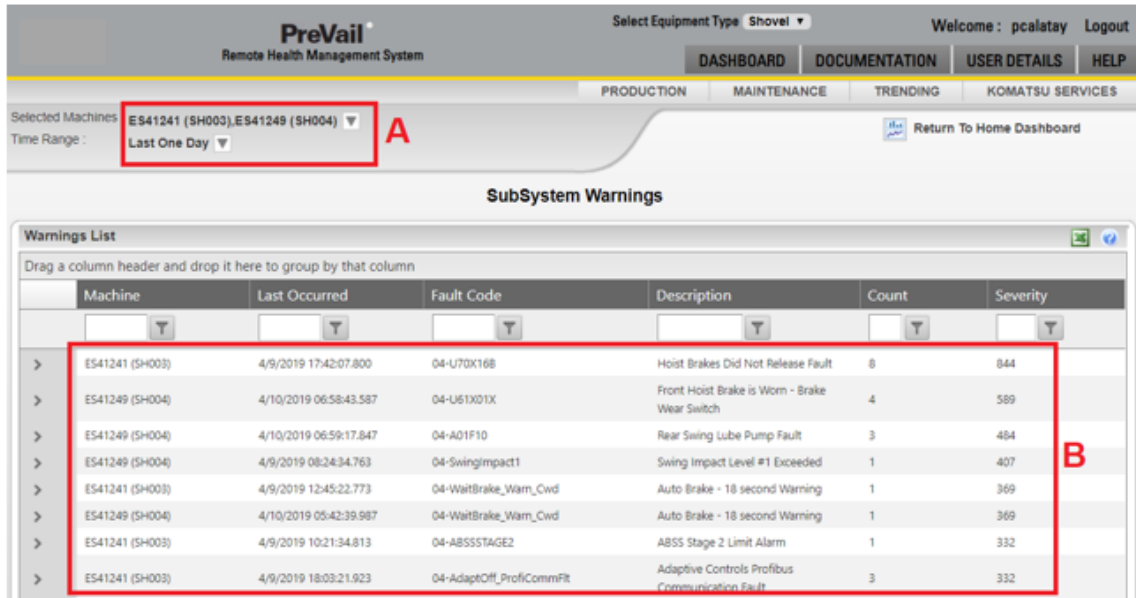
**Figura 38.** Pantalla de ingreso a PreVail



Una vez completado el ingreso, según lo que se muestra en la figura 39, en el punto A, se seleccionó el equipo que se quiso monitorear y el tiempo hacia atrás que se quiso observar, en este caso las Palas 4100 XPC. Una vez seleccionados, en el punto B se muestran las fallas, la fecha y hora en que sucedió la falla. Cabe aclarar que el sistema

PreVail permite ver las fallas que se producen en los equipos mas no muestra puntualmente fallas recurrentes o fallas que puedan hacer parar el equipo por lo que se recurre al sistema Grafana proporciona un mayor detalle y tendencia de la falla.

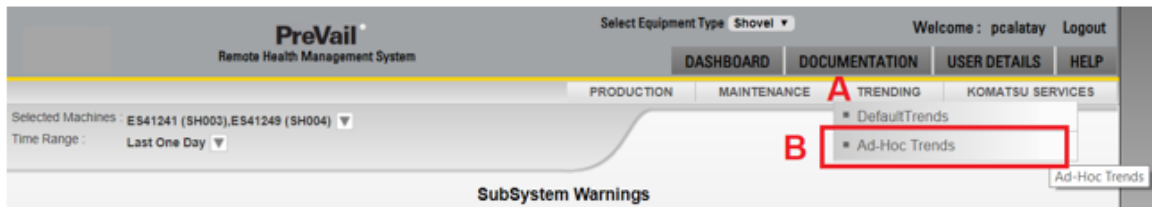
**Figura 39.** Detalle de fallas de la Pala 4100 XPC en PreVail



#### 4.2.2. Aplicación del software Grafana

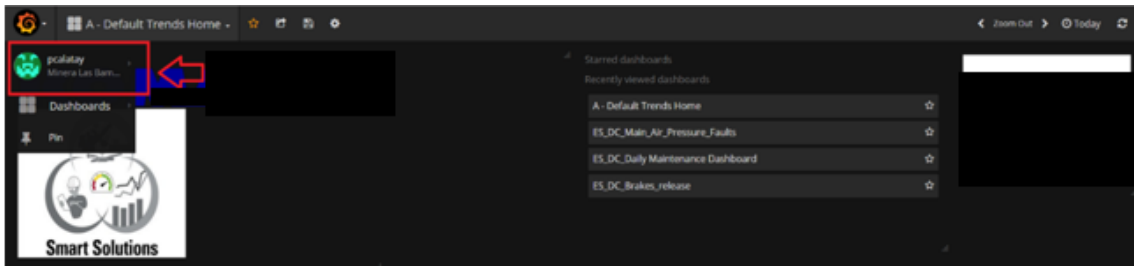
En la segunda etapa, una vez identificadas las fallas de los equipos en el PreVail, se ingresó al software Grafana, como se muestra a continuación, se seleccionó el punto A donde dice “TRENDING” y luego el punto B “Ad-Hoc Trends”.

**Figura 40.** Ingreso a Grafana



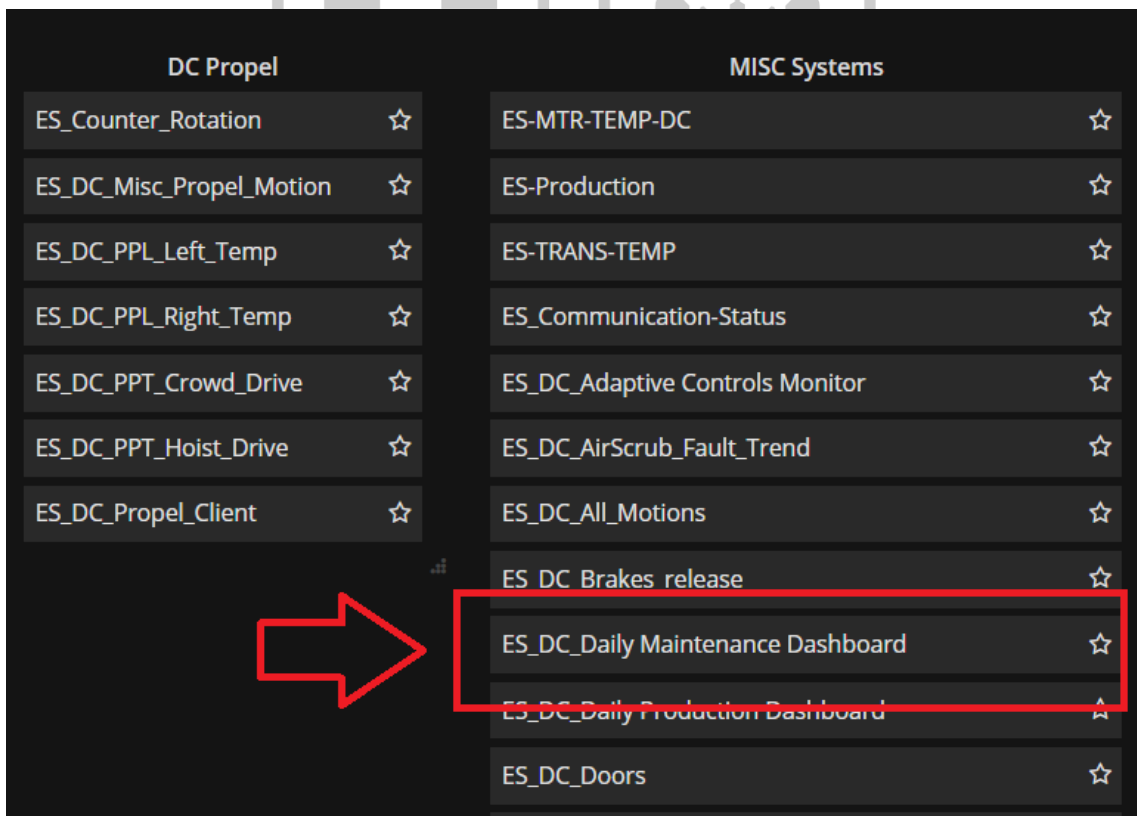
Ya dentro del Grafana se seleccionó el usuario con el que se va a trabajar, como se muestra a continuación.

**Figura 41.** Selección de usuario



Luego, en el Grafana, para desarrollar la mejora que va a inspeccionar el sistema de aire, se creó un nuevo Dashboard con el nombre de “ES\_DC\_Daily Maintenance Dashboard” donde ES por Electrical Shovel, DC es por Direct Current y le sigue el nombre en inglés que se busca darle, en este caso sería ventana de mantenimiento diario.

**Figura 42.** Creación del Dashboard



Aquí es donde se agregaron los parámetros que se necesitan ver en el tiempo, vale decir que se van a crear diagramas de tendencia de presión de aire para los distintos sistemas que se quieren monitorear y de los cuales se pretende eliminar de las tareas de mantenimiento programado.

Para poder crear las gráficas de tendencia, se utilizaron los comandos ya establecidos por el fabricante, es decir que según el comando que se busque y elija, se podrá visualizar el diagrama de tendencia de este en la pantalla. En total son 647 comandos con nombres de etiqueta que se puede seleccionar como se muestra en la figura 43.

**Figura 43: Lista de Comandos**

	A	C	D	E	F	G	I
		METRIC		Tags			
1	IP21 Tag Name	NAMES	SerialNc	DataQualif	ataSou	DataTyp	NEW Descriptions
627	SwgReadyRef	ES_Swg_Drv_Main_Ref_Status	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Main Reference Status
628	SwgTrippeed	ES_Swg_Drv_Main_Trip_Status	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Main Trip Status
629	SWGMotorSpeedAct	ES_Swg_Mtr_Spd_RPM	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Speed RPM
630	SWGMainStatusWrtd	ES_Swg_Drv_Main_Status_Wrd	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Main Status Word
631	SWGConvCurrAct	ES_Swg_Mtr_Cur_A	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Current amps
632	SwgTrqLimMax_%	ES_Swg_Drv_Max_Torque_Pct	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Max Torque Percent
633	SWGspeedRef_3	ES_Swg_Mtr_Ref3_Spd_RPM	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Reference 3 Speed RPM
634	SwgAuxCtrWrd	ES_Swg_Drv_Aux_Ctl_Wrd	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Auxiliary Control Word
635	SwgAChCommTO_ms	ES_Swg_Drv_CommTimeOut_ms	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Communication Time Out millisecond
636	SwgCurLimGen_A	ES_Swg_Mtr_Gen_Lmt_Cur_A	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Generating Limit Current amps
637	SwgCurLimMot_A	ES_Swg_Mtr_Mot_Lmt_Cur_A	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Motoring Limit Current amps
638	SwgDataStore3	ES_Swg_Drv_DS3_DrVI	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive DataStore 3 DriveValue
639	SwgDriveModeSel	ES_Swg_Drv_Mode_DrVI	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Mode DriveValue
640	SwgEMFRef_V	ES_Swg_Drv_Ref_EMF_V	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Reference EMF Volts
641	SwgFluxRefSel	ES_Swg_Drv_Ref_Flux_Selected	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Reference Flux Selected
642	SwgLoadComp_%	ES_Swg_Drv_LoadComp_Pct	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Load Compensation Percent
643	SwgRampTimeScale_%	ES_Swg_Drv_RampTimeScale_Fact	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Ramp Time Scale Factor
644	SwgSpdRef_RPM	ES_Swg_Drv_Ref1_Spd_RPM	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Reference 1 Speed RPM
645	SWGAuxStatusWrtd	ES_Swg_Drv_Aux_Status_Wrd	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Auxiliary Status Word
646	SwgRef3_A	ES_Swg_Drv_Ref3_Cur_Pct	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Reference 3 Current Percent
647	SWGArmAct	ES_Swg_Mtr_Arm_Volt_V	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Armature Voltage Volts
648	SWGMainVoltAct	ES_Swg_Mtr_Main_Volt_V	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Main Voltage Volts
649	SwgMtrTempCalc_%	ES_Swg_Mtr_TempCalc_Pct	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Temperature Calculation Percent

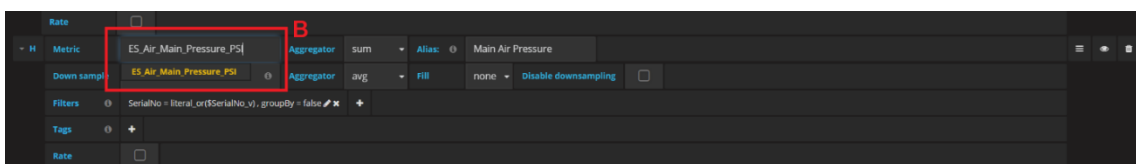
Para poder obtener la gráfica de tendencia de presión de aire del compresor, se buscó la descripción y el nombre del comando que le corresponde, como se ve en “A” (figura 44).

**Figura 44. Comando de presión de aire del compresor**

	A	C	D	E	F	G	I
		METRIC		Tags			
1	IP21 Tag Name	NAMES	SerialNc	DataQualif	ataSou	DataTyp	NEW Descriptions
40	MainAirPres_PSI	ES_Air_Main_Pressure_PSI	ESXXXXX	0=Bad, 1=Good	AC800	Raw	Air Main Pressure PSI

Una vez seleccionado el nombre del comando, este fue copiado en el punto “B” (figura 45).

**Figura 45. Copiado del comando de presión de aire del compresor**





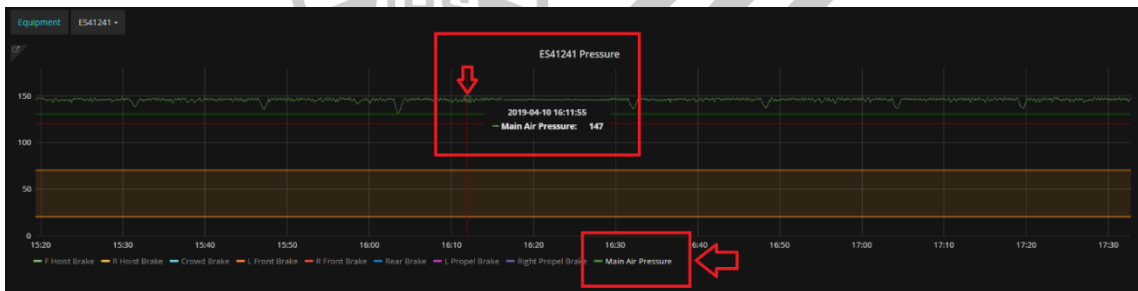
Luego se procedió a colocarle los límites que se desea tener, en este caso de cero a 150 PSI, se le puede cambiar el color, el nombre, las unidades, etc. Según se requiera (figura 46).

**Figura 46.** Asignación de límites de la presión de aire del compresor



Tras la asignación de los límites, la ventana quedó como se muestra en la figura 47, donde se puede monitorear la presión de aire del compresor y seleccionar los rangos de tiempo de monitoreo hasta 5 años atrás. Así mismo en esta se observa el comportamiento del compresor a lo largo del tiempo, es decir que se podrá ver si existen bajas o aumentos de presión de aire que pueden dañar el sistema o incluso parar el equipo, con este gráfico generado en el Dashboard creado se quiso eliminar de las tareas de mantenimiento programado la inspección de presión de aire del compresor, en caso de que hubiera alguna desviación en la gráfica es cuando recién se podrá programar la inspección puntual del sistema.

**Figura 47.** Grafica de tendencia de presión de aire del compresor



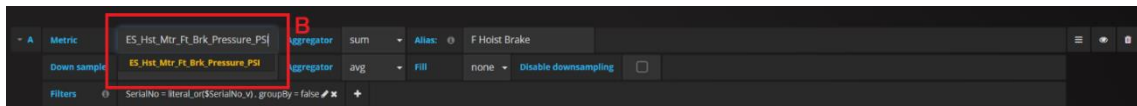
Al igual que en el caso del compresor se puede crear gráficas de tendencia en el mismo Dashboard para verificar la presión de cada sistema y así poder eliminar tareas por verificación de presiones de aire. Por lo que para poder visualizar la presión de aire del sistema Hoist, se buscaron la descripción y el nombre del comando como se ve en el punto “A” (figura 48).

