

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS  
EQUIPOS FUNCIONALES, MEDIANTE LA METODOLOGÍA FMECA DE LA EMPRESA  
ARINCO ESTUDIOS SAS.

NESTOR FRANCISCO HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2021

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS  
EQUIPOS FUNCIONALES, MEDIANTE LA METODOLOGÍA FMECA DE LA EMPRESA  
ARINCO ESTUDIOS SAS.

NESTOR FRANCISCO HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Gerencia de  
Mantenimiento

Director

Héller Guillermo Sánchez A.  
PhD.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2021

## DEDICATORIA

*A Dios, por darme las facultades para desarrollarme en mi vida personal y profesional...*

*A Carol y Juan Diego, por su tiempo y su apoyo, por lo guerreros que han sido, por ser mi ejemplo y motivación para seguir adelante...*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Al ingeniero Neyer Bareño, gerente y propietario de la empresa Arinco Estudio SAS por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto.*

*Al ingeniero Héller Sánchez, por el acompañamiento y sus consejos no solo en el marco de este proyecto.*

*Al grupo de docentes de la universidad industrial de Santander por aportar sus conocimientos y gran experiencia en el desarrollo de este proyecto.*

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. MARCO TEÓRICO	17
4.1 MANTENIMIENTO	17
4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	17
5. MARCO CONCEPTUAL	21
5.1 MANTENIMIENTO	21
5.2 MÁQUINA DE COMPRESIÓN DE CONCRETO	21
5.3 MÁQUINA DE ROTO PERCUSIÓN	22
5.4 MÁQUINA DE CORTE DIRECTO	23
5.5 DISPONIBILIDAD OPERACIONAL:	24
5.6 MODO DE FALLA Y ANÁLISIS DE EFECTO Y CRITICIDAD FMECA	25
5.7 METODOLOGÍA SCRUM	26
5.8 PM SOFTWARE (PROJECT MANAGEMENT) TRELLO	27
5.9 METODOLOGÍA DE DISEÑO COMO CAJA TRANSPARENTE	28
6. METODOLOGÍA	29
6.1 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	30
6.2 APLICAR LA MATRIZ FMECA	36

6.3 MEDIR EL NPR	40
6.4 DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	40
6.5 CONFIGURAR LOS TABLEROS DE LA HERRAMIENTA TRELLO	43
7. CONCLUSIONES	46
8. RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFIA	49

## Lista de Tablas

Tabla 1 FMECA Máquina 1 .....	37
Tabla 2 FMECA Máquina 2.....	38
Tabla 3 FMECA Máquina 3.....	39
Tabla 4 Mantenimiento Máquina 1.....	41
Tabla 5 Mantenimiento Máquina 2.....	42
Tabla 6 Mantenimiento Máquina 3.....	43
Tabla 7 Programación Máquina 1 .....	44
Tabla 8 Programación Máquina 2.....	44
Tabla 9 Programación Máquina 3.....	45
Tabla 10 Programación actualizada Máquina 1.....	46
Tabla 11 Tareas documentadas por el operador.....	47

## Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Mantenimiento Preventivo.....	19
Ilustración 2. Metodología FMECA.....	25
Ilustración 3 Máquina 1.....	30
Ilustración 4 Máquina 2 .....	32
Ilustración 5 Máquina 3 .....	35

## RESUMEN

### **TITULO:**

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS FUNCIONALES, MEDIANTE LA METODOLOGÍA FMECA DE LA EMPRESA ARINCO ESTUDIOS SAS. \*

### **AUTOR:**

NESTOR FRANCISCO HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ. \*\*

### **PALABRAS CLAVE:**

ARINCO ESTUDIOS SAS, METODOLOGÍA FMECA, MANTENIMIENTO, EQUIPOS DE LABORATORIO.

### **CONTENIDO:**

Este proyecto tiene el propósito de mostrar la manera como inicia una implementación de un plan de mantenimiento en equipos industriales, desarrollado teniendo en cuenta la experiencia del operador y apoyado en los manuales del fabricante y en eventos ocurridos anteriormente. Se busca generar la confianza en la gerencia y en sus colaboradores de tener equipos más seguros y confiables, debido a que la cantidad de activos de esta empresa es reducida.

El proyecto se basa en el desarrollo de la metodología FMECA, una herramienta poderosa a partir de los modos de falla de cada uno de los equipos, la cual de acuerdo con los riesgos de dichas fallas plantea unas acciones o tareas recomendadas para mitigarlas o evitarlas.

Esta implementación del plan de mantenimiento será incorporada con los equipos funcionales de la empresa, aportando a la confiabilidad de estos, y evaluando su operación desde un enfoque de seguridad y mantenimiento, donde los operadores juegan un papel importante a la hora de tener resultados. Además, aportara también en la enseñanza y conocimiento profundo de los equipos,

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela Ingeniería Mecánica. Director Héller Guillermo Sánchez A.

## **ABSTRACT**

### **TITLE:**

IMPLEMENTATION OF A PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN FOR FUNCTIONAL EQUIPMENT, THROUGH THE FMECA METHODOLOGY OF THE COMPANY ARINCO ESTUDIOS SAS. \*

### **AUTHOR:**

NESTOR FRANCISCO HERNANDEZ FERNANDEZ. \*\*

### **KEY WORDS:**

ARINCO ESTUDIOS SAS, FMECA METHODOLOGY, MAINTENANCE, LABORATORY EQUIPMENT.

### **CONTENT:**

This project has the purpose of showing the way how an implementation of a maintenance plan in industrial equipment starts, developed taking into account the operator's experience and supported by the manufacturer's manuals and events occurred previously. It seeks to generate confidence in the management and its collaborators to have safer and more reliable equipment, due to the fact that the amount of assets of this company is reduced.

The project is based on the development of the FMECA methodology, a powerful tool based on the failure modes of each of the equipment, which according to the risks of such failures poses some recommended actions or tasks to mitigate or avoid them.

This implementation of the maintenance plan will be incorporated with the company's functional equipment, contributing to their reliability and evaluating their operation from a safety and maintenance approach, where the operators play an important role in achieving results. In addition, it will also contribute to the teaching and deep knowledge of the equipment,

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela Ingeniería Mecánica. Director Héller Guillermo Sánchez A.

## INTRODUCCIÓN

Los estudios de suelos completos y con un buen nivel de responsabilidad realizados para las construcciones de nuevas estructuras tanto a nivel residencial, industrial o comercial garantizan el buen funcionamiento de sus cimentaciones, proporcionando la capacidad y las recomendaciones requeridas para mejorarlas a la hora de construir. El estudio de suelos muestra también las características geotécnicas y geológicas del sitio donde se tomarán las muestras, de esta manera se tiene la información del riesgo de inestabilidad o de posibilidad de movimientos de masa que puedan afectar el desarrollo del proyecto o la solución para mejorar las condiciones del terreno.

Las funciones de un estudio de suelos son:

- Conocer las características físicas, químicas y mecánicas del suelo.
- Reconocer las capas o estratos que lo componen en profundidad.
- Mostrar la existencia de posibles cuerpos de agua.
- Recomendar las medidas en profundidad para realizar las fundaciones.
- Aportar en la planificación del diseño y el cálculo de fundaciones para la construcción.

Las etapas de un análisis de suelos son tres:

- El trabajo desarrollado en el terreno para obtener las muestras de este.
- Las actividades con los equipos de laboratorio para el análisis de este.
- Informe final de acuerdo con el resultado de dichos análisis.

Realizar un Estudio de Suelo, más allá de cumplir con un requisito legal a la

hora de construir da la confiabilidad de hacerlo, recomienda las fundaciones o cimientos que se deben diseñar, y esto genera la tranquilidad de tener una estructura segura y bien calculada. Se debe tener en cuenta que es una inversión y no un gasto.

De acuerdo con lo anterior, de los principales protagonistas en todo el desarrollo del estudio de suelos son los equipos utilizados para esta función, por eso es de vital importancia mantenerlos en las mejores condiciones y aún más cuando son los equipos funcionales de la empresa, utilizando un plan de mantenimiento preventivo que involucra a la gerencia de la misma y a todos sus colaboradores.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Arinco estudios SAS es una empresa constituida desde hace 9 años en el mercado, dedicada al diseño, asesoría y estudios de suelos para obras civiles con servicios de laboratorio de suelos, concretos y pavimentos. Dentro de la planta física se cuenta con tres equipos de laboratorio (máquina de ensayo universal, máquina para compresión de concreto y máquina de corte directo) y con tres equipos de campo (1 equipo de percusión y 2 de roto percusión), siendo estos el corazón de la empresa, pues depende de su operación la entrega cumplida de los resultados y la satisfacción de los clientes.

El 100% de estos equipos no cuentan con un plan de mantenimiento preventivo, puesto que son equipos relativamente nuevos los cuales no tienen un histórico de fallas, se cuenta con la información obtenida del fabricante y sus recomendaciones en las tareas prioritarias de mantenimiento para cada uno de ellos, buscando mantener su confiabilidad y disponibilidad.

La operación de estos equipos va de acuerdo a las necesidades del cliente, para nuestro estudio se encontró que aproximadamente la máquina para compresión de concreto opera 10 horas semanales, la máquina de corte directo opera 4 horas semanales, y el equipo de roto percusión opera 8 horas semanales en campo, además por su ubicación geográfica no se cuenta con la facilidad de conseguir repuestos para corregir una falla imprevista de alguno de ellos generando retrasos en la entrega de resultados.

Debido a esto la empresa ya se ha enfrentado a este problema con eventos sucedidos, donde se ha generado inconvenientes con el cliente por la entrega de resultados, y dificultad para conseguir el repuesto para corregir la falla., por eso la gerencia requiere conocer a fondo cada uno de sus equipos, los componentes más importantes en cada uno de ellos, la función que cumplen en el sistema, sus modos de falla y el efecto que generan, la manera de detección que tienen, la gravedad del daño y que acciones se pueden tomar para mitigar o prevenir dichas fallas tanto en los equipos de laboratorio como en los equipos de campo.

Este proyecto tiene como propósito la Implementación de un plan de mantenimiento para los tres equipos más críticos y funcionales de la empresa mediante Pm Project manager que ayude a la gerencia en la toma de decisiones administrativas y financieras buscando proteger su economía y su imagen afectadas por la amenaza de paradas imprevistas de los mismos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar un plan de mantenimiento preventivo para la máquina de compresión de concreto, la máquina de corte directo y el equipo de roto percusión, mediante la metodología FMECA de la empresa Arinco Estudios SAS para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de estos equipos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los componentes críticos, sus modos de falla, el efecto generado en los equipos y las causas de dichas fallas mediante la metodología FMECA para establecer las acciones o tareas programadas con las cuales se pueda prevenir o mitigar dichas fallas.
- diseñar un plan de mantenimiento preventivo, mediante la metodología de la caja transparente para obtener la programación de las acciones recomendadas en cada uno de los equipos.
- Implementar una prueba piloto para la identificación de posibles desviaciones en el desarrollo del plan de mantenimiento de manera que se puedan realizar los ajustes requeridos, socializando la misma y la manera de ejecutarla a la gerencia y a los operadores de los equipos.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Implementar un plan de mantenimiento preventivo es importante porque le permite a la empresa mantener los indicadores de confiabilidad y disponibilidad de sus equipos, dado que la empresa cuenta con pocos activos, y con los que cuentan han sido establecidos como equipos críticos.

El planteamiento de una estrategia clara de mantenimiento le permitiría asegurar a la gerencia el conocimiento del funcionamiento y la mantenibilidad de sus equipos, empleando herramientas como pg. Project management Trello, mediante la metodología ágil Scrum incorporando en el proceso la participación de la gerencia y de los operadores de dichos equipos.

Los empleos de dichas herramientas permiten la implementación de proyectos, incluido los planes de mantenimiento, de una forma más eficiente y versátil, trabajando de la mano con toda la cadena de producción de la empresa.

Es muy importante también realizar este tipo de revisión en los equipos porque ayudara al gerente a tener claros los detalles en cuanto a la operación del equipo tanto en la empresa como en campo y poder visualizar aquellas condiciones que puedan generar accidentes y daños a las personas, a la infraestructura o al medio ambiente.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 MANTENIMIENTO**

Conservar un elemento, un equipo o la infraestructura en buen estado para prevenir daños o la propia degradación de estos se llama mantenimiento, con el objetivo de que los mismos cumplan de manera exitosa las funciones para los cuales fueron diseñados, pero estos a su vez con el pasar del tiempo y debido a su operación pueden presentar fallas o deterioros, o también modificaciones si el mismo trabajo lo amerita.

Entonces se dice que el mantenimiento es el conjunto de tareas realizadas con todo un equipo humano de trabajo enfocadas a conservar en condiciones de operación y uso todos los equipos o infraestructura de una empresa.

Los desarrollos de las actividades de mantenimiento aportan también a la rentabilidad de la empresa, reduciendo costos en la misma, por el tiempo de inactividad de los equipos funcionales, generando retrasos en los procesos,

Es mejor tener equipos confiables para la operación, que tener fallas repentinas durante la misma generando caos y gastos innecesarios no contemplados en el proceso.