**Figura 48.** Comando de la presión de aire del sistema Hoist

	A	C	D	E	F	G	I
1		METRIC	Tags				
2	IP21 Tag Name	A NAMES	SerialNo	DataQualit	ataSou	DataTyp	NEW Descriptions
27	HstFrBrkPSI	ES_Hst_Mtr_Ft_Brk_Pressure_PSI	E5X000X	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Hoist Motor Front Brake Pressure PSI

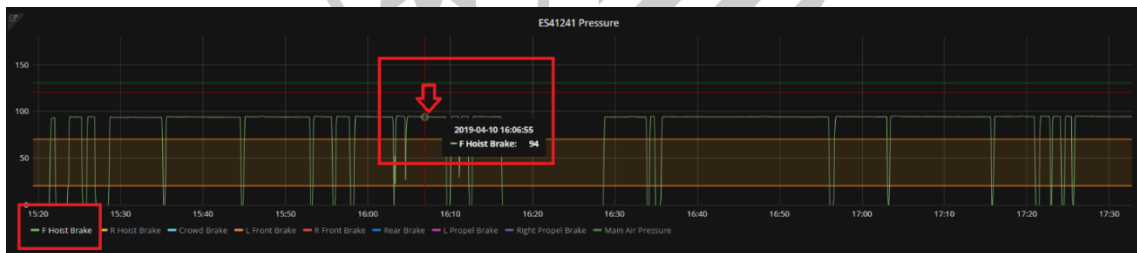
El nombre que se ha seleccionado se copió en el punto “B” (figura 49) y de igual manera, se le asignaron los límites, el nombre, el color, etc.

**Figura 49.** Copiado del comando de presión de aire del sistema Hoist



En la figura 50, se observa la gráfica del comportamiento de la presión de aire del sistema Hoist a lo largo del tiempo, que en este caso no debe exceder los 100 PSI cuando se liberan los frenos, en caso hubiera aumento o disminución de presión al liberar el freno, se tendría que enviar al mecánico a realizar una inspección puntual del sistema, ya que podrían estar mal la válvula limitadora de presión. Con esta gráfica se podrá monitorear la presión del sistema Hoist y se logrará eliminar las tareas de inspección del sistema de aire que se realiza en cada mantenimiento.

**Figura 50.** Grafica de tendencia de presión de aire del sistema de Hoist



Al igual que los casos anteriores, se crearon gráficos de tendencias para poder visualizar la presión de aire del sistema Crowd, la presión de aire del sistema Propel y la presión de aire del sistema Swing, se buscaron la descripción y el nombre del comando como se ve en el punto “A” de las siguientes figuras.

**Figura 51.** Comando de la presión de aire del sistema Crowd

	A	C	D	E	F	G	I
1		METRIC	Tags				
2	IP21 Tag Name	NAMES	SerialNo	DataQuality	DataSource	DataType	NEW Descriptions
26	CwdBrkPSI	ES_Cwd_Mtr_Brk_Pressure_PSI	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Crowd Motor Brake Pressure PSI
650							

**Figura 52.** Comando de la presión de aire del sistema Propel

	A	C	D	E	F	G	I
1		METRIC	Tags				
2	IP21 Tag Name	NAMES	SerialNo	DataQuality	DataSource	DataType	NEW Descriptions
29	PplLHBrkPSI	ES_Ppl_Mtr_Lt_Brk_Pressure_PSI	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Propel Motor Left Brake Pressure PSI
650							

**Figura 53.** Comando de la presión de aire del sistema Swing

	A	C	D	E	F	G	I
1		METRIC	Tags				
2	IP21 Tag Name	NAMES	SerialNo	DataQuality	DataSource	DataType	NEW Descriptions
32	PplRtBrkPSI	ES_Ppl_Mtr_Rt_Brk_Pressure_PSI	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Propel Motor Right Brake Pressure PSI
650							

Una vez encontrados los nombres de cada sistema, estos fueron copiados en el punto “B” y como se realizó anteriormente con los otros sistemas, se les asignaron los límites, el nombre, el color, etc.

**Figura 54.** Copiado del comando de presión de aire del sistema Crowd

Rate							
C	Metric	ES_Cwd_Mtr_Brk_Pressure_PSI	Aggregator	sum	Alias	0	Crowd Brake
	Down sample	ES_Cwd_Mtr_Brk_Pressure_PSI	Aggregator	avg	Fill	none	Disable downsampling
	Filters	SerialNo = literal_or(\$SerialNo.v), groupby = false					

**Figura 55.** Copiado del comando de presión de aire del sistema Propel

Rate							
G	Metric	ES_Ppl_Mtr_Lt_Brk_Pressure_PSI	Aggregator	sum	Alias	0	L Propel Brake
	Down sample	ES_Ppl_Mtr_Lt_Brk_Pressure_PSI	Aggregator	avg	Fill	none	Disable downsampling
	Filters	SerialNo = literal_or(\$SerialNo.v), groupby = false					

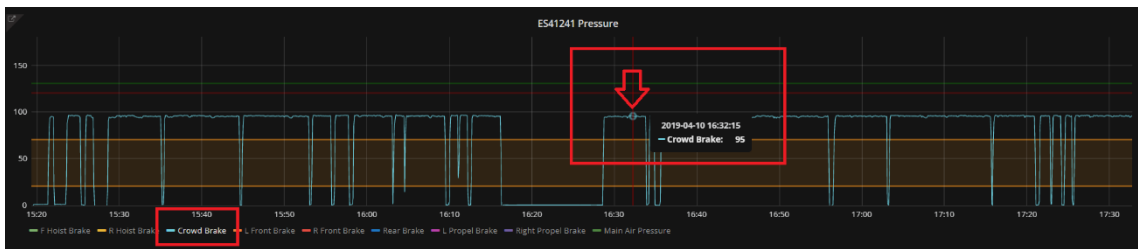
**Figura 56.** Copiado del comando de presión de aire del sistema Swing

Rate							
I	Metric	ES_Ppl_Mtr_Rt_Brk_Pressure_PSI	Aggregator	sum	Alias	0	Right Propel Brake
	Down sample	ES_Ppl_Mtr_Rt_Brk_Pressure_PSI	Aggregator	avg	Fill	none	Disable downsampling
	Filters	SerialNo = literal_or(\$SerialNo.v), groupby = false					

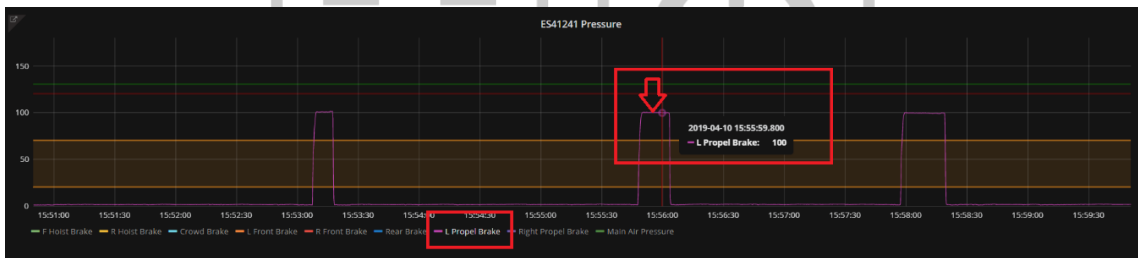
Lo realizado anteriormente dio como resultados la generación de las gráficas de comportamiento de la presión de aire del sistema Crowd (figura 57), de la presión del aire del sistema Propel (figura 58) y de la presión del aire del sistema Swing (figura 59) a lo largo del tiempo, que para todos los sistemas no debe exceder los 100 PSI cuando se liberan los frenos, en caso hubiera aumento o disminución de presión al liberar el freno,

se tendría que enviar al mecánico a realizar una inspección puntual del sistema, ya que podrían estar mal la válvula limitadora de presión. Por lo que con estas gráficas se podrán monitorear la presión del sistema Crowd, Propel y Swing, logrando eliminar las tareas de inspección de estos sistemas que se realizan en cada mantenimiento.

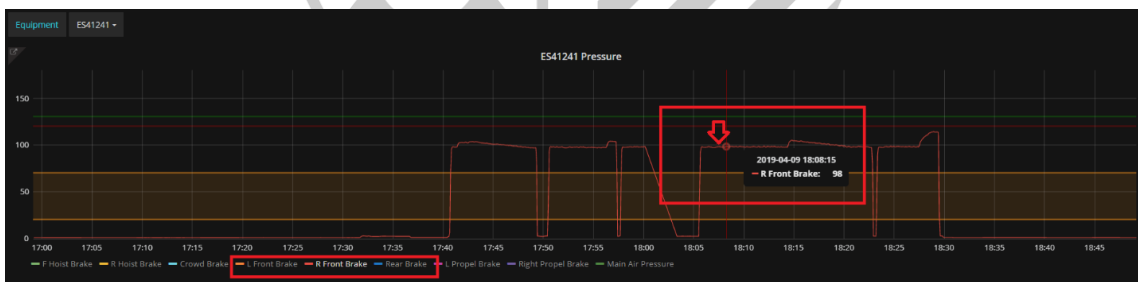
**Figura 57.** Gráfica de tendencia de presión de aire del sistema Crowd



**Figura 58.** Gráfica de tendencia de presión de aire del sistema Propel



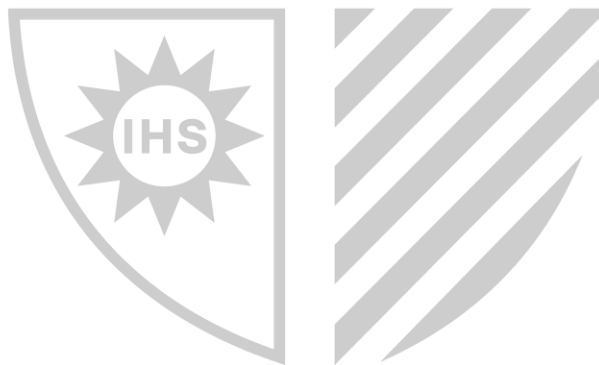
**Figura 59.** Gráfica de tendencia de presión de aire del sistema Swing



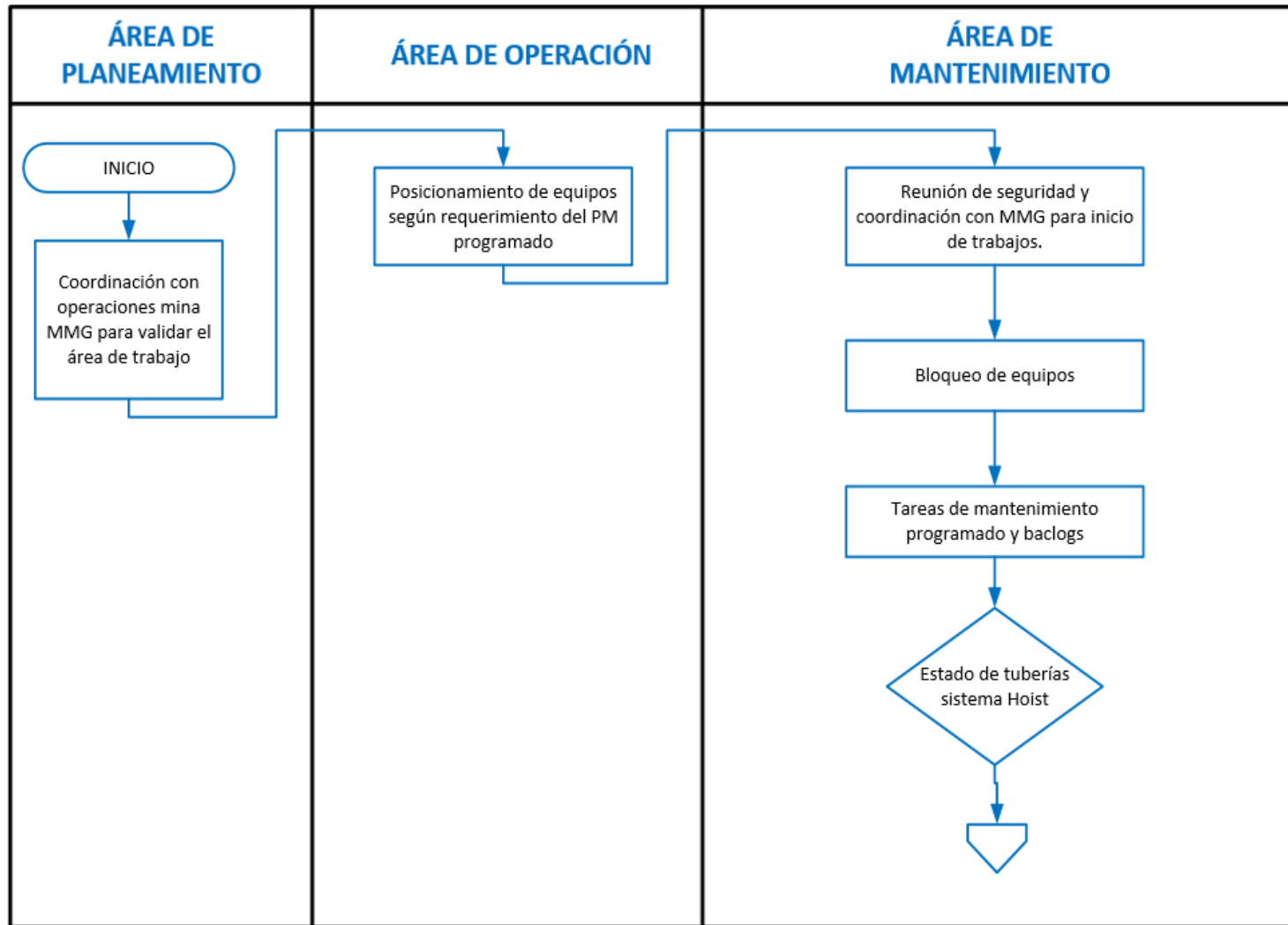
Tras haber generado las gráficas de comportamiento de la presión de aire del compresor y para los sistemas Hoist, Crowd, Propel y Swing, se pudo eliminar tareas de inspección en el mantenimiento programado, las cuales figuran en las cartillas de mantenimiento que se envían y que deben ser inspeccionadas por los mecánicos, como se ve en la figura 60. Por lo que, con esta mejora, las tareas que se encuentran en los recuadros rojos serían eliminadas y con esto se disminuiría el tiempo por cada PM y se tendría a los mecánicos listos para poder realizar otros trabajos en paralelo o en serie.