### **4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

El mantenimiento preventivo, busca combinar todas las acciones que se realizan para mantener o restaurar un activo en una compañía, desde la parte técnica, administrativa y gerencial, buscando mantener en perfectas condiciones las instalaciones y los equipos.

De esta manera el mantenimiento preventivo permite alargar el ciclo de vida de los activos, manteniendo un tiempo menor en la inactividad de estos y ayudando a restaurarlos llevándolos a una condición cercana a la original. De acuerdo con lo anterior es importante especificar el tiempo de disponibilidad de los equipos para un tiempo también determinado.

Este concepto presenta la idea de que dicho mantenimiento inicia en el proyecto de los equipos, por eso es importante iniciar con las especificaciones técnicas, recomendaciones del fabricante en el transporte, montaje, la puesta en marcha, el seguimiento y la evaluación de su operación, Todas estas acciones deben ser el punto de referencia y es el personal de mantenimiento el responsable de recopilar esta información, ahí estarán los parámetros de medición o evaluación del ciclo de vida del activo.

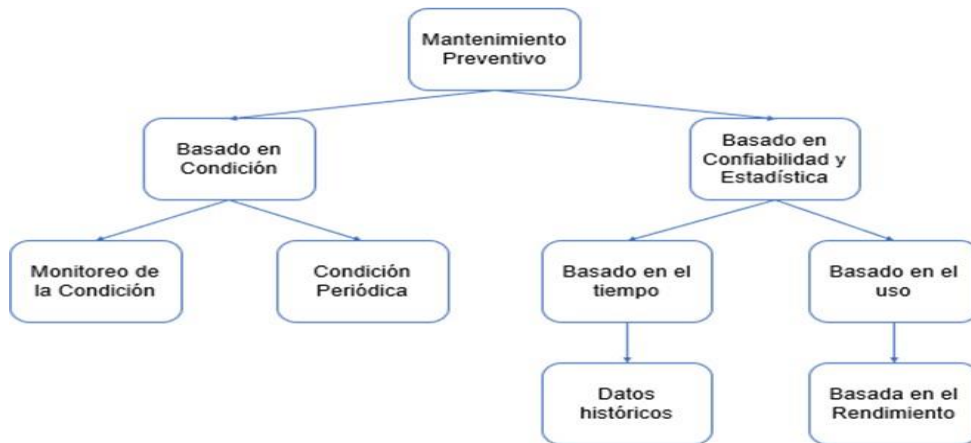
Dentro de las tareas de mantenimiento se encuentran:

- El seguimiento permanente o periódico de la operación del equipo.
- Las tareas preventivas o correctivas necesarias para mantenerlo.
- La evaluación del deterioro de los activos y su reemplazo si es necesario.

Una de las metodologías utilizadas para implementar un plan de mantenimiento preventivo es FMECA, la cual, ayuda a identificar los modos de falla de los componentes de un sistema o equipo, que efectos pueden generar dichas fallas y como evitarlas o como mitigar sus efectos.

A continuación, se realiza una recopilación de las teorías que constituyen el soporte teórico para la implementación de un plan de mantenimiento preventivo. Son acciones del mantenimiento:

**Ilustración 1.** Esquema *Mantenimiento Preventivo*



*Fuente: Elaboración propia*

En este apartado se enuncian algunas teorías alusivas al mantenimiento preventivo.

- (Jiménez Raya, 2015), describe el mantenimiento preventivo como una serie de acciones que se realizan por parte del equipo de mantenimiento con el fin de mantener el buen funcionamiento de los equipos e instalaciones, siendo este mantenimiento preventivo como programado o como predictivo.
- (González Sierra, 2014), escribe que el mantenimiento preventivo actúa con el conocimiento previo del sistema y los componentes que lo conforman sin que la acción a realizar sea estrictamente necesaria.

- (Ruiz Rivera, 2012), define el mantenimiento preventivo como aquel que se ejecuta para prevenir y evitar daños en los equipos y sistemas bajo una programación determinada de las tareas a ejecutar, dependiendo de este la ejecución del mantenimiento correctivo.
  
- (Cabeza Manrique, 2010), refiere que la metodología FMECA se utiliza para la prevención de fallos de un sistema o equipo partiendo de los efectos que estos generan, identificando los elementos más críticos en los mismos, y mediante las acciones recomendadas reducirlos o evitarlos.
  
- (Cordero & Estupiñan, 2018) proponen la metodología FMECA como una herramienta potente para determinar las funciones de los elementos de un sistema como sus modos de fallo, y de esta manera establecer sus planes de mantenimiento, teniendo en cuenta el conocimiento del contexto del equipo, el análisis funcional, la identificación de los modos de falla y los efectos que estos generan como consecuencias, para luego jerarquizar el riesgo.

De acuerdo con la información encontrada todas las fuentes apuntan a la manera de establecer un plan de mantenimiento preventivo conociendo a fondo el equipo o sistema en el que se va a trabajar, desde su modo de operación, sus elementos más importantes o críticos, las fallas que estos pueden presentar, los efectos que estas puedan generar y los riesgos que se tienen.

## **5. MARCO CONCEPTUAL**

A continuación, se definen algunos conceptos claves para la investigación que se propone desarrollar.

### **5.1 MANTENIMIENTO**

Según (Medrano Márquez, González Ajuech, & Díaz de León Santiago, 2017), definen el mantenimiento como las actividades enfocadas a conservar las partes físicas de una compañía con el fin de que se encuentra en buenas condiciones de operación a un bajo un costo.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) define el mantenimiento de la siguiente manera: “control constante de las instalaciones y conjunto de los trabajos de reparación y revisión necesarios para asegurar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de las plantas productivas, de sus servicios e instalaciones” (OCDE, 1963).

### **5.2 MÁQUINA DE COMPRESIÓN DE CONCRETO**

Es un equipo diseñado y aplicado en ingeniería para el ensayo de compresión en laboratorios, con una capacidad máxima de 10.000 psi, técnicamente ayuda a determinar la resistencia de un material, ya sea concreto o ladrillos, o la deformación ante un esfuerzo de compresión.

El procedimiento para realizar dicho ensayo consiste en posicionar una probeta cilíndrica del material que se quiere ensayar en la prensa y una vez ubicada la probeta se aplica presión hasta que esta se rompe, esta fuerza queda registrada en

la memoria del controlador y es observada a través de la pantalla. Dichas probetas generalmente se rompen entre 3000 psi y 5000 psi de acuerdo con el diseño de la mezcla de concreto. Conforme a la norma NTC 673. (Ensayo De Resistencia A La Compresión De Especímenes Cilíndricos De Concreto).

### **5.3 MÁQUINA DE ROTO PERCUSIÓN**

El sistema de perforación o roto percusión es el utilizado desde el siglo XIX en las obras civiles, y también en la minería. Consiste en golpear con una pieza de acero llamada pistón sobre un elemento que transmite la energía al fondo del barreno por medio del elemento final que es la broca. Este tipo de perforación se utiliza en terrenos duros y semiduros.

Las acciones realizadas sobre el sistema de transmisión de energía para llevar a cabo la perforación son la percusión, la rotación, el empuje y el barrido. Para nuestro estudio utilizamos maquina o equipo compuesto por un motor de combustión interna de 13 hp, marca Katsu Power. La perforación y la percusión en el equipo que hace se realiza de manera independiente, por una parte, la percusión se realiza por medio de una pesa de 70 Kg de peso atada a una soga, dicha soga es apoyada por dos poleas, la primera polea gira con el movimiento del eje del motor, por medio de la soga y de manera manual, esta se ajusta a la polea en movimiento para darle el impulso en subida a dicha pesa, nuevamente de manera manual es soltada de la

polea en movimiento para que por caída libre llegue golpeando al barreno. La otra polea sirve como apoyo superior para ayudar en el movimiento de la cuerda.

La rotación se da por la transmisión mecánica del motor al eje del taladro por un juego de piñones helicoidales, y tiene un solo sentido de giro. El empuje se da por el accionamiento hidráulico de gatos que van empujando la barrena para dar profundidad.

Es necesario en la actividad de perforación mantener refrigerada la broca con la cual estamos rompiendo el suelo, para esta función se tiene una bomba accionada por un motor de combustión interna. De 13 hp, marca Katsu Power de las mismas características del motor principal.

#### **5.4 MÁQUINA DE CORTE DIRECTO**

Esta máquina está diseñada para realizar un ensayo que determina la fuerza de cizallamiento o corte, consolidada de un material de suelo. Dicho ensayo se realiza aplicándole una fuerza a una porción del suelo previamente consolidada, bien sea arena o arcillas, buscando que, por deslizamiento, la muestra sufra un cizallamiento, esa fuerza generada al momento de producir el cizallamiento es la que se quiere medir. Este equipo debe contar con la capacidad de realizar el corte a una velocidad de desplazamiento uniforme. La velocidad de aplicación en la carga depende de las características y del tipo de suelo que se vaya a estudiar, para lograr esta velocidad se tiene un moto reductor acoplado a una caja reductora, determinando la fuerza

por celdas de carga. Para medir los desplazamientos se tiene los comparadores de caratula. Es importante anotar que dicho movimiento se realiza aplicándole también una carga normal de manera vertical a dicho plano en movimiento.

Esta carga vertical es aplicada a la muestra directamente por medio de una estructura de carga que soporta pesas de diferentes valores, esto permite que dicha carga se pueda variar aumentando o disminuyendo el valor de las pesas. el equipo del estudio puede recibir pesas hasta de 50 kg, buscando que la carga total sobre la muestra alcance 500 N o 5000 N.

#### **5.5 DISPONIBILIDAD OPERACIONAL:**

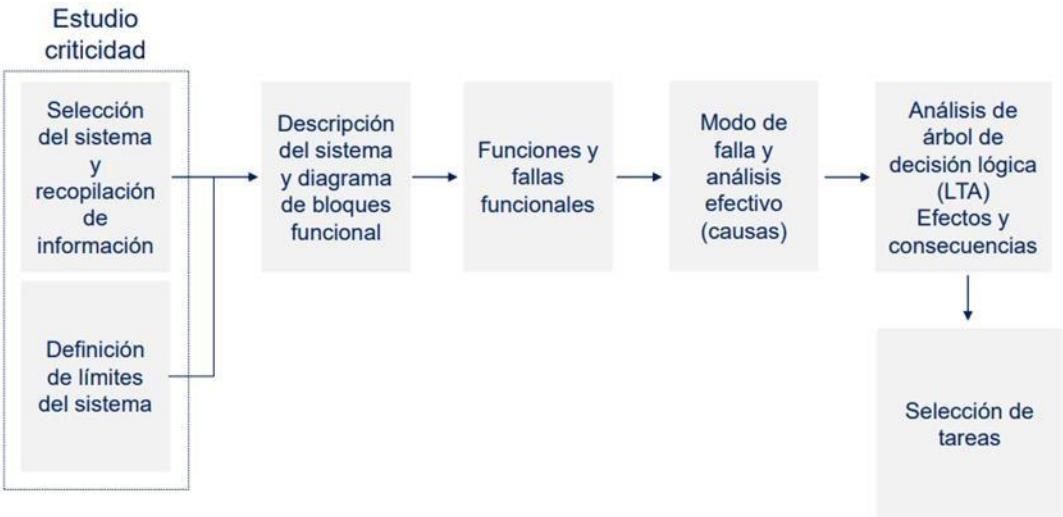
Según (Concepción, Serpa, Gómez, Montalvo, & Ledo, 2021) exponen en su artículo que, de acuerdo con las definiciones dadas por diferentes autores, la disponibilidad operacional indica la capacidad que tiene un sistema conformado por sus equipos, los procesos en donde trabajan, las tecnologías que los controlan y las personas que los gestionan para realizar las tareas para las cuales fueron diseñados teniendo como referencia ciertos límites y la función a realizar. pero en su conclusión final definen la disponibilidad operacional como la sinergia que debe haber en esos elementos con el objetivo de hacer que un sistema complejo cumpla sus funciones en un tiempo y en un ambiente determinado y que pueda ser medido mediante un indicador.

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ Totales - Horas\ parada\ por\ mantenimiento}{Horas\ Totales}$$

Ecuación 1. Cálculo de disponibilidad

### 5.6 MODO DE FALLA Y ANÁLISIS DE EFECTO Y CRITICIDAD FMECA

**Ilustración 2.** Metodología FMECA



Fuente: Elaboración propio

El análisis de modo de fallo, efectos y criticidad (FMECA) tiene como objetivo identificar y analizar los modos de fallo de equipos y sistemas, los efectos que pueden tener sobre la producción y la compañía y como mitigarlos. FMECA es una metodología que le permite gestionar su mantenimiento industrial, desde la parte de la seguridad, partes y repuestos y llevarlo a un contexto de procedimientos con calidad.

Esta metodología se desarrolla determinando los modos de falla en los equipos y sus posibles causas, evaluando el efecto que genera en el equipo o sistema dichas

fallas, la función afectada del equipo y el daño causado en el mismo. Se deben identificar los siguientes criterios:

Índice de riesgo (NPR) = Gravedad x Ocurrencia x Detección

N: GRAVEDAD

P: OCURRENCIA

R: DETECCION

Esta metodología propone prevenir las fallas en los equipos, de tal manera que evite fallas en la producción, buscando mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos en un alto porcentaje.