**Figura 60: Cartilla de mantenimiento**

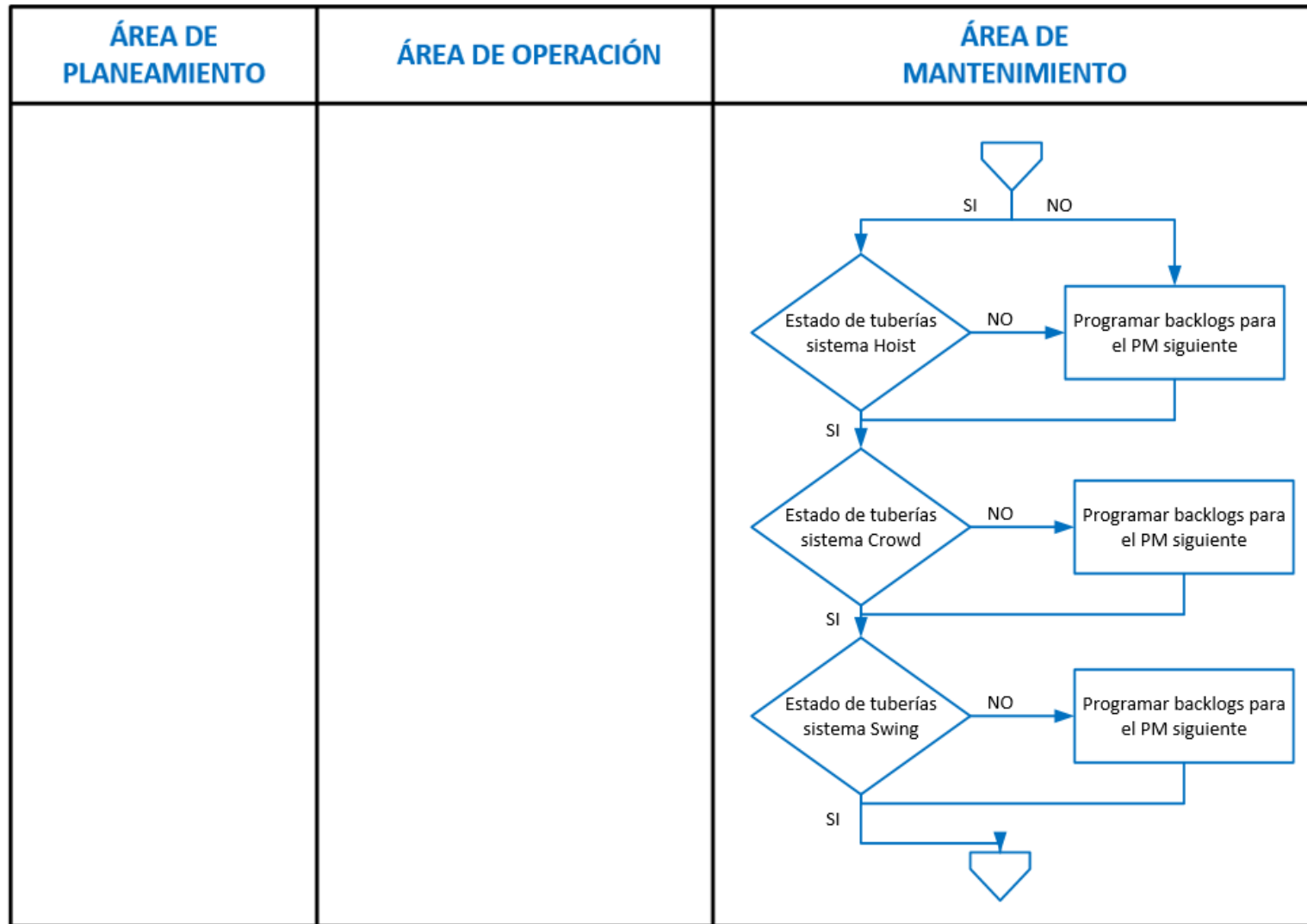
I. SISTEMA DE AIRE							REALIZADO	
A.	Sala de Máquinas	Parám	Dur.	Tec	SI	NO	EJECUTOR FIRMA	COMENTARIOS
1	Verificar el funcionamiento del Compresor Posterior, presión principal	170 PSI	10 min	M2				
2	Verificar el funcionamiento del Compresor Delantero, presión principal	170 PSI	10 min	M2				
3	Verificar la Presión del Acumulador Principal.	170 PSI	5 min	M2				
4	Verificar el funcionamiento adecuado de la válvula de alivio.		20 min	M2				
5	Inspeccionar la condición del elemento flexible del acoplamiento del motor.		10 min	M2				
6	Comprobar la integridad de montaje de tuberías y componentes.		15 min	M2				
7	Verificar el ajuste de los Isulator Pad, Compresor Delantero y Posterior		10 min	M2				
B.	Sala de Lubricación	Parám	Dur.	Tec	SI	NO	EJECUTOR FIRMA	COMENTARIOS
1	Verificar la Presión de funcionamiento hacia los frenos de Hoist (Accionar manualmente las Válvulas y verificar)	100 PSI	10 min	M1				
2	Verificar la Presión de funcionamiento hacia los frenos de Crowd (Accionar manualmente las Válvulas y verificar)	100 PSI	10 min	M1				
3	Verificar la Presión de funcionamiento hacia los frenos de Swing (Accionar manualmente las Válvulas y verificar)	100 PSI	15 min	M1				
4	Tuberías y mangueras debidamente asegurados. Compruebe el ajuste correcto para el regulador.		15 min	M1				
C.	Tablero de Propulsión	Parám	Dur.	Tec	SI	NO	EJECUTOR FIRMA	COMENTARIOS
1	Verificar la Presión de funcionamiento hacia los frenos de Propel (Accionar las Válvulas y verificar)	100 PSI	10 min	M1				
2	Tuberías y mangueras debidamente asegurados. Compruebe el ajuste correcto para el regulador.		15 min	M1				



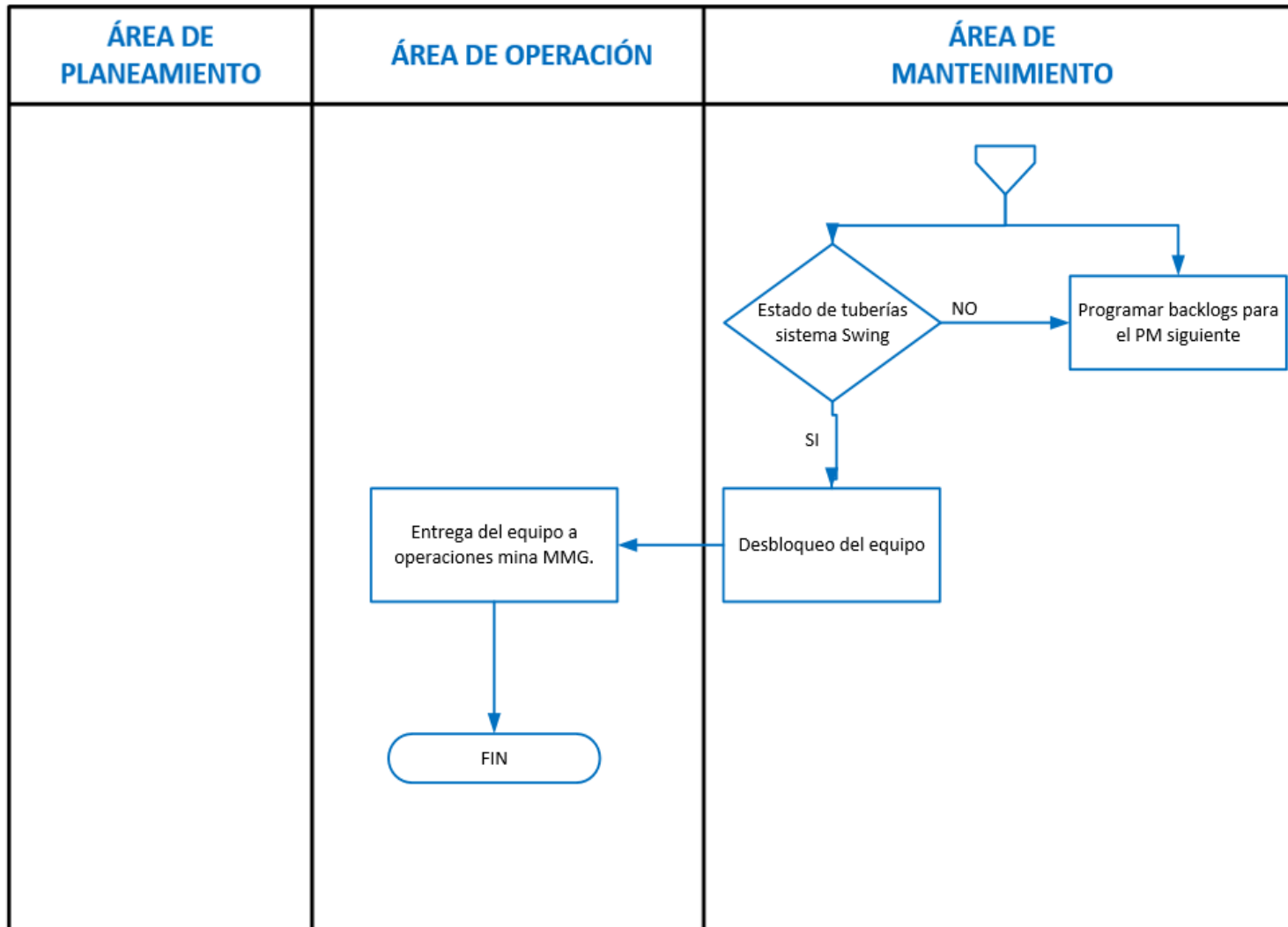
**Figura 61.** Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 1 – parte 1



**Figura 62.** Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 1 – parte 2

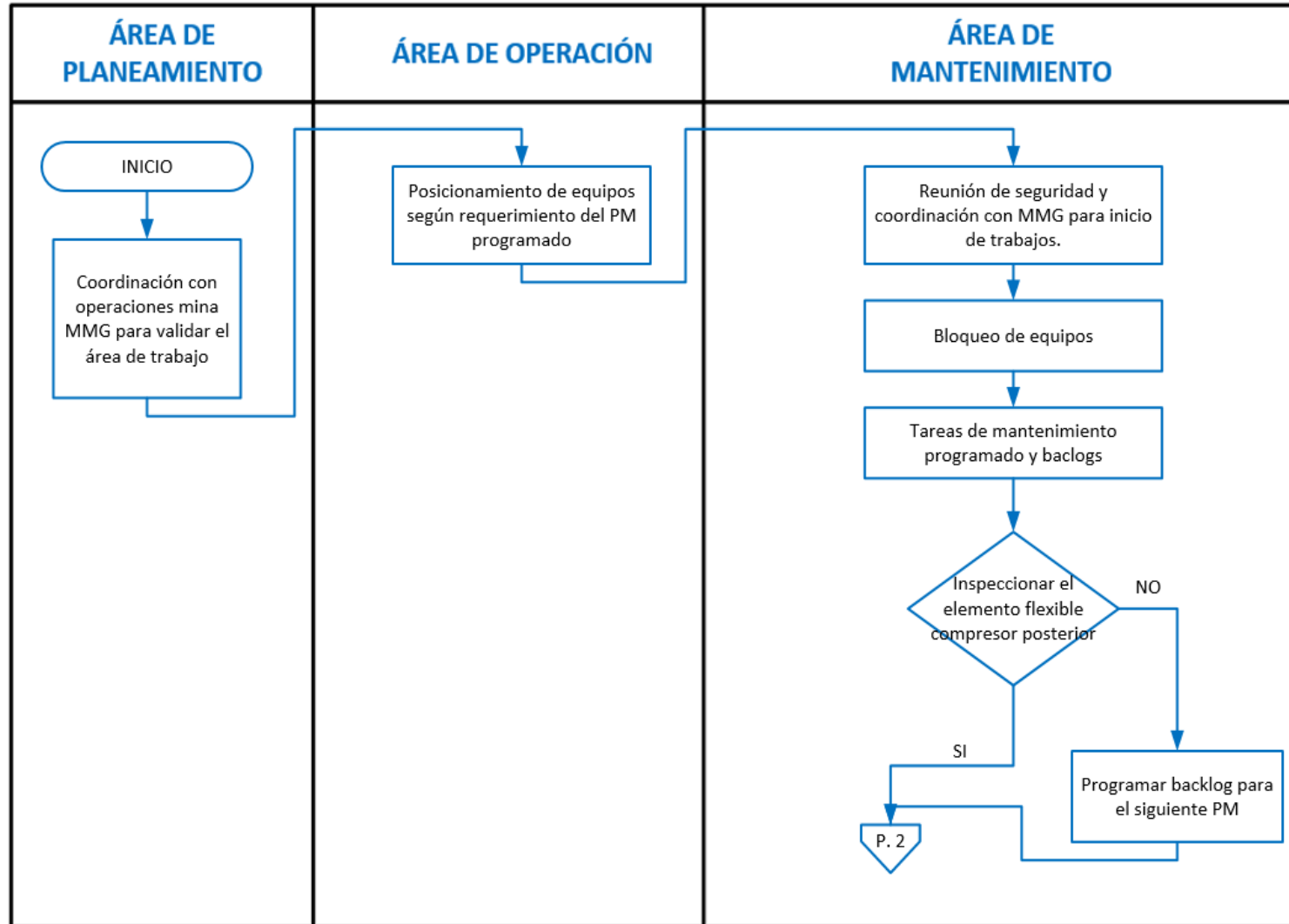


**Figura 63.** Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 1 – parte 3

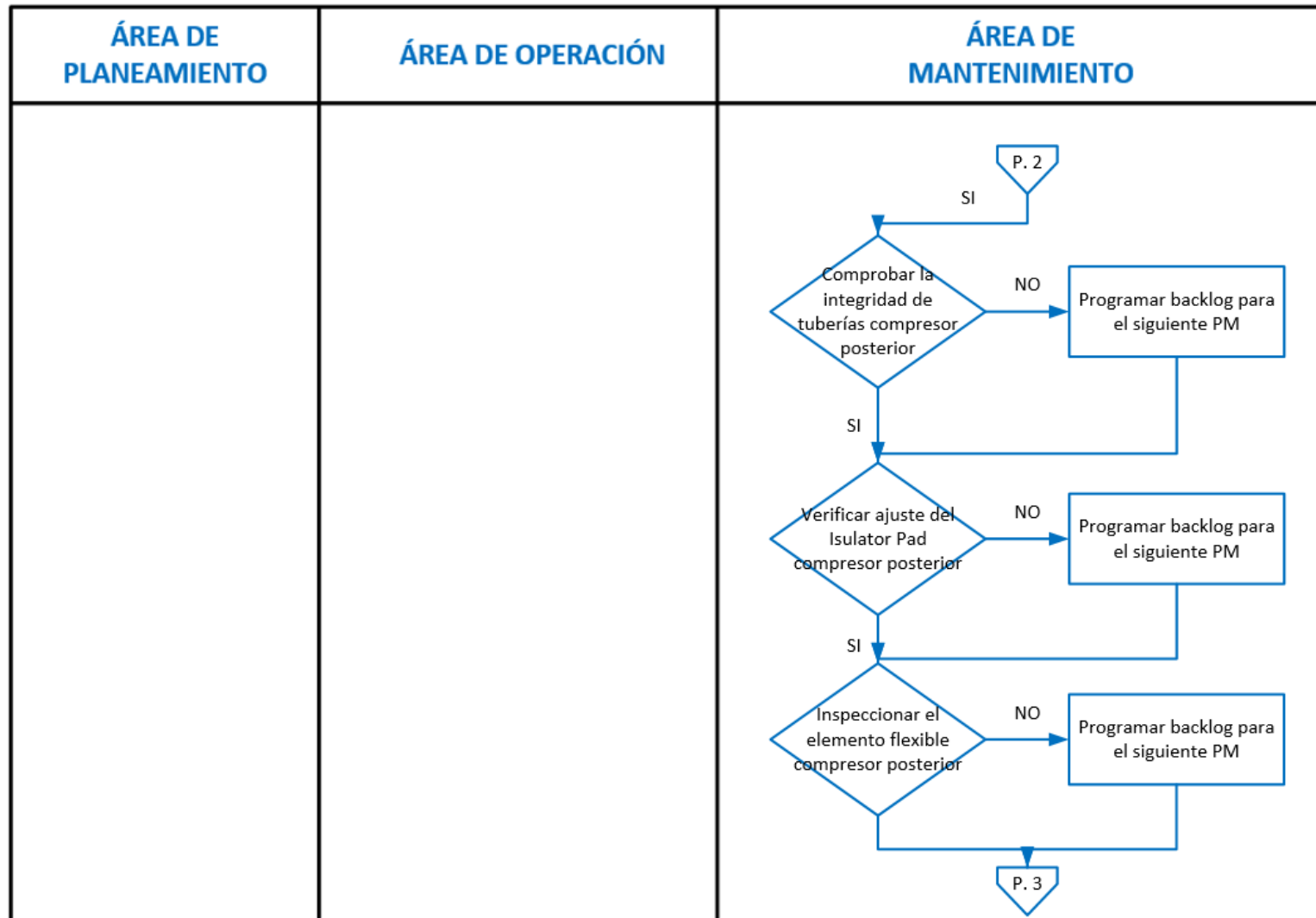




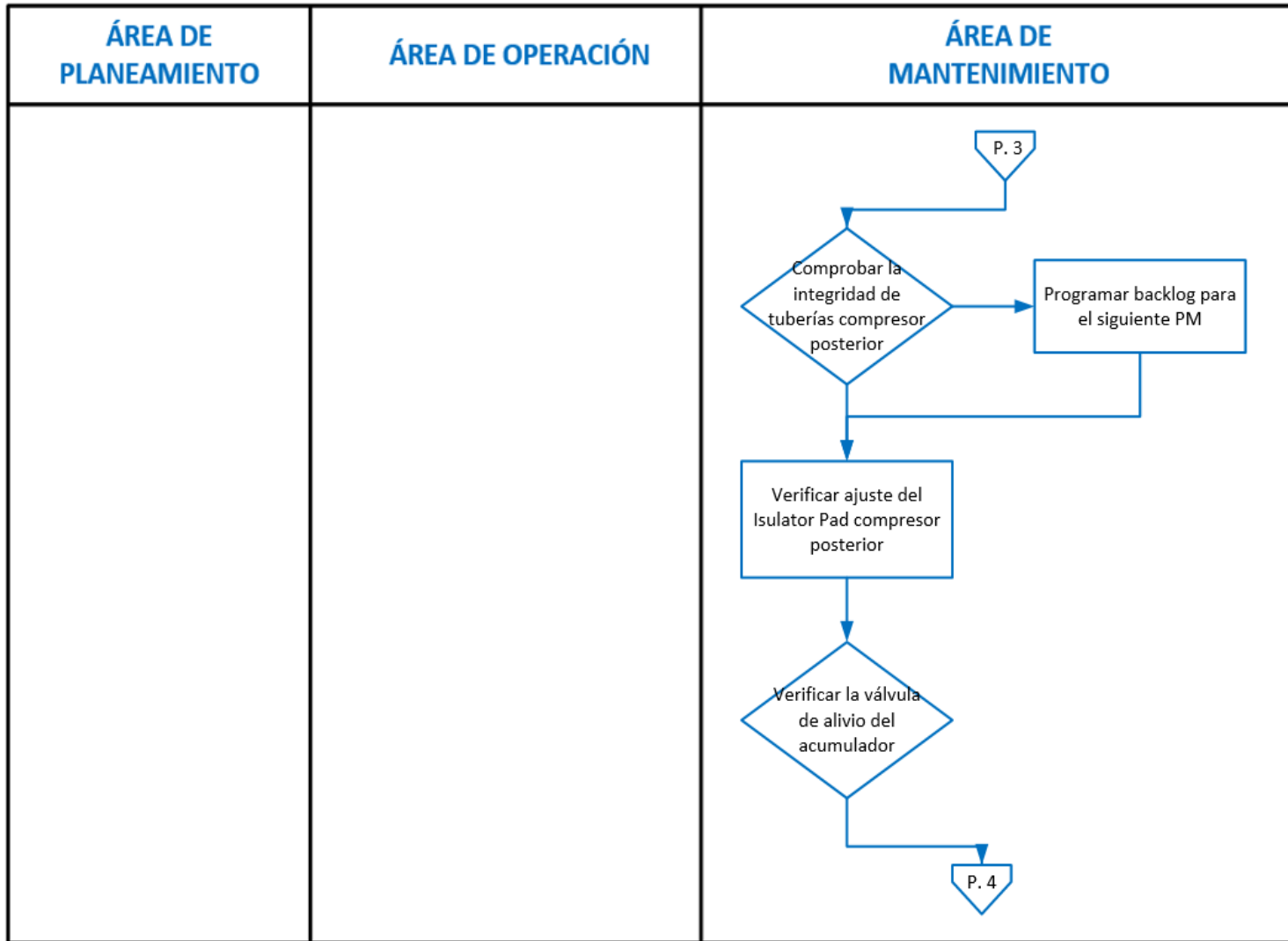
**Figura 64.** Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 2 – parte 1