### **5.7 METODOLOGÍA SCRUM**

Según (Ramírez, Soto, Moreno, Rojas, & Millán, 2019), exponen que la metodología Scrum incorpora buenas prácticas para el desarrollo de un proyecto e integra el apoyo de todo el equipo de trabajo interesado en su resultado, es una metodología ágil que busca consolidar el objetivo en periodos cortos de tiempo, obteniendo entregas parciales del resultado final para ir siendo evaluadas por el cliente, y realizar los ajustes correspondientes de acuerdo con lo que se requiere.

(Trigás Gallego, 2012) muestra una manera de realizar proyectos teniendo en cuenta la agilidad, flexibilidad, y la incertidumbre como principales características. Les llamo la atención que grandes empresas como honda, HP o canon no tenían contemplado dentro de sus procesos el realizar ciclos para obtener un resultado

final, sino que conformaban equipos multidisciplinarios que trabajaban en su objetivo desde la idea inicial hasta conseguir el resultado de dicho producto.

Scrum es realizar un proyecto por fases, desde a idea inicial hasta obtener su resultado final, pero con mejoras y revisiones a lo largo del mismo, por parte de todas las partes interesadas, desde el concepto luego por la especulación, llegando a la exploración, para su posterior revisión y dar el cierre al proyecto.

La metodología Scrum es una metodología ágil cuyo objetivo es la entrega de valor en periodos de tiempo cortos, basada en unos pilares fundamentales como son:

- La transparencia
- La inspección
- La adaptación

Esto permite la integración al proyecto de las personas más interesadas en el mismo, y de esta manera juntos ir consiguiendo el resultado de este.

De acuerdo a la metodología Scrum, se utilizó la aplicación trello para la gestión del proyecto, la cual nos ayudará a ordenar en un cronograma las actividades de mantenimiento a realizar en cada uno de los equipos, y en línea se podrá hacer seguimiento a las mismas, integrando de esa manera tanto a la gerencia como a los operadores de las máquinas.

### **5.8 PM SOFTWARE (PROJECT MANAGEMENT) TRELLO**

Es un gestor de proyectos en línea, que permite programar las tareas recomendadas para cada uno de los equipos y generar el aviso de acuerdo con la programación establecida. de esta manera permite el proceso de planificación,

seguimiento y control a dichas tareas, dejando comentarios en cada una de ellas, el histórico de materiales y los recursos utilizados.

## **5.9 METODOLOGÍA DE DISEÑO COMO CAJA TRANSPARENTE**

La Caja Transparente es un método basado en el desarrollo de un proceso lógico y ordenado, para llegar al resultado esperado.

Puede dividirse en dos:

1. Lleva a cabo la búsqueda de diseño educativo.
2. Controla y evalúa el sistema

La caja transparente utiliza criterios de evaluación, análisis del problema y estrategias.

La metodología utiliza tres pasos o fases:

- Entradas (Input), acá se recopila la información de acuerdo con las necesidades del cliente, se plantea una idea del resultado que se quiere obtener con base en esa información
- El proceso (la caja), encierra la manera como se va a procesar la información para llegar al resultado esperado.
- Salidas (Output), es el resultado final del proceso, para nuestro caso es el plan de mantenimiento.

## 6. METODOLOGÍA

De acuerdo con los objetivos planteados en este proyecto se utilizará las siguientes metodologías:

1. Describir el funcionamiento y recopilar la información de los tres equipos críticos de la empresa, mediante el manual del fabricante, la experiencia del operador y la puesta en marcha de estos definiendo los límites.
2. Aplicar la matriz FMECA para cada uno de los equipos con el objetivo de describir los componentes, sus funciones, sus modos de falla, los efectos generados, las causas de las fallas, sus modos de detección.
3. Medir el NPR con los valores arrojados en cada ítem de acuerdo con la matriz FMECA, teniendo en cuenta la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la efectividad de la forma de detección y establecer las tareas o acciones recomendadas que se deben programar para prevenir o mitigar las fallas.
4. Diseñar con base en la información obtenida en cada matriz FMECA, teniendo en cuenta los valores del número de prioridad del riesgo y sus acciones recomendadas el plan de mantenimiento preventivo para cada uno de los equipos.
5. Configurar los tableros de la herramienta trello para cada uno de los equipos, con la información requerida para el desarrollo del plan de mantenimiento, código del equipo, fecha de realización, las tareas recomendadas, los responsables, los recursos, los tiempos utilizados.

6. Socializar con el equipo de trabajo (gerente y operadores) la implementación del plan de mantenimiento con el manejo de la herramienta para realizar una prueba piloto del mismo.
7. Realizar los ajustes necesarios en la herramienta y en el plan de mantenimiento de acuerdo a las desviaciones observadas por el desarrollo del mismo.

### 6.1 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Describir el funcionamiento y recopilar la información de los tres equipos críticos de la empresa, mediante el manual del fabricante, la experiencia del operador y la puesta en marcha de estos definiendo los límites.

**Ilustración 3.** Equipo 1: para compresión de concreto un canal



*Fuente: Elaboración propia*

Dentro de los componentes más importantes para el funcionamiento de esta máquina y sus posibles fallas tenemos:

- **Bobinas de válvulas solenoides**

Es el elemento que respondiendo a pulsos eléctricos se encarga de accionar la válvula dándole apertura o cierre para el paso del fluido hidráulico(aceite), éstas de acuerdo con el servicio que prestan pueden calentarse y generar corto circuito y abrirse su bobinado, generando error en el funcionamiento de esta o una mala operación.

estas bobinas debido al uso y el ambiente de trabajo se desajustan presentando mal contacto en sus terminales, este mal contacto genera el calentamiento de su bobinado y esto puede generar corto circuito o rotura de este, creando una falla en el funcionamiento o una mala operación.

- **Motor eléctrico:** es una maquina motriz que a partir de la energía eléctrica la convierte en energía mecánica para darle movimiento a la bomba hidráulica buscando suministrar la presión suficiente para accionar el cilindro de la muestra. Por su operación en un ambiente con polución, se puede calentar debido al taponamiento de la tapa del ventilador, o llegar a sufrir daños en sus rodamientos.

- el sitio de operación de esta máquina es un ambiente contaminado con polvo y arena, si no se realiza una revisión o limpieza programada del equipo puede ocasionar que su refrigeración no sea la adecuada y pueda calentarse generando daños del bobinado o de sus rodamientos.

- Elementos eléctricos de control:** dentro de estos se encuentran las perillas de encendido, los relés, botón de emergencia, pantalla táctil de control, borneras de conexiones, por el ambiente al que está expuesta la maquina se pueden presentar sulfatación en sus contactos y desajuste en los mismos ocasionando una mala operación de la máquina o daño en alguno de sus elementos. Estos elementos por el ambiente al que están expuestos pueden presentar sulfatación en sus contactos y desajuste en los mismos ocasionando una mala operación de la máquina o daño en alguno de sus elementos.

**Ilustración 4.** Equipo 2 de perforación mediante roto percusión

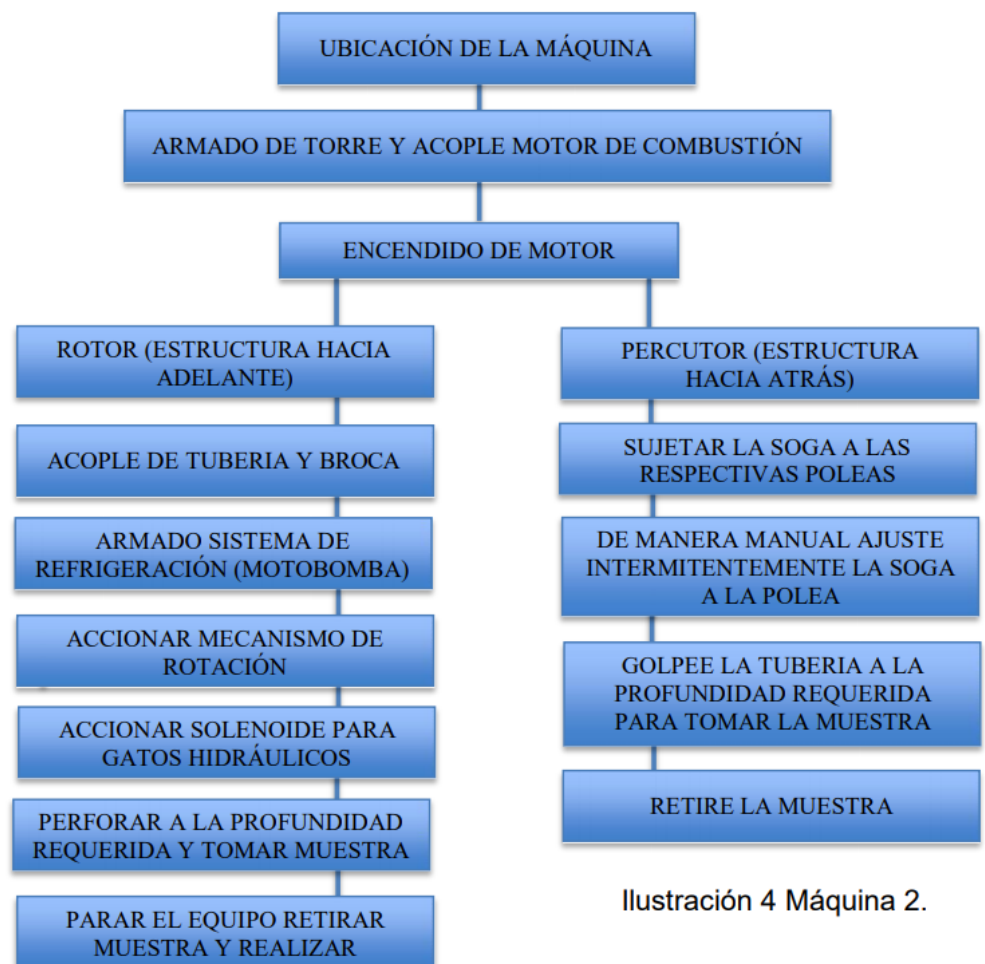


Ilustración 4 Máquina 2.

Fuente: Elaboración propia

Dentro de los sistemas más importantes para el funcionamiento de esta máquina encontramos el motor de combustión interna marco katsu Power de 13 hp, a la cual se le realiza el respectivo estudio y el dentro del cual se encuentran los siguientes elementos con sus respectivas fallas:

- **Motor de combustión interna:** es una máquina que obtiene energía mecánica aprovechando la energía química de un combustible, ya sea gasolina o ACPM, en la cámara de combustión. Al interior de la máquina y gracias a la cantidad de elementos en movimiento, se genera calor y fricción entre las mismas partes, es por eso que se debe chequear el estado del aceite de lubricación y el nivel del mismo para garantizar la cantidad adecuada en el momento de lubricar.

la falla en la lubricación por tiempo de uso excesivo sin el cambio de aceite requerido, el no controlar el nivel de este, puede generar graves daños al interior del motor.

- **Sistema de poleas correas:** son los elementos encargados de transmitir el movimiento al sistema tanto al sistema hidráulico como al sistema de rotación, estos elementos debido al trabajo y la fricción sufren desgaste, desalineación y distención de las correas, generando calentamiento y desmejora en la transmisión de la potencia a dicho sistema.

en este elemento podemos tener un daño en las correas por el mal ajuste o tensión de las mismas, y a su vez un gasto de material de la polea. Ocasionando perdida de potencia en la transmisión.

- **Filtro de aire:** este elemento ayuda a prevenir el desgaste mecánico o la contaminación del aceite del motor por el ingreso o admisión de partículas abrasivas al interior de este teniendo contacto con el cilindro y demás partes en movimiento. Así mismo dicho filtro con el tiempo y la operación presenta obstrucción generando pérdida en la calidad de la combustión por la generación una mezcla deficiente.

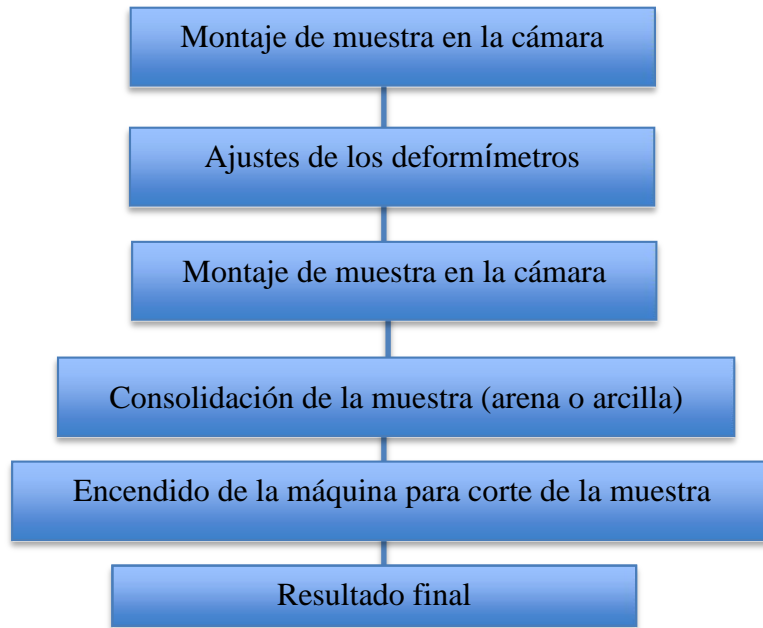
El filtro con el tiempo y la operación presenta obstrucción generando pérdida en la calidad de la combustión por la generación una mezcla deficiente.