**Figura 65.** Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 2 – parte 2



**Figura 66.** Flujograma Inspección del sistema de aire – propuesto Mecánico 2 – parte 3





En las figuras anteriores se puede observar cómo quedaría el proceso de inspección del sistema de aire una vez implementado el software PreVail y Grafana, como se esperaba, al mecánico 1, se le eliminó la verificación de presión en las válvulas de regulación en los sistemas Hoist, Crowd, Swing, por otro lado al mecánico 2 se le eliminó la tarea de verificar el funcionamiento del compresor posterior y delantero, verificar el elemento flexible de acoplamiento del motor y verificar la presión del acumulador principal.

Dichas tareas serían realizadas sólo cuando el software indique que necesitan de un mantenimiento o revisión por una baja presión o por algún parámetro fuera de los límites de control programados en el software. De esta manera la tarea de los mecánicos de forma manual reduce su tiempo de duración para el mecánico 1 disminuye a 21 minutos y 15 segundos y para el mecánico 2 disminuye a 56 minutos y 40 segundos, es decir sólo se realizarán inspecciones mecánicas propias de los monitoreos.

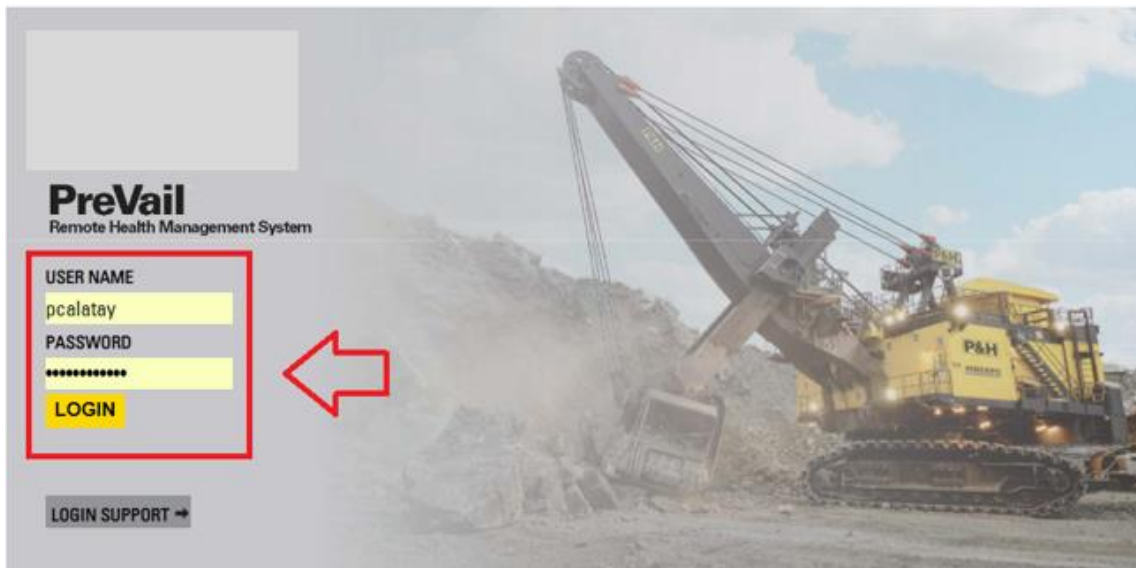
#### **4.3. Propuesta de mejora para la inspección del desgaste de frenos**

En el segundo desarrollo propuesto, con la creación y modificación de las ventanas de monitoreo remoto es que se va a poder verificar el desgaste de frenos de las transmisiones (CROWD, HOIST, PROPEL, SWING) por medio de ventanas que permitirán ver el tiempo en que se activan los sensores, es decir el tiempo en que demora salir el pistón de frenos, al aumentar el tiempo ya seteado indicará que el freno necesita o no quitar laines o cambiarlo. Con esto se quiere comprobar que se pueden disminuir los tiempos de inspección y recursos en cada mantenimiento programado ya que se van a eliminar las tareas propias de inspección de desgaste de frenos. El desarrollo del sistema que se desarrolló constó de la aplicación del sistema PreVail como primera instancia y del sistema Grafana como segunda.

##### **4.3.1. Aplicación del software PreVail**

En esta primera etapa se utilizó el software PreVail, por lo que, para ingresar a este sistema, se usó el usuario y contraseña propios de cada analista como se muestra a continuación.

**Figura 68.** Ingreso al PreVail



Una vez completado el ingreso, según lo que se muestra en la figura, en el punto A, se seleccionó el equipo que se quiere monitorear y el tiempo hacia atrás que se quiere observar, en este caso las Palas 4100 XPC. Una vez seleccionados, en el punto B se muestran las fallas, la fecha y hora en que sucedió la falla. Cabe aclarar que el sistema PreVail permite ver las fallas que se producen en los equipos mas no muestra puntualmente fallas recurrentes o fallas que puedan hacer parar el equipo por lo que se recurre al sistema Grafana proporciona un mayor detalle y tendencia de la falla.

**Figura 69.** Detalle de las fallas de las Palas 4100 XPC

Machine	Last Occurred	Fault Code	Description	Count	Severity
ES41241 (SH003)	4/9/2019 17:42:07.800	04-U70X16B	Hoist Brakes Did Not Release Fault	8	844
ES41249 (SH004)	4/10/2019 06:58:43.587	04-U61X01X	Front Hoist Brake is Worn - Brake Wear Switch	4	589
ES41249 (SH004)	4/10/2019 06:59:17.847	04-A01F10	Rear Swing Lube Pump Fault	3	484
ES41249 (SH004)	4/9/2019 08:24:34.763	04-SwingImpact1	Swing Impact Level #1 Exceeded	1	407
ES41241 (SH003)	4/9/2019 12:45:22.773	04-WaitBrake_Warn_Cwd	Auto Brake - 18 second Warning	1	369
ES41249 (SH004)	4/10/2019 05:42:39.987	04-WaitBrake_Warn_Cwd	Auto Brake - 18 second Warning	1	369
ES41241 (SH003)	4/9/2019 10:21:34.813	04-ABSSSTAGE2	ABSS Stage 2 Limit Alarm	1	332
ES41241 (SH003)	4/9/2019 18:03:21.923	04-AdaptOff_ProfiCommFR	Adaptive Controls Profibus Communication Fault	3	332

### 4.3.2. Aplicación del software Grafana

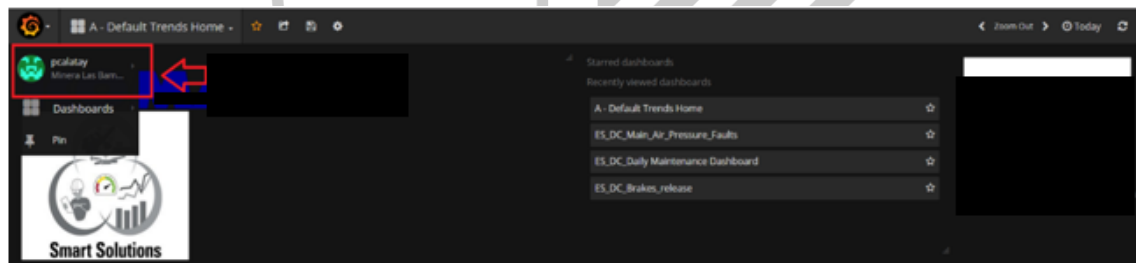
En la segunda etapa, una vez identificadas las fallas de los equipos en el PreVail, se ingresó al software Grafana, como se muestra a continuación, se seleccionó el punto A donde dice “TRENDING” y luego el punto B “Ad-Hoc Trends”.

**Figura 70.** Ingreso al Grafana



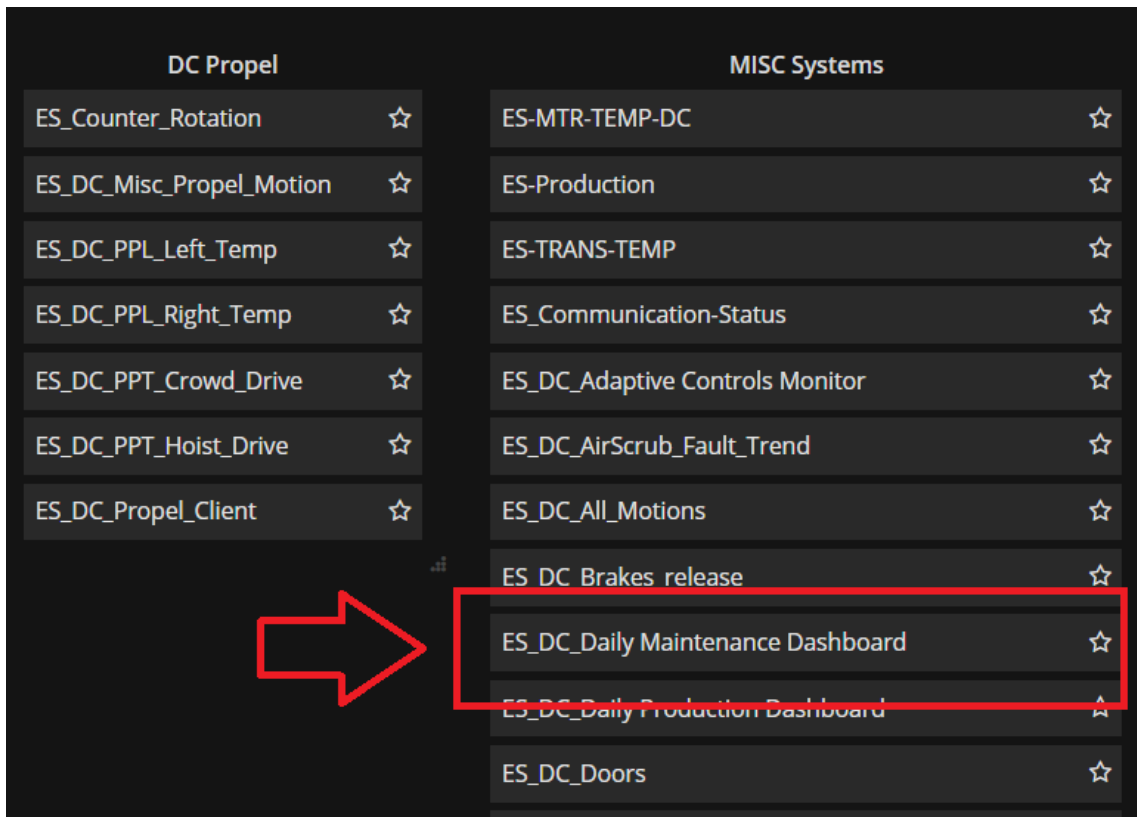
Ya dentro del Grafana se seleccionó el usuario con el que se va a realizar la creación del Dashboard y a generar los gráficos de tendencia.

**Figura 71.** Selección de Usuario



Tras ingresar, se procedió a crear una nueva Dashboard con el nombre de “ES\_DC\_Daily Maintenance Dashboard” donde ES significa Electrical Shovel, DC es por Direct Current y le sigue el nombre en inglés que queremos darle, en este caso sería ventana de mantenimiento diario.

**Figura 72. Creación del Dashboard**



Aquí es donde se van a generar las tablas de verificación de los sistemas que se quieren monitorear los tiempos de liberación de frenos y de los cuales se pretende eliminar de las tareas de mantenimiento programado. Para poder crear estas tablas, se utilizaron los comandos (figura 73) ya establecidos por el fabricante, es decir que según el comando que se elija, este podrá ser visualizado en la pantalla.

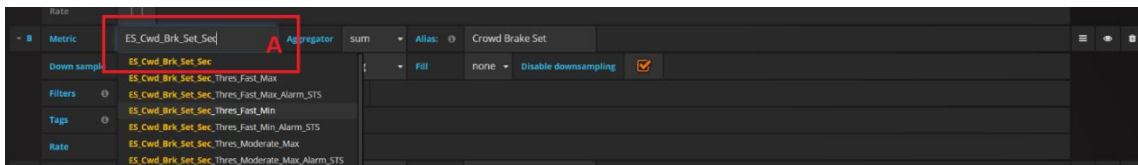
**Figura 73. Lista de Comandos**

	A	C	D	E	F	G	I
1		METRIC	Tags				
2	IP21 Tag Name	NAMES	SerialNc	DataQualit	DataSou	DataTyp	NEW Descriptions
627	SwgReadyRef	ES_Swg_Drv_Main_Ref_Status	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Main Reference Status
628	SwgTripped	ES_Swg_Drv_Main_Trip_Status	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Main Trip Status
629	SWGMotorSpeedAct	ES_Swg_Mtr_Spd_RPM	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Speed RPM
630	SWGMainStatusWr	ES_Swg_Drv_Main_Status_Wd	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Main Status Word
631	SWGConvCurrAct	ES_Swg_Mtr_Cur_A	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Current amps
632	SwgTrqLimMax_%	ES_Swg_Drv_Max_Torque_Pct	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Max Torque Percent
633	SWGSpeedRef_3	ES_Swg_Mtr_Ref3_Spd_RPM	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Reference 3 Speed RPM
634	SwgAuxCtrlWd	ES_Swg_Drv_Aux_Ctl_Wd	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Auxiliary Control Word
635	SwgAChCommTO_ms	ES_Swg_Drv_CommTimeOut_ms	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Communication Time Out millisecond
636	SwgCurLimGen_A	ES_Swg_Mtr_Gen_Lmt_Cur_A	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Generating Limit Current amps
637	SwgCurLimMot_A	ES_Swg_Mtr_Mot_Lmt_Cur_A	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Motoring Limit Current amps
638	SwgDataStore3	ES_Swg_Drv_DS3_DrVl	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive DataStore 3 DriveValue
639	SwgDriveModeSel	ES_Swg_Drv_Mode_DrVl	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Mode DriveValue
640	SwgEMFRef_V	ES_Swg_Drv_Ref_EMF_V	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Reference EMF Volts
641	SwgFluxRefSel	ES_Swg_Drv_Ref_Flux_Selected	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Reference Flux Selected
642	SwgLoadComp_%	ES_Swg_Drv_LoadComp_Pct	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Load Compensation Percent
643	SwgRampTimeScale_%	ES_Swg_Drv_RampTimeScale_Fact	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Ramp Time Scale Factor
644	SwgSpdRef_RPM	ES_Swg_Drv_Ref1_Spd_RPM	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Reference 1 Speed RPM
645	SWGAuxStatusWr	ES_Swg_Drv_Aux_Status_Wd	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Auxiliary Status Word
646	SwgRef3_A	ES_Swg_Drv_Ref3_Cur_Pct	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Drive Reference 3 Current Percent
647	SWGArmAct	ES_Swg_Mtr_Arm_Volt_V	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Armature Voltage Volts
648	SWGMainVoltageAct	ES_Swg_Mtr_Main_Volt_V	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Main Voltage Volts
649	SwgMtrTempCalc_%	ES_Swg_Mtr_TempCalc_Pct	ESXXXXX	0=Bad,1=Good	AC800	Raw	Swing Motor Temperature Calculation Percent



Para poder obtener los tiempos de liberación de frenos del sistema Crowd, se buscó la descripción y el nombre del comando como se ve en el punto “A” (figura 74) y se copió este para settear el tiempo de liberación.

**Figura 74.** Nombre del comando de los tiempos de liberación de frenos del sistema Crowd



Luego se le asignaron los límites de tiempo en ms (milisegundos) los cuales ya están dados por el fabricante, indica el límite mínimo y máximo con los cuales se va a trabajar.

**Figura 75.** Asignación de límites de los tiempos de liberación de frenos del sistema Crowd

Metric	Avg	Min	Max	Current
Crowd Brake Set	78 ms	0 ns	135 ms	82 ms
Hoist Brake Set	64 ms	0 ns	135 ms	68 ms
Propel Brake Set	71 ms	0 ns	121 ms	80 ms

Posteriormente se pasó a crear la ventana donde se muestran los tiempos en los cuales se está liberando el freno.

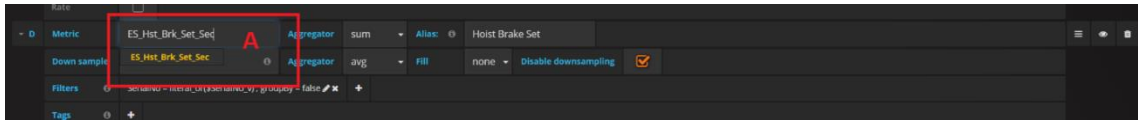
**Figura 76.** Ventada de verificación de los tiempos de liberación de frenos del sistema Crowd

Metric	Avg	Min	Max	Current
Crowd Brake Release	1.31 ms	0 ms	2.84 ms	0.79 ms
Hoist Brake Release	2.43 ms	0.87 ms	3.69 ms	2.48 ms
Propel Brake Release	0.82 ms	0.68 ms	0.95 ms	0.76 ms

De igual manera que el sistema anterior, para poder obtener los tiempos de liberación de frenos del sistema Hoist, se buscó la descripción y el nombre del comando como se ve en el punto “A” (figura 77) y se estos se copiaron para settear el tiempo de liberación.

**Figura 77.** Nombre del comando de los tiempos de liberación de frenos del sistema

Hoist



Luego se le asignaron los límites de tiempo en ms (milisegundos) los cuales ya están dados por el fabricante, indica el límite mínimo y máximo con los cuales se va a trabajar.

**Figura 78.** Asignación de límites de los tiempos de liberación de frenos del sistema

Hoist

Metric	Avg	Min	Max	Current
Crowd Brake Set	78 ms	0 ns	135 ms	82 ms
Hoist Brake Set	64 ms	0 ns	135 ms	68 ms
Propel Brake Set	71 ms	0 ns	121 ms	80 ms
Swing Brake Set	100 ms	0 ns	258 ms	82 ms

Posteriormente se creó la ventana donde se muestran los tiempos en los cuales se está liberando el freno, como se observa a continuación.

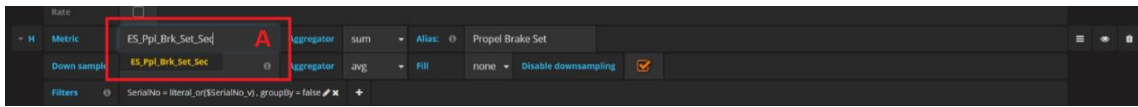
**Figura 79.** Ventada de verificación de los tiempos de liberación de frenos del sistema

Hoist

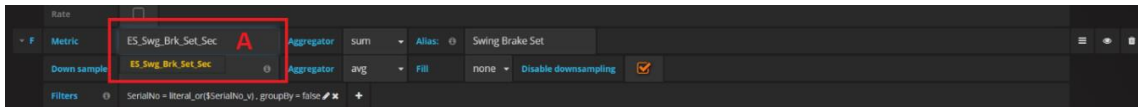
Metric	Avg	Min	Max	Current
Crowd Brake Release	1.31 ms	0 ms	2.84 ms	0.79 ms
Hoist Brake Release	2.43 ms	0.87 ms	3.69 ms	2.48 ms
Propel Brake Release	0.82 ms	0.68 ms	0.95 ms	0.76 ms
Swing Brake Release	3.51 ms	3.05 ms	4.00 ms	4.00 ms

Como se realizó anteriormente, se crearon tablas de verificación para monitorear los tiempos de liberación de frenos del sistema Propel y del sistema Swing, se buscaron las descripciones nombres de los comandos para ambos sistemas como se ve en el punto "A" de la figura 80 para el sistema Propel y de la figura 81 para el sistema Swing, para así copiar ambos y settear el tiempo de liberación.

**Figura 80.** Nombre del comando de los tiempos de liberación de frenos del sistema Propel



**Figura 81.** Nombre del comando de los tiempos de liberación de frenos del sistema Swing



Luego se le asignaron los límites de tiempo en ms (milisegundos) los cuales ya están dados por el fabricante, indica el límite mínimo y máximo con los cuales se va a trabajar, como se observa en la figura 82 para el sistema Propel y en la figura 83 para el sistema Swing.

**Figura 82.** Asignación de límites de los tiempos de liberación de frenos del sistema Propel

Metric	Avg	Min	Max	Current
Crowd Brake Set	78 ms	0 ns	135 ms	82 ms
Hoist Brake Set	64 ms	0 ns	135 ms	68 ms
Propel Brake Set	71 ms	0 ns	121 ms	80 ms
Swing Brake Set	100 ms	0 ns	258 ms	82 ms

**Figura 83.** Asignación de límites de los tiempos de liberación de frenos del sistema Swing

Metric	Avg	Min	Max	Current
Crowd Brake Set	78 ms	0 ns	135 ms	82 ms
Hoist Brake Set	64 ms	0 ns	135 ms	68 ms
Propel Brake Set	71 ms	0 ns	121 ms	80 ms
Swing Brake Set	100 ms	0 ns	258 ms	82 ms

Luego se procedió a crear las ventanas donde se muestran los tiempos en los cuales se está liberando el freno, como se observa en la figura 84 para el sistema Propel y en la figura 85 para el sistema Swing.

**Figura 84.** Ventana de verificación de los tiempos de liberación de frenos del sistema Propel

Release Time Brake				
Metric ▲	Avg	Min	Max	Current
Crowd Brake Release	1.31 ms	0 ms	2.84 ms	0.79 ms
Hoist Brake Release	2.43 ms	0.87 ms	3.69 ms	2.48 ms
Propel Brake Release	0.82 ms	0.68 ms	0.95 ms	0.76 ms
Swing Brake Release	3.51 ms	3.05 ms	4.00 ms	4.00 ms

**Figura 85.** Ventana de verificación de los tiempos de liberación de frenos del sistema Swing

Release Time Brake				
Metric ▲	Avg	Min	Max	Current
Crowd Brake Release	1.31 ms	0 ms	2.84 ms	0.79 ms
Hoist Brake Release	2.43 ms	0.87 ms	3.69 ms	2.48 ms
Propel Brake Release	0.82 ms	0.68 ms	0.95 ms	0.76 ms
Swing Brake Release	3.51 ms	3.05 ms	4.00 ms	4.00 ms

Al finalizar de crear una a una las ventanas de tiempos de liberación se tendrá una ventana como la que se muestra en la figura 86, donde se visualiza de color verde si está dentro del tiempo normal, color naranja si está dentro del tiempo precautorio y rojo si se encuentra en el tiempo crítico y ya debería intervenir el componente.

**Figura 86.** Ventana de visualización de los tiempos de liberación de los sistemas creados

Set Time Brake					Release Time Brake				
Metric ▲	Avg	Min	Max	Current	Metric ▲	Avg	Min	Max	Current
Crowd Brake Set	78 ms	0 ns	135 ms	82 ms	Crowd Brake Release	1.31 ms	0 ms	2.84 ms	0.79 ms
Hoist Brake Set	64 ms	0 ns	135 ms	68 ms	Hoist Brake Release	2.43 ms	0.87 ms	3.69 ms	2.48 ms
Propel Brake Set	71 ms	0 ns	121 ms	80 ms	Propel Brake Release	0.82 ms	0.68 ms	0.95 ms	0.76 ms
Swing Brake Set	100 ms	0 ns	258 ms	82 ms	Swing Brake Release	3.51 ms	3.05 ms	4.00 ms	4.00 ms

En cada mantenimiento, se envía un formato de inspección de desgaste de frenos como se ve en la figura 87, como se observa en la parte “A” es donde se coloca las medidas tomadas por los mecánicos para saber cómo va el desgaste de laines y si ya se necesitan extraer las mismas, teniendo en cuenta que cada freno posee 02 laines las cuales

se van sacando según sea el desgaste, en el punto “B” se anotan cuantas laines aún posee el freno; de tal manera que lo que se quiere lograr con la creación de las DASHBOARD de tiempos de liberación es quitar las tareas enmarcadas “A” y sólo tener el conteo de laines “B” para saber cuándo cambiar los frenos.

**Figura 87.** Formato de inspección de desgaste de frenos

**SH003//SH004 - FORMATO MEDICIÓN DE CARRERA DEL PISTÓN DEL FRENO**

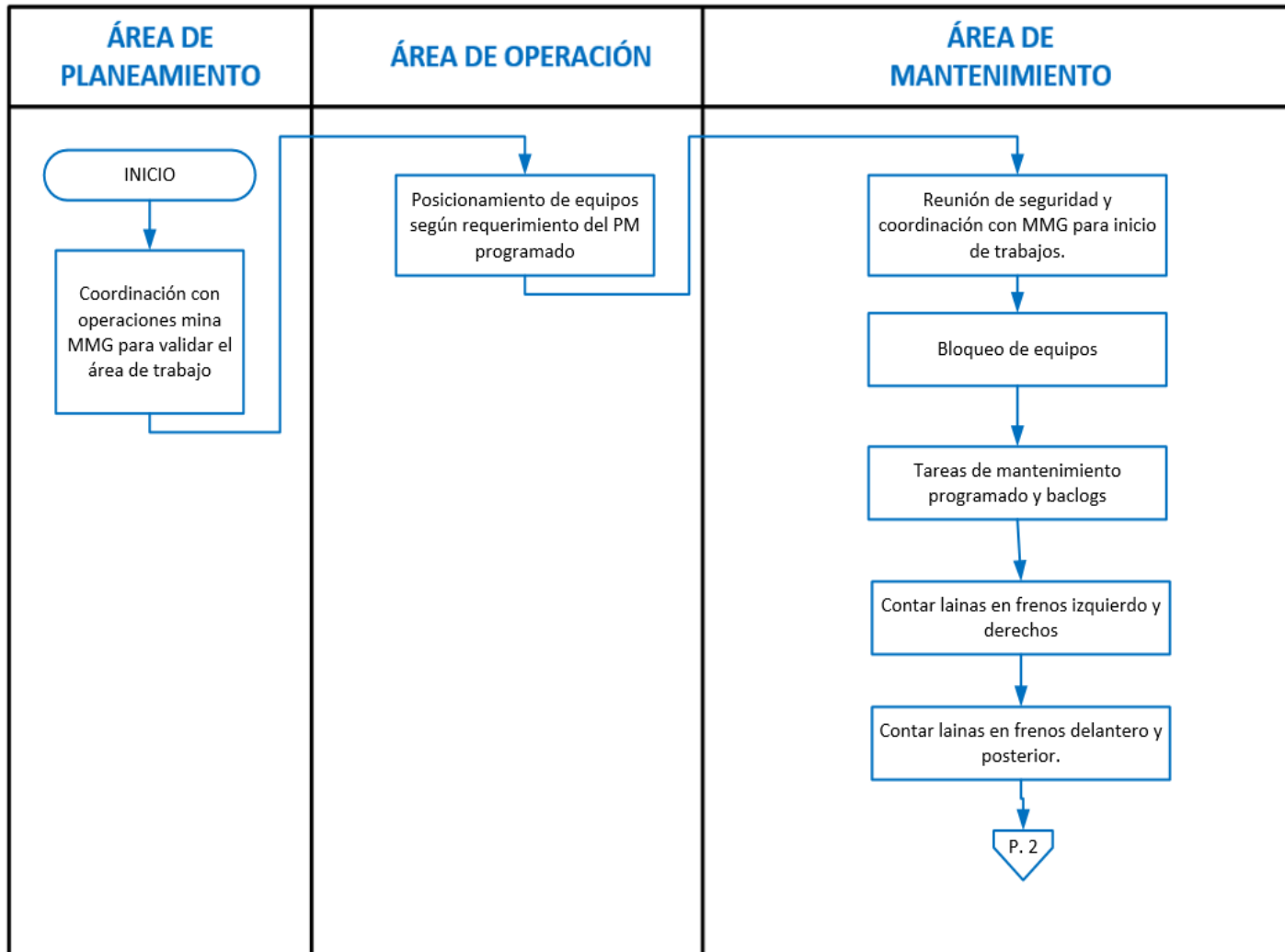
Horómetro Equipo :		Fecha Inspección:															
Item	Duración (hrs)	N° Técnico	HH	Sistema Levante	A		B		C		D		Medición Actual: (C-D): Carrera Real	N° de Laines Instaladas a Fecha de Inspección	REALIZADO (✓)		
					Carrera Pistón Nuevo	Carrera máxima Pistón sin laines	UND	Freno aplicado: Registrar Medida entre el borde externo del reborde del pistón y cara exterior del cilindro	Freno liberado: Registrar medida entre el borde externo del reborde del pistón y la cara exterior del cilindro	SI	NO	Porque no se hizo ?					
1	0.08	2	0.16	Freno de Motor Delantero	0.27	0.4	pulg										
					6.9	10.2	mm										
2	0.08	2	0.16	Freno de Motor Posterior	0.27	0.4	pulg										
					6.9	10.2	mm										
1	0.1	2	0.2	Freno de Motor Delantero Izquierdo	0.1	0.2	pulg										
					2.5	5.1	mm										
2	0.1	2	0.2	Freno de Motor Delantero Derecho	0.1	0.2	pulg										
					2.5	5.1	mm										
3	0.1	2	0.2	Freno de Motor Posterior	0.1	0.2	pulg										
					2.5	5.1	mm										
1	0.1	2	0.2	Freno de Motor	0.22	0.31	pulg										
					5.6	7.8	mm										
1	0.1	2	0.2	Freno de Motor Izquierdo	0.22	0.31	pulg										
					5.6	7.8	mm										
2	0.1	2	0.2	Freno de Motor Derecho	0.22	0.31	pulg										
					5.6	7.8	mm										
0.76		Total	1.5														