- **Filtro de combustible:** este elemento es el encargado de retener y filtrar elementos contaminantes no deseados, buscando evitar que lleguen al sistema de combustible donde generarían daños graves al motor, protegiéndolo de partículas como polvo, humedad, oxido, ceras, alquitranes etc. los cuales están presentes en los combustibles ya sea ACPM o gasolina. Con este se garantiza el correcto funcionamiento del motor.

El filtro con el tiempo y la operación presenta obstrucción o rotura generando falla en la cantidad de combustible requerida para la combustión o paso de impurezas que lleguen afectar los internos del motor.

- **Sistema cadena piñones:** permiten la transmisión del motor reductor a la caja reductora, puede presentar daño en la cadena por la presencia de material abrasivo o corrosivo y por la falta de limpieza y lubricación de la misma. Se debe chequear la tensión de la misma.

**Ilustración 5.** Equipo 3: Equipo de corte directo



*Fuente: Elaboración propia*

Dentro de los componentes más importantes para el funcionamiento de esta máquina y sus posibles fallas tenemos:

- **Deformímetro o comparadores de caratula:** son instrumentos de medición que permiten medir superficies o piezas, su utilidad es brindar información adecuada acerca de las diferencias superficiales o deformaciones de ciertos objetos, estos pueden presentar medidas erróneas debido a la falta de calibración.
- **Cápsula o cámara de muestra:** es el compartimento donde se monta la muestra (arena o arcilla), allí se recibirá tanto la fuerza vertical para la consolidación de la muestra como la fuerza horizontal que será la que realizará el corte de la misma.

No puede presentar deformaciones o partículas de muestras anteriores pues esto permitiría resultados erróneos.

- **Caja reductora:** esta recibe el movimiento generado por el motor reductor para reducir aún más la velocidad de la muestra y aumentar el par de fuerza requerido para el corte de esta. Puede presentar elementos corrosivos en el sistema de transmisión junto con los rodamientos, afectando la lubricación y disminuyendo la vida útil de los mismos.

## 6.2 APLICAR LA MATRIZ FMECA

En esta etapa se aplica la matriz FMECA para cada uno de los equipos con el objetivo de describir los componentes, sus funciones, sus modos de falla, los efectos generados, las causas de las fallas, sus modos de detección.

**Tabla 1. FMECA Equipo 1: máquina para compresión de concreto un canal**

MAQUINA DE ENSAYO DE CONCRETO DE UN CANAL										
componente	función	falla potencial			modo de detección	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR	acciones recomendadas
		modo de falla	efecto de falla	causa de falla						
bobinas de válvulas solenoides	accionar la válvula solenoide para el paso o restricción de aceite	desajuste y desconexión de esta	oculto, genera operación anormal del equipo, equipo en mal funcionamiento	trabajo normal, falla de revisión y mantenimiento	inspección visual, mantenimiento y limpieza de la maquina	8 (equipo inoperable, pero a salvo) sistema inoperable	6 (este componente o uno similar ha tenido fallas ocasionales)	7 (el defecto es una característica fácilmente identificable)	336	inspección visual antes durante y después de la operación del equipo, limpieza y soplado semanalmente
		falla eléctrica, bobina abierta	oculto, operacional, genera falla del equipo, equipo inoperable	vida útil de la bobina, falla eléctrica	inspección visual, medida de temperatura	8 (equipo inoperable, pero a salvo) sistema inoperable	6 (este componente o uno similar ha tenido fallas ocasionales)	10 (la característica no se puede determinar fácilmente en el proceso)	480	cambio de bobina cuando se requiera
motor	accionar la bomba para elevar la presión del aceite	no arranca	operacional, equipo no funciona	falla eléctrica o falla de la bomba	medida de temperatura, inspección visual	8 (equipo inoperable, pero a salvo) sistema inoperable	3 (fallas aisladas asociadas con procesos similares)	7 (el defecto es una característica fácilmente identificable)	168	inspección visual durante la operación, realizar limpieza después de cada operación. Programar apriete de conexiones eléctricas cada tres meses
elementos eléctricos (variador de velocidad, accionadores, relés)	manejar el control eléctrico y electrónico de la maquina	desajuste de sus bornes y sulfatación	oculto, genera mala operación del equipo, o el equipo no opera	operación, uso y falta de mantenimiento	inspección y actividades de mantenimiento	8 (equipo inoperable, pero a salvo) sistema inoperable	5 (este componente o uno similar ha tenido fallas ocasionales)	9 (no es fácil detectar la falla por métodos usuales o pruebas de inspección. El defecto es una característica oculta o intermitente)	360	programar actividad de mantenimiento y realizar un ajuste en todos los bornes y conexiones eléctricas cada tres meses
elementos de medición, celdas de carga	medir los valores de fuerza al deformarse el concreto	valores de medición incorrectos	informe con resultados erróneos al cliente	falta de calibración de estos por mala operación	inspección visual en resultados	3 (poco efecto en el desempeño del sistema)	4 (este componente o similar ha tenido fallas ocasionales)	9 (no es fácil detectar las fallas por métodos usuales o pruebas de inspección, es una característica oculta e intermitente)	108	realizar calibración a los componentes cada 12 meses

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2. FMECA Equipo 2: Máquina de roto percusión**