HH: Horas hombre

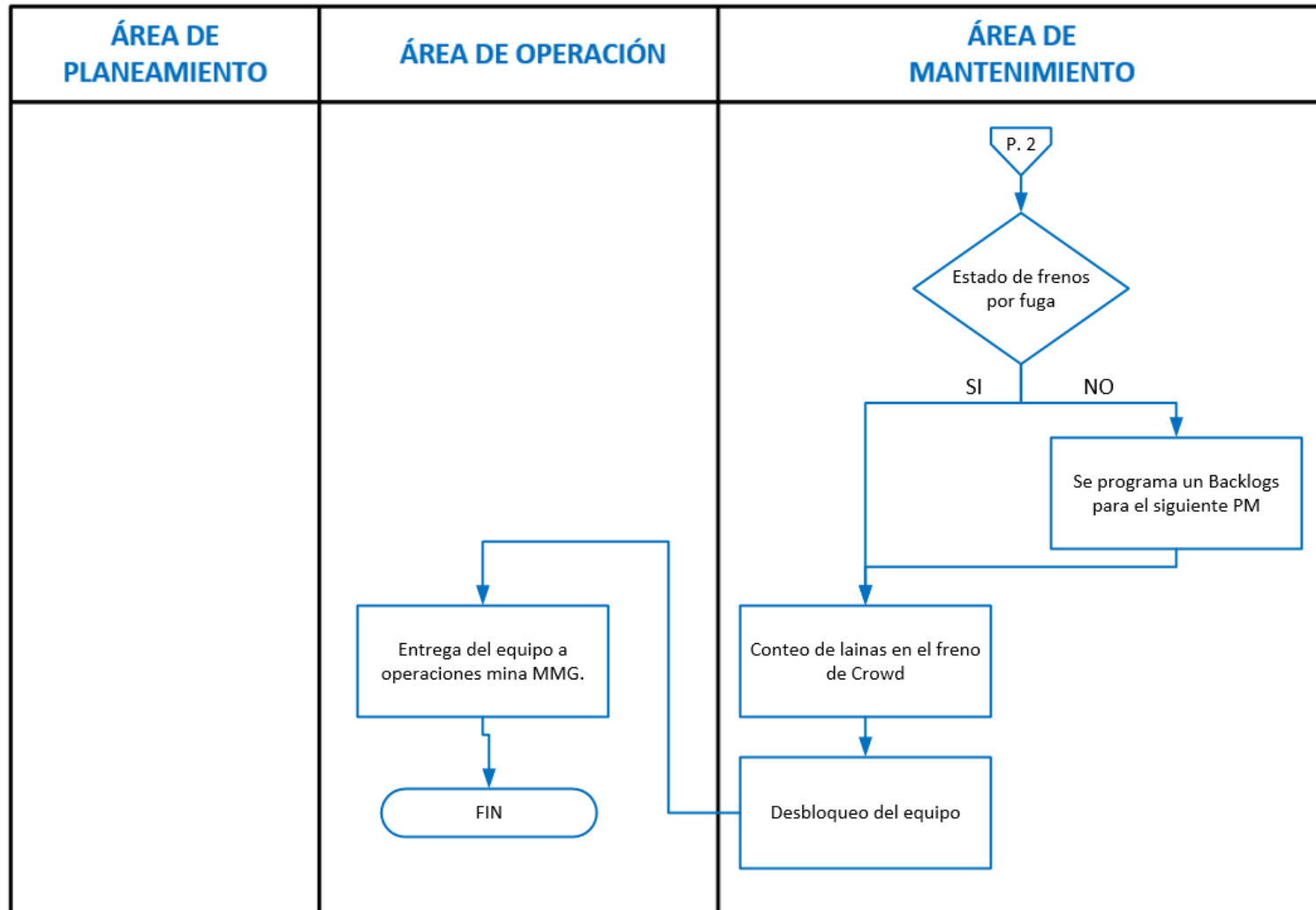
Nombre de Técnico Inspector

Nombre de Supervisor PM

**Figura 88.** Flujograma Inspección de desgaste de frenos – propuesto – parte 1



**Figura 89.** Flujograma Inspección de desgaste de frenos – propuesto – parte 2



En las figuras anteriores se puede observar cómo quedaría el proceso de inspección del desgaste de frenos una vez implementada la propuesta de mejora de Dashboard en los softwares PreVail y Grafana, dando resultados que, como se esperaba, se logró eliminar la tarea de accionar los frenos para medir carreras del pistón y verificar los frenos delanteros, superiores, derecho y posterior.

Dichas tareas serían realizadas sólo cuando el software indique que necesitan de un mantenimiento o revisión por una baja presión o por algún parámetro fuera de los límites de control programados en el software. Realizándose únicamente el control del conteo de láminas para saber cuándo cambiar el freno, logrando un tiempo de trabajo de 22 minutos sólo por esta actividad.

#### 4.4. Análisis de las propuestas de mejora

En la empresa se evalúa a los trabajadores para recibir la remuneración acordada, según la disponibilidad de la máquina.

Existen 3 diferentes tipos de disponibilidad: la contractual, la mecánica y la física. la disponibilidad contractual es su base. Por lo que se puede mencionar que la disponibilidad contractual hace referencia al tiempo disponible que tiene un equipo después de las paradas producidas por mantenimiento contemplado por el contrato, es decir, no se considera tiempos de mantenimiento de otras contratistas como soldadura, neumáticos, sistema contra incendios, aire acondicionado u otros, o tiempos de demoras por clima, voladuras o eventos operacionales. Evalúa esta disponibilidad bajo un indicador de 90.5%, por lo que al ser menor a este se impone una penalidad al trabajador.

En la siguiente figura se puede observar la disponibilidad obtenida durante todo el año 2018.

**Figura 90.** Disponibilidad contractual en el año 2018

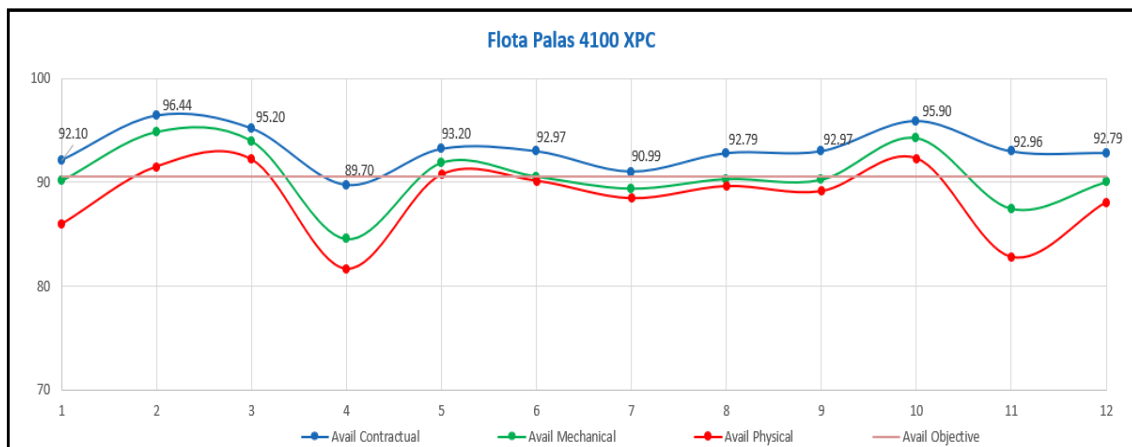


DISPONIBILIDAD CONTRACTUAL, MECÁNICA Y FÍSICA - LAS BAMBAS 2018																	
FLOTA	INDICADOR	Jan-18	Feb-18	Mar-18	Apr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Aug-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Dec-18	SEMEST I	SEMEST II	DISP 2018	OBJECT
LOADER 2350-II	Avail Contractual	90.95	93.90	87.62	95.90	87.04	84.32	84.10	85.01	90.16	76.34	79.36	95.49	89.89	85.08	87.46	84.00
	Avail Mechanical	91.45	94.40	88.12	96.40	87.54	84.82	84.60	85.51	90.66	76.84	79.86	95.99	90.39	85.58	87.96	81.74
	Avail Physical	80.74	88.41	80.23	94.03	81.53	77.51	79.17	76.76	85.98	68.06	72.03	83.20	83.64	77.52	80.55	80.80
	Utilization	59.1	55.93	59.01	68.49	71.30	75.47	71.54	69.88	85.98	73.48	72.64	82.11	64.95	75.90		
SHOVEL 4100 XPC	Avail Contractual	92.10	96.44	95.20	89.70	93.20	92.97	90.99	92.79	92.97	95.90	92.96	92.79	93.23	93.07	93.15	90.50
	Avail Mechanical	90.11	94.81	93.94	84.54	91.85	90.54	89.38	90.30	90.22	94.23	87.45	90.00	90.93	90.28	90.60	89.32
	Avail Physical	85.98	91.51	92.21	81.71	90.74	90.15	88.47	89.64	89.15	92.31	82.85	88.10	88.70	88.45	88.57	87.90
	Utilization	70.00	69.55	75.35	77.71	76.63	78.99	75.44	76.88	78.13	79.95	78.64	85.24	74.75	79.05		
DRILL 250 XPC	Avail Contractual	92.05	84.42	87.89	69.61	90.44	80.02	80.11	85.31	88.00	87.17	92.30	85.20	84.17	86.31	85.25	84.00
	Avail Mechanical	90.80	84.00	86.49	60.55	88.47	76.83	79.58	83.70	77.50	85.72	91.64	84.83	81.28	83.82	82.56	79.34
	Avail Physical	87.78	70.91	81.99	52.47	86.24	72.89	76.27	78.72	72.92	80.85	82.42	79.32	75.59	78.42	77.02	77.90
	Utilization	56.10	56.81	75.06	53.81	78.73	71.53	71.03	73.55	71.30	71.28	65.91	71.34	65.51	70.76		
DRILL 320 XPC	Avail Contractual	95.19	90.88	91.01	95.29	90.84	94.58	91.88	93.95	91.07	94.35	93.22	94.59	92.98	93.19	93.08	91.00
	Avail Mechanical	94.46	90.48	89.64	94.76	88.53	93.67	90.41	92.76	90.06	93.03	91.83	92.63	91.92	91.80	91.86	90.25
	Avail Physical	92.13	84.97	85.75	91.89	86.31	92.45	88.22	90.79	88.71	89.68	84.62	87.80	88.95	88.32	88.63	89.20
	Utilization	61.47	65.82	64.96	72.86	70.32	73.42	69.86	70.19	70.67	73.72	71.24	76.29	68.13	72.01		
Electric Shovel	Avail Objective	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5				
Electric Drill	Avail Objective	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0				
Diesel Machine	Avail Objective	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0				
		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31				

Fuente: (KMC, 2019)

En la siguiente figura se muestran las disponibilidades durante cada mes del año 2018, representada con color azul a la disponibilidad contractual, con verde a la disponibilidad mecánica y finalmente de color rojo representada la disponibilidad física.

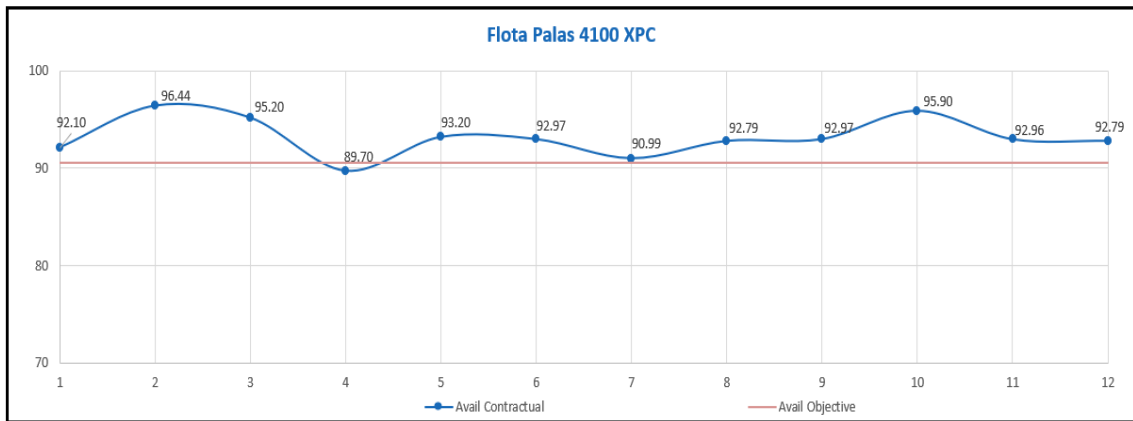
Figura 91. Disponibilidades contractual, mecánica y física periodo 2018



Fuente: (KMC, 2019)

En la siguiente figura se observa la disponibilidad contractual durante el periodo 2018, se puede denotar en el mes de abril 2018 se registró la disponibilidad más baja con 89.70%, dato inferior al indicador de 90.5%, por otro lado, en el mes de octubre 2018 se registró la disponibilidad contractual más alta durante todo el año con 95.90%

Figura 92. Disponibilidad contractual periodo 2018

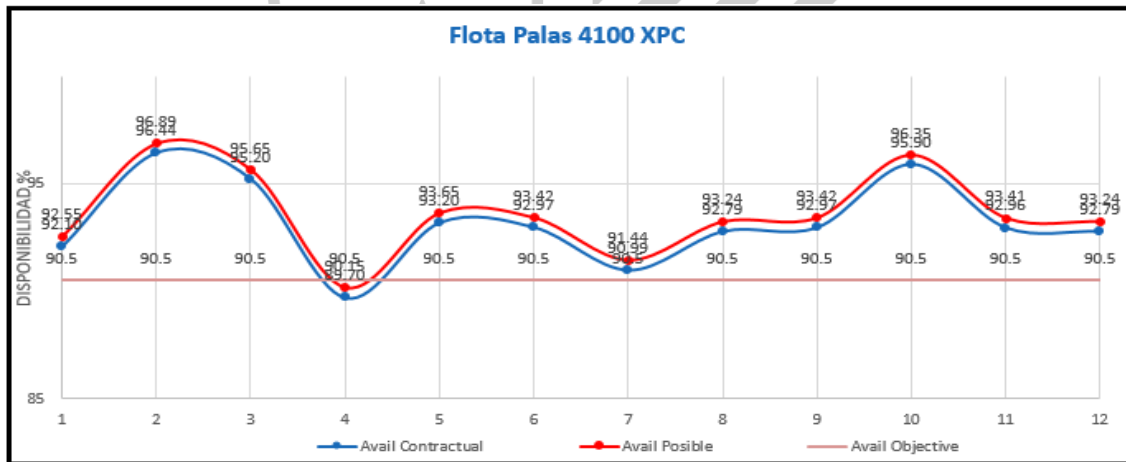


Fuente: (KMC, 2019)

Finalmente, en la siguiente figura se observa cómo hubiera incrementado la disponibilidad contractual durante el periodo 2018, si se hubiera utilizado el software PreVail de monitoreo.

La línea azul muestra la disponibilidad contractual real del año 2018, mientras que la línea roja nos muestra la disponibilidad contractual posible del mismo periodo.

**Figura 93.** Disponibilidad contractual actual y pronosticada



Fuente: (KMC, 2019)

Para hallar el porcentaje de disponibilidad que se pudo incrementar, se analizó el ahorro de horas de mantenimiento de las mejoras implementadas en los dos procesos.

En el caso de la mejora para la inspección de sistema de aire se obtuvo un ahorro de 8 horas anuales en promedio. Mientras que en la mejora para el proceso de inspección de desgaste de frenos se obtuvo un ahorro de 28 horas anuales en promedio.

Al reducir horas de mantenimiento, también se tiene un ahorro de horas-hombre que pueden ser usados en dar mantenimiento o monitoreo a otros equipos, así mismo se generaría un ahorro en equipos auxiliares (camión de grasa, cama baja, grúas, telehandler, montacargas, etc.) que saldrían con anticipación de los mantenimientos y podrían estar en otros equipos.

Se utilizó la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de incremento de la disponibilidad contractual

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas promedio al año en ahorro}}{\text{Días del año} * \text{Horas operativas al día del equipo}} * 100\%$$

Lo que al reemplazar dicha fórmula con los datos consignados dio.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{36 \text{ horas}}{365 \text{ días} * 22 \text{ horas}} * 100\%$$

Tras aplicar la fórmula, se obtuvo un incremento de 0.45% anual, que al traducirlo en horas de ahorro por parada del equipo serían 36 horas en promedio, representado en costos representaría un ahorro de \$ 7, 920, 000 al año, ya que actualmente las palas 4100 XPC tienen un coste alrededor de \$ 220,000 por hora.

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este último capítulo se da un pequeño resumen de lo realizado en los anteriores capítulos y se analizan los resultados obtenidos en base a la disminución de procesos demostrado en diagramas de análisis de procesos (DAP) y en base a la comparación del tiempo que se demoraba realizar el mantenimiento.

### 5.1.Descripción de los resultados

La presente investigación se inició con la descripción de marco teórico, definiendo conceptos básicos relacionados al mantenimiento, su importancia, características y evolución en el tiempo. Dichos conceptos fueron de gran utilidad para el desarrollo adecuado de la presente investigación y sirven como respaldo teórico de la misma.

Como primer paso de la investigación se procedió a conocer el diagnóstico de la situación actual de la empresa, primero se presentaron datos del sector y actividad a la que se dedica, su organización, organigrama y los principales procedimientos y operaciones.

En la parte operativa se analizaron los dos procesos en los que se basó la investigación: el proceso de inspección del sistema de aire y el proceso de inspección de sistema de frenos, ya que son los más habituales y por ende los que podrían ocasionar paradas inesperadas de mantenimiento con la consecuente pérdida económica para la empresa. Se buscó desarrollar los procesos de forma gráfica con la ayuda de diagramas de flujos para facilitar su comprensión.

La estrategia de mantenimiento como propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento de palas 4100 XPC, es a través de la generación de Dashboard en los

softwares Prevail y Grafana en la minera, con la finalidad de disminuir los costos incurridos en los procesos de mantenimiento e incrementar las utilidades de la empresa. Además, ayudará a la optimización del tiempo empleado en los procesos de mantenimiento.

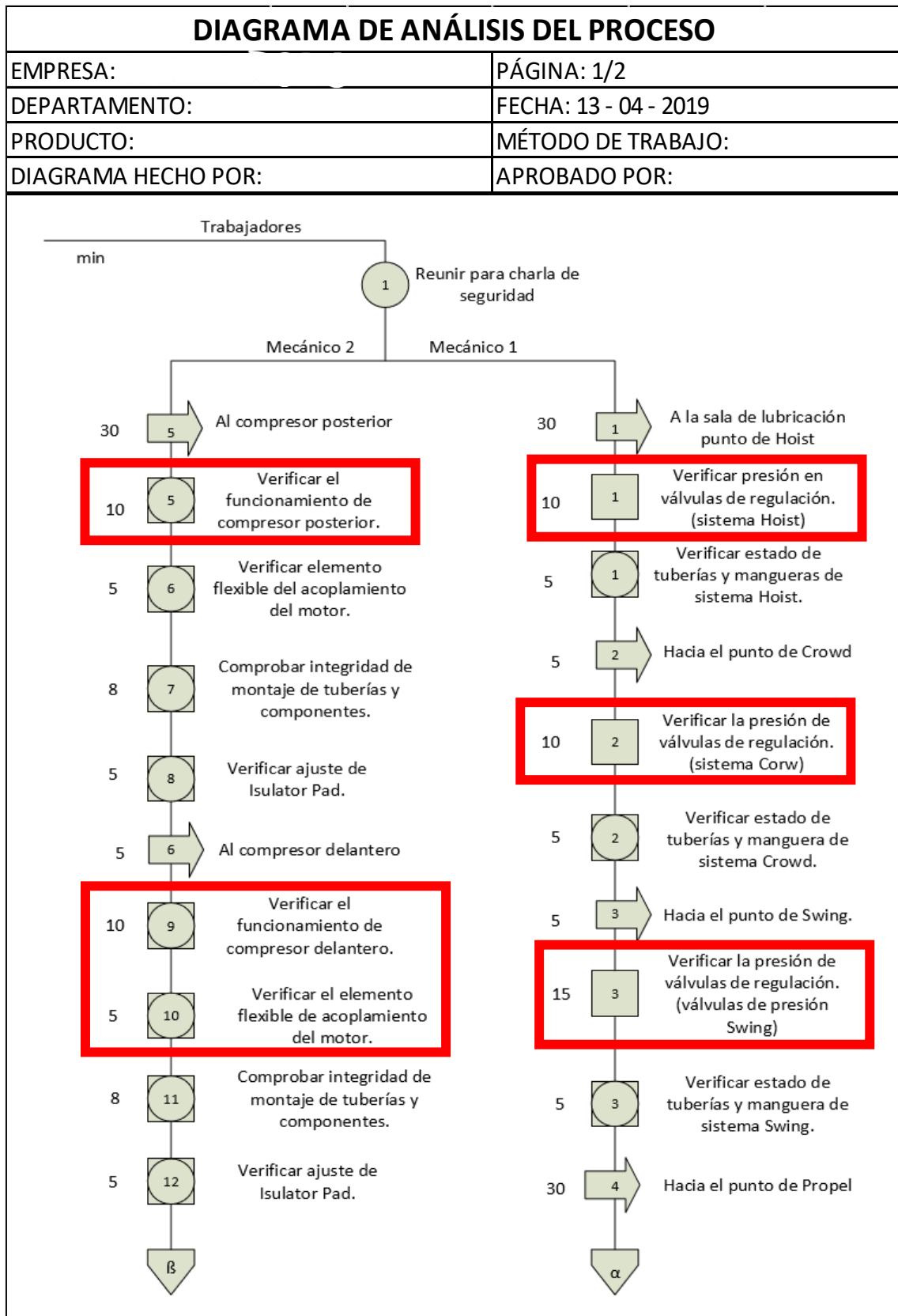
Al generar los dashboard en el Grafana se podrá obtener tener información acerca de los rendimientos y estado actual de la máquina de manera eficiente y oportuna, además reconocerá los desvíos de los límites de control formales permite identificar y tomar las medidas adecuadas en los momentos correctos para mejorar el uso, eficiencia y producción de las máquinas.

Debido al desarrollo de nuevas tecnologías como es el software PreVail y Grafana, las organizaciones industriales podrán mejorar la calidad y competitividad de sus productos mediante altos rendimientos asegurando un desarrollo eficiente en su producción.

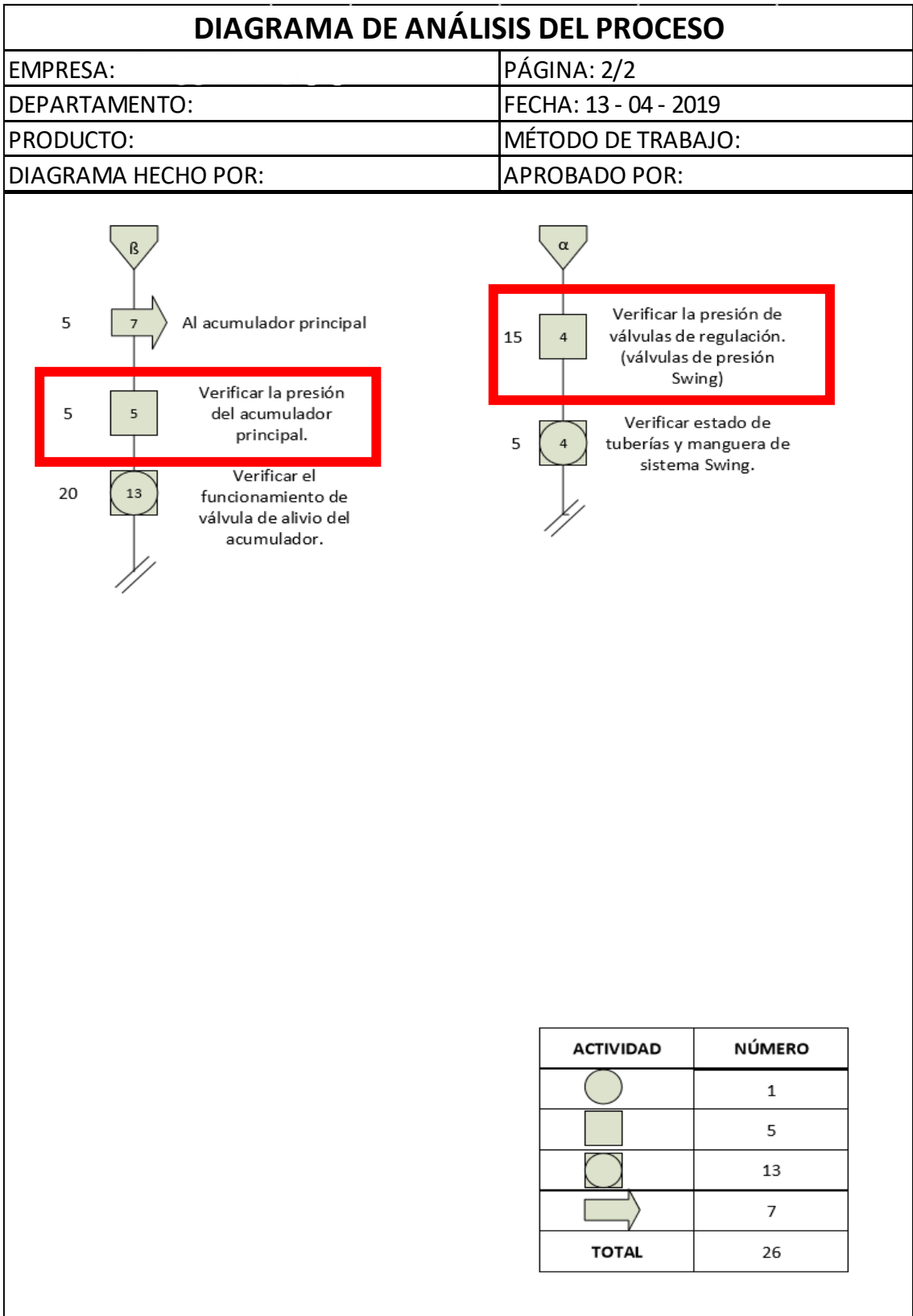
## **5.2. Análisis de los resultados**

Tras analizar el proceso de mantenimiento actual de la inspección del sistema de aire y del desgaste de frenos comparado con el proceso mejorado con el software se comprobó la reducción de tiempos. A continuación, se presentan los procesos que fueron eliminados durante el desarrollo de la inspección del sistema de aire en el DAP actual, los cuales están destacados dentro de un cuadro rojo.

**Figura 94.** Diagrama de Análisis del Proceso Actual – parte 1 eliminando procesos con software PreVail y Grafana

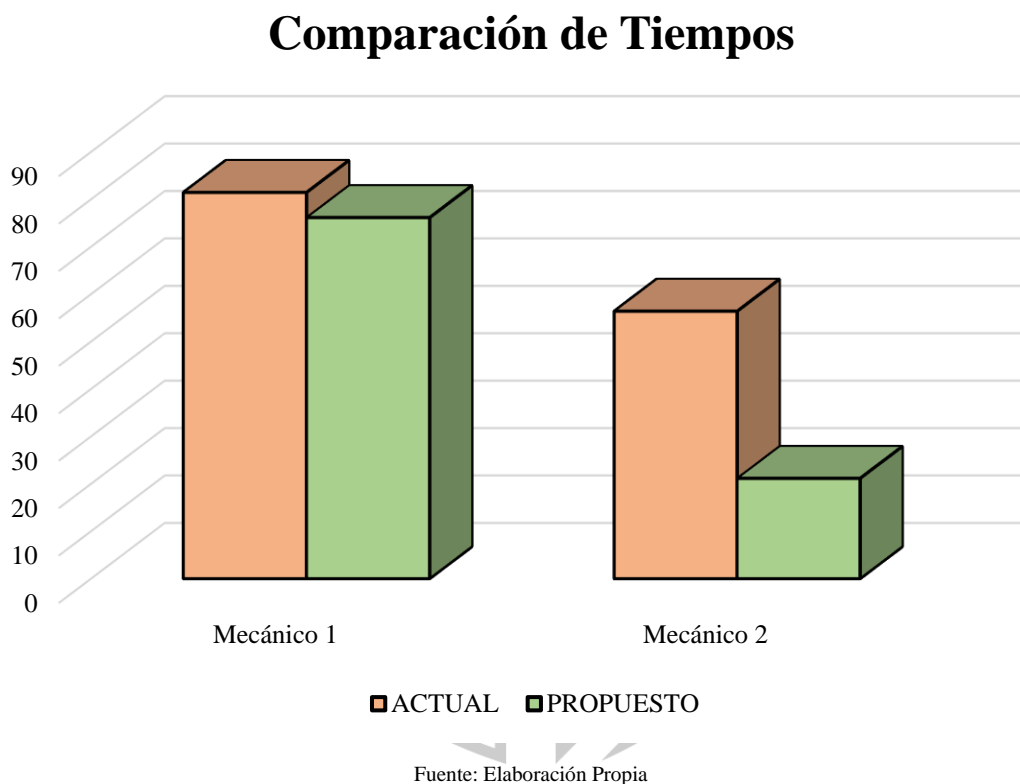


**Figura 95.** Diagrama de Análisis del Proceso Actual – parte 2 eliminando procesos con software PreVail y Grafana



Como se observan en las figuras anteriores, se denoto que, con la implementación de los Dashboard de control, únicamente se realizarán inspecciones mecánicas propias del monitoreo consiguiendo la disminución del tiempo considerablemente de 81 minutos con 45 segundos a 56 minutos con 40 segundos para el mecánico uno, y una disminución de tiempo de 76 minutos y 15 segundos a 21 minutos y 15 segundos para el mecánico dos como se observa a continuación.

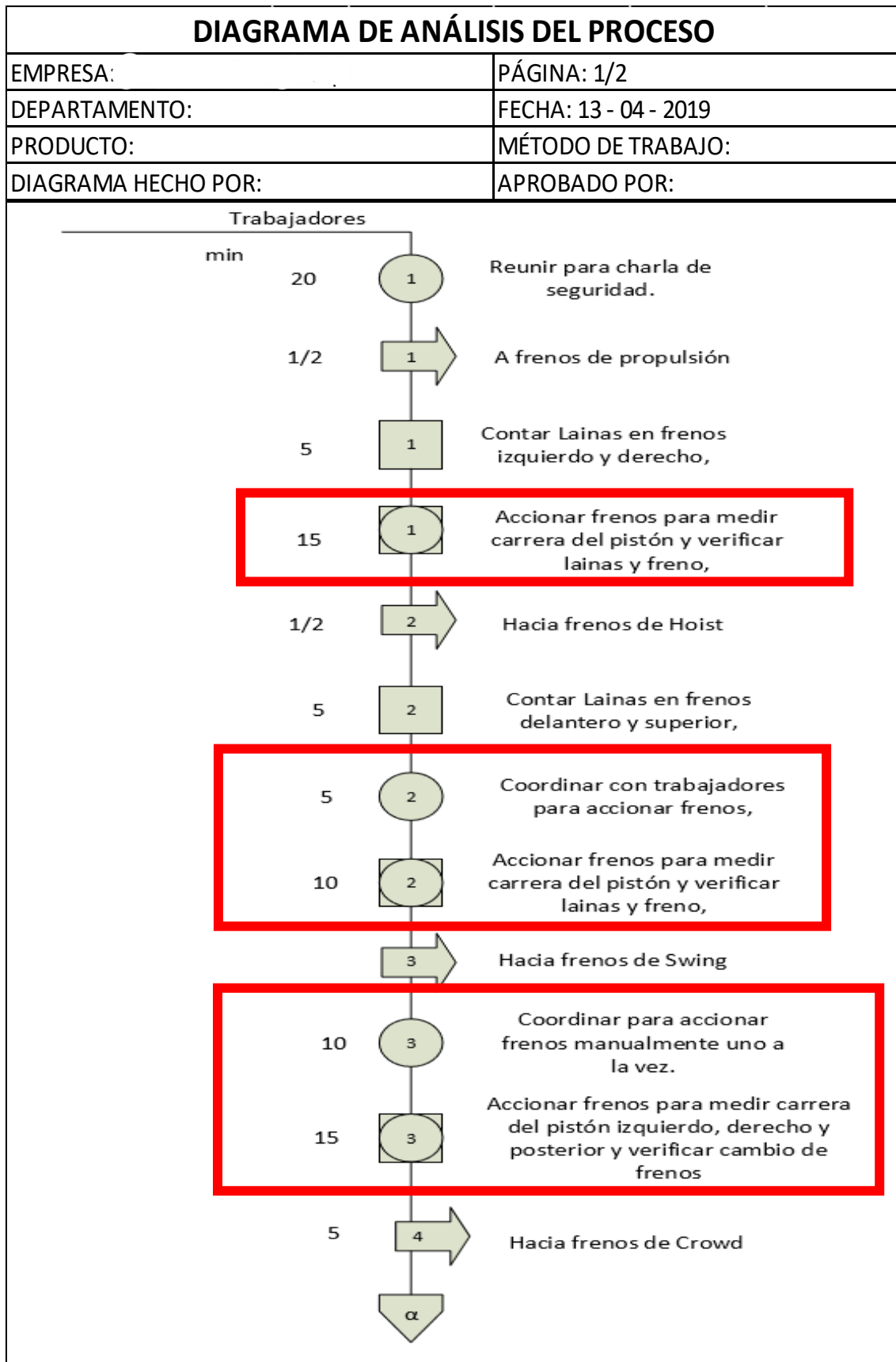
**Figura 96.** Variación de Tiempo de Procesos de inspección de sistema de aire Actual y Propuesto



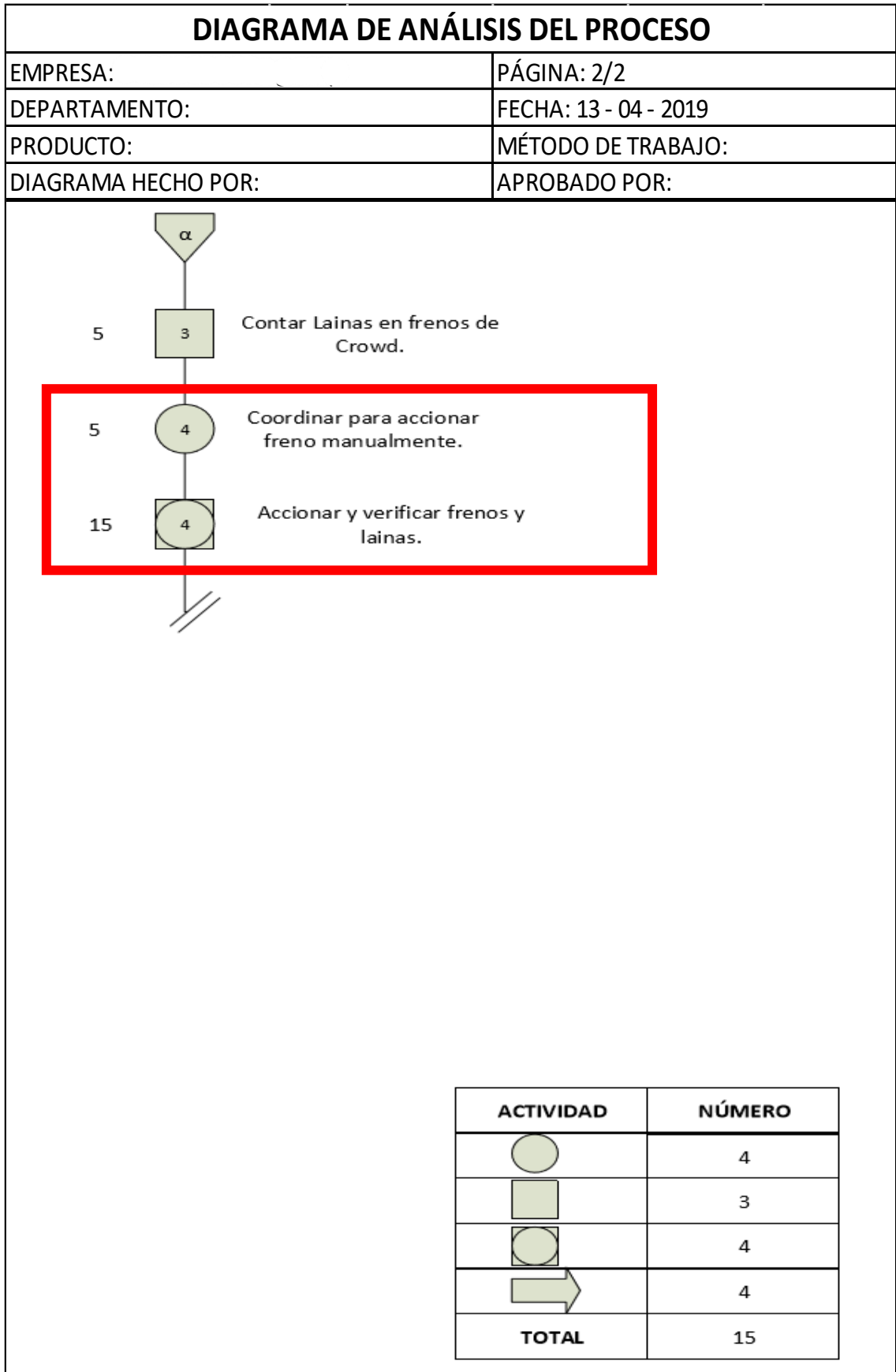
De igual forma en la siguiente figura se muestra el DAP actual del proceso de inspección del desgaste de frenos con las tareas que serían eliminadas gracias a la aplicación del software PreVail y Grafana, las cuales fueron encerradas en un cuadrado de color rojo.



**Figura 97.** Diagrama de Análisis del Proceso Actual – parte 1 eliminando procesos con software PreVail y Grafana

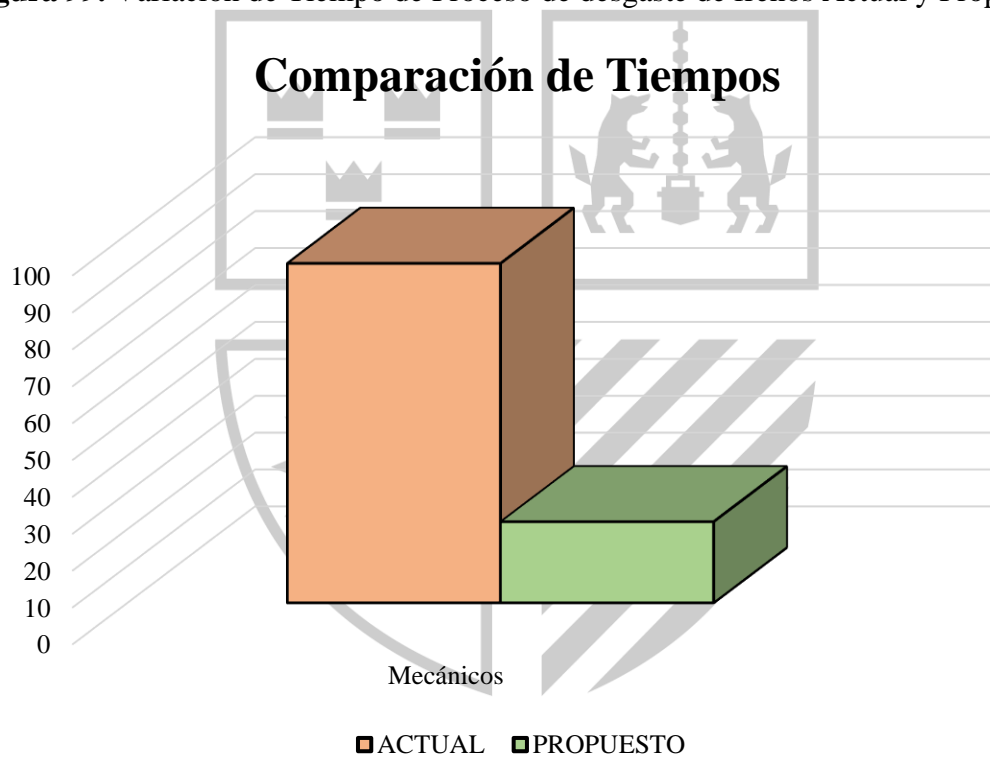


**Figura 98.** Diagrama de Análisis del Proceso Actual – parte 2 eliminando procesos con software PreVail y Grafana



Como se observa en las figuras anteriores, se pudo denotar que, en el proceso de inspección de desgaste de frenos cuyo trabajo se realiza cada mes, se requieren de 2 mecánicos que realizan dicha labor ocupando un tiempo de 92 minutos en la actualidad, por lo que tras la generación de los Dashboard en el software de PreVail y Grafana para medición de desgaste de freno, se pudo evidenciar que ya no se realizarán trabajos de medición de carrera del pistón y coordinaciones entre los trabajadores para el accionamiento de frenos, únicamente se desarrollaría el conteo de Laminas para saber cada cuanto se debe de cambiar el freno, es decir, se logró reducir el tiempo del proceso a 22 minutos de trabajo por conteo.

**Figura 99.** Variación de Tiempo de Proceso de desgaste de frenos Actual y Propuesto



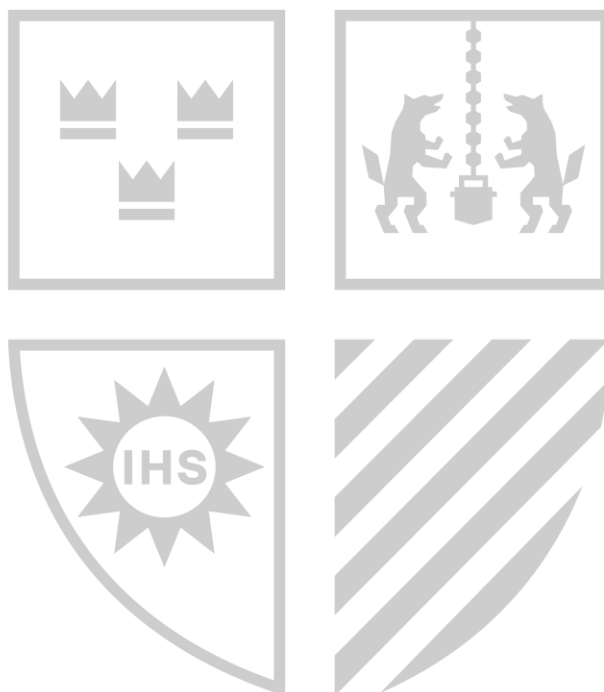
Fuente: Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

En el presente apartado se presentan las conclusiones de la propuesta de mejora generada a base de los objetivos planteados:

- Primera conclusión, después de analizar la propuesta de mejora de gestión de mantenimiento en las palas 4100 XPC por medio de la aplicación del software PreVail y Grafana se concluyó que es viable y mejorará la gestión del mantenimiento, optimizando tiempos y costos en el proceso de mantenimiento
- Segunda conclusión, gracias a la realización de la investigación documental a base del marco de referencia, se obtuvo el conocimiento suficiente sobre los tipos mantenimiento, las etapas de la gestión de mantenimiento, los sistemas de monitoreo a distancia PreVail y Grafana y el funcionamiento del sistema, conceptos básicos que fueron de gran ayuda en el desarrollo del proyecto.
- Tercera conclusión, se realizó el análisis interno de la empresa, concluyendo que en la actualidad si existe una planificación de mantenimiento en la empresa, realizando actividades de rutinas de inspección, lubricación, ajustes y limpiezas de las máquinas, sin embargo, se vio la problemática que acarrea los tiempos de paradas, especialmente las paradas imprevistas, los cuales generó pérdidas de dinero considerables a la empresa. Además, se evaluaron los procesos que presentan mayor ocurrencia de fallos, ya que ocasionan paradas de máquina imprevistos, cuyos procesos a analizar fueron: la inspección del sistema de aire y la inspección de desgaste de frenos.
- Cuarta conclusión, se desarrollaron las propuestas de mejora en los sistemas de monitoreo de condiciones a distancia con la aplicación del software PreVail y Grafana, logrando que, en el proceso de inspección de sistema de aire, se reduzca el tiempo de trabajo un 72% para el mecánico 1 y en un 30.8% para el mecánico 2. Además, en cuanto al proceso de inspección de desgaste de frenos, gracias a la

aplicación del software PreVail y Grafana se logró una variación de 70 minutos, lo que representa una reducción del tiempo real en 23.91%.



## RECOMENDACIONES

En el presente apartado se presentan las recomendaciones para el proyecto como para futuras investigaciones:

- Primera recomendación, como se analizó en el presente trabajo en la actualidad existe diversos factores que retrasan los procedimientos de mantenimiento en las palas, por lo que se recomienda que el software propuesto PreVail y Grafana, sea implementado en la empresa en los diferentes procesos de producción para asegurar la disminución de costos e incremento de utilidades.
- Segunda recomendación, continuar con trabajos de investigación referentes a la gestión de mantenimiento identificando diversos problemas y soluciones para lograr una mejora continua, ya que como se observó en la investigación existen diversos problemas que afectan los procesos de mantenimiento, de esta manera la empresa podrá lograr grandes aumentos en su productividad y la disminución de costos incurridos en la gestión de mantenimiento.
- Tercera recomendación, es necesario que para alcanzar el éxito de la implementación de dicho proyecto se necesita el apoyo de alta gerencia para involucrar a todo el personal de la empresa mediante capacitaciones, que ayuden a potenciar los procesos de planificación de mantenimiento, así como incentivar acciones de control rutinario necesarios para el correcto funcionamiento de diversos equipos, como: lubricación, calibración, ajuste y limpieza de maquinarias.
- Cuarta recomendación, en los procesos de mantenimiento total (TPM), se necesita de la inversión de tiempo y recursos en capacitaciones, que permitan influir en la filosofía de los trabajadores haciendo del mantenimiento una rutina. Dicha inversión logrará diversos beneficios para la empresa tanto económicos como operativos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bloom, N. (2006). *Mantenimiento Centrado en la confiabilidad Implementación Simplificada*. New York, USA: McGraw-Hill Inc.
- Díaz, N. J. (2004). *Técnicas de Mantenimiento Industrial*. Cádiz: Universidad de Cadiz.
- Domenech, R. J. (2013). *Diagrama de Ishikawa, Calidad*. Obtenido de [http://www.jomaneliga.es/PDF/Administrativo/Calidad/Espina\\_de\\_pescado.pdf](http://www.jomaneliga.es/PDF/Administrativo/Calidad/Espina_de_pescado.pdf)
- Esparza, C. D. (2015). Modelo de Gestión de Mantenimiento para Incrementar la Calidad en el Servicio en el Departamento de Alta Tensión de STC Metro de la Ciudad de México. En C. D. Esparza. México.
- García, G. S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid, España: Diaz de Santos.
- Gonzales, F. (2004). *Auditoria del Mantenimiento e indicadores de gestion*. España: FC Editorial.
- Ingenieros Industriales, E. t. (2003). *Universidad de Vigo*. Obtenido de <http://gio.uvigo.es/asignaturas/gestioncalidad/GCal0405.DiagramaCausaEfecto.pdf>
- KMC. (2019). *Komatsu Perú*. Obtenido de <http://www.kmmp.com.pe/index.php/about-us>
- Knezevic, J. (1996). *Mantenibilidad*. Madrid: Isfede.
- Komatsu. (2015). *Komatsu*. Obtenido de Komatsu: <https://www.komatsuforklift.cl/nuestro-equipo/historia>
- Komatsu. (2019). *Pravail. Komatsu*. Obtenido de Komatsu: <https://mining.komatsu/es/tecnolog%C3%ADa/inteligencia-de-miner%C3%ADa/sistema-de-monitoreo-de-condiciones-a-distancia-prevail>
- Manene, L. M. (28 de Julio de 2011). *Los diagramas de flujo: definición, objetivos, elaboración, reglas*. Obtenido de [https://moodle2.unid.edu.mx/dts\\_cursos\\_mdl/lic/AE/EA/AM/07/Los\\_diagramas\\_de\\_flujo\\_su\\_definicion\\_objetivoventajas\\_elaboracion\\_fase.pdf](https://moodle2.unid.edu.mx/dts_cursos_mdl/lic/AE/EA/AM/07/Los_diagramas_de_flujo_su_definicion_objetivoventajas_elaboracion_fase.pdf)
- Markets, I. (2018). *Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial*. IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial.
- Mes, D., Ortiz, Y., & Pinzón, M. (2006). *La Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento*. Universidad Tecnológica de Peira.
- Mora G., A. (2012). *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Medellín. Colombia: Coldi.
- Moubray, J. (1991). *RCM II: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. New York, USA: Prensa Industrial.
- Muñoz, A. B. (2004). *Mantenimiento Industrial*. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid.
- Parra, C. (2009). *Implantación piloto de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la Llenadora de la Línea 10 Planta San Joaquín*. Caracas, Venezuela: INGECON.

- Ramonet, J. (2013). *Análisis y Diseños de Procesos Empresariales*. Obtenido de [https://www.jramonet.com/sites/default/files/adjuntos/diagramas\\_flujo\\_jrf\\_v2013.pdf](https://www.jramonet.com/sites/default/files/adjuntos/diagramas_flujo_jrf_v2013.pdf)
- Red temática nacional sobre seguridad de funcionamiento y calidad de servicio de sistemas productivos. (2010). *Aproximación a la confiabilidad, Aplicaciones prácticas*. España: Ingeman D.L.
- Rodríguez, M. (2012). Propuesta de Mejora de la Gestión de Mantenimiento basado en la Mantenibilidad de Equipos de Acarreo de una Empresa Minera de Cajamarca. En M. A. Rodríguez del Aguila. Cajamarca, Perú.
- Uscátegui, C. P. (2014). *Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento para el departamento de confiabilidad y proyectos en la empresa PETROSANTANDER*. Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Villegas, A. J. (2016). *Propuesta de Mejora en la Gestión del área d emantenimiento para la optimización del desempeño de la empresa MANFER S.R.L. contratistas generales*. Arequipa: Universidad Católica San Pablo.
- Zapata, C. M., & Villegas, S. M. (2006). *Reglas de consistencia de modelos de métodos*. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT.