MAQUINA DE ROTO PERCUSION										
componente	función	falta potencial			modo de detección	G	O	D	NPR	acciones recomendadas
		modo de falla	efecto de falla	causa de falla		gravedad	ocurrencia	detección		
MOTOR DE COMBUSTION INTERNA	generar el movimiento mecánico para accionar la bomba hidráulica y generar el movimiento de rotación	rotura de la línea de combustible al motor	motor no enciende	golpes en el transporte o abolladuras de este	inspección visual, mantenimiento y limpieza de la maquina	8 (equipo inoperable, pero a salvo) sistema inoperable	6 (este componente o uno similar ha tenido fallas ocasionales)	4(es muy probable detectar la falla, el defecto es una característica obvia)	192	inspección visual antes durante y después de la operación del equipo.
		daño interno,	oculto, operacional, genera falla del equipo, equipo inoperable	falla en la lubricación, mala lubricación, bajo nivel de aceite	inspección visual, ruido extraño, vibración anormal.	10 (efecto peligroso, seguridad relacionada, falla repentina)	3 (solo fallas aisladas asociadas con procesos similares)	10 (la característica no se puede determinar fácilmente en el proceso)	300	chequear el estado del aceite antes de la operación y realizar el cambio cada tres meses, verifique fugas, y verifique y apriete tuercas y tornillos
SISTEMA DE POLEAS CORREAS	transmitir el movimiento al eje del sistema hidráulico y sistema de rotación	desalineación y falta de tensión en las correas	perdida de potencia en la transmisión	operación, uso y falta de mantenimiento	inspección visual y actividades de mantenimiento	6 (el desempeño del equipo se ve afectado, pero es operable y está a salvo, sistema afectado).	6 (este componente o uno similar ha tenido fallas ocasionales)	4(es muy probable detectar la falla, el defecto es una característica obvia)	144	programar actividad de mantenimiento y tensionar las correas cada tres meses
FILTRO DE AIRE EN BAÑO DE ACEITE	prevenir el ingreso o admisión de partículas abrasivas al interior del motor	que presente daño en su estructura o demasiada suciedad	mala combustión y posible daño en los internos del motor	ingreso de partículas abrasivas al interior del motor o disminución de la cantidad de aire para la combustión	inspección visual	6 (el desempeño del equipo se ve afectado, pero es operable y está a salvo, sistema afectado).	6 (este componente o uno similar ha tenido fallas ocasionales)	4(es muy probable detectar la falla, el defecto es una característica obvia)	144	realizar inspección visual de nivel diariamente y realizar limpieza cada mes o cada 50 horas.
FILTRO DE COMBUSTIBLE	retener y filtrar elementos contaminantes no deseados	que presente daño en su estructura o demasiada suciedad	mala combustión y posible daño en los internos del motor	ingreso de partículas como polvo, humedad, oxido, ceras, alquitranes etc. los cuales están presentes en los combustibles ya sea ACPM o gasolina.	inspección visual	6 (el desempeño del equipo se ve afectado, pero es operable y está a salvo, sistema afectado).	6 (este componente o uno similar ha tenido fallas ocasionales)	4(es muy probable detectar la falla, el defecto es una característica obvia)	144	realizar limpieza cada 6 meses o 500 horas o cambiar cada año o cada 1000 horas
BATERIA	suministrar la energía eléctrica al motor para su arranque	conexión defectuosa, sulfatación en bornes o terminales, baja carga por desuso	no arranque del motor, perdida de potencia, mayor consumo de combustible	conexiones sueltas generando sulfatación en bornes, poco uso del equipo, temperaturas extremas,	inspección visual, chequeo de la batería	8 (equipo inoperable, pero a salvo) sistema inoperable	6 (este componente o uno similar ha tenido fallas ocasionales)	5(es muy probable detectar la falla, el defecto es una característica obvia)	240	revise mensualmente el líquido de la batería, inspeccione visualmente el ajuste de los bornes antes de la operación.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. FMECA Máquina 3: Equipo de corte directo**

MAQUINA DE CORTE DIRECTO										
componente	función	falla potencial			modo de detección	G	O	D	NPR G*O*D	acciones recomendadas
		modo de falla	efecto de falla	causa de falla		gravedad	ocurrencia	detección		
Deformímetro o comparadores de caratula	medir el movimiento o de corte tanto horizontal como vertical	Datos erróneos	resultados erróneos en las muestras	golpes, tiempo de uso, falta de calibración	visual, en la operación	1 (sin efecto)	5 (este componente o uno similar ha tenido fallas ocasionales)	7 (el defecto es una característica fácilmente identificable)	35	calibración periódica de acuerdo con el uso o manual del fabricante cada año
Capsula o cámara de muestra	consolidar la muestra de arena o arcilla	deformación por mal procedimiento	equipo inoperable, falla una pieza	mal procedimiento de operación	visual, en la operación	8 (equipo inoperable, pero a salvo) sistema inoperable	2 (solo fallas aisladas asociadas con este componente o con uno casi idéntico)	7 (el defecto es una característica fácilmente identificable)	112	cambio o sustitución de la pieza, capacitación del operador
Caja reductora	transmitir el movimiento al pistón de empuje	falla en rodamientos o engranajes	equipo inoperable, falla una pieza	falla en la lubricación	inspección periódica	8 (equipo inoperable, pero a salvo) sistema inoperable	3 (fallas aisladas asociadas con procesos similares)	9 (no es fácil detectar la falla por métodos usuales o pruebas de inspección. El defecto es una característica oculta o intermitente)	216	programar actividad de mantenimiento, lubricación con grasa periódicamente
Sistema cadena piñones	transmitir el movimiento del motor reductor a la caja reductora	desgaste de piñones y cadena	baja potencia de transmisión, daño de piñones	desajuste de la cadena, falta de limpieza y lubricación a piñones y cadena	visual, en la operación	8 (equipo inoperable, pero a salvo) sistema inoperable	2 (solo fallas aisladas asociadas con este componente o con uno casi idéntico)	7 (el defecto es una característica fácilmente identificable)	128	realizar limpieza y lubricación con ACPM según el fabricante cada 15 días

Fuente: Elaboración propia

### **6.3 MEDIR EL NPR**

con los valores arrojados en cada ítem de acuerdo con la matriz FMECA, teniendo en cuenta la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la efectividad de la forma de detección y establecer las tareas o acciones recomendadas que se deben programar para prevenir o mitigar las fallas. Estos valores de NPR para cada equipo están calculados en las tablas 1, 2 y 3 relacionadas con la matriz FMECA.

### **6.4 DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO**

Diseñar con base en la información obtenida en cada matriz FMECA, teniendo en cuenta los valores del número de prioridad del riesgo y sus acciones recomendadas el plan de mantenimiento preventivo para cada uno de los equipos.


El plan de mantenimiento se diseñó con actividades semanales, trimestrales y anuales, cada una de ellas se diferencia por colores como se visualiza en la tabla. Cada color es una tarea diferente. Estas tareas son el resultado de la información recopilada en el manual del fabricante, en los eventos de las maquinas ya sucedidos y en las recomendaciones del operador y del gerente de la empresa.

**Tabla 4.** Mantenimiento Equipo 1: Máquina para compresión de concreto un canal

	plan de mantenimiento preventivo																											
Sistema de Gestión de Mantenimiento Arinco Estudios SAS														Elaborado por Néstor Hernández														
MAQUINA PARA COMPRESION DE CONCRETO																												
Actividades /semestrales	primer semestre																											
	julio				agosto				septiembre				octubre				noviembre				diciembre							
Actividades/ Mensuales	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Actividades/ Semanales	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
bobinas de válvulas solenoides inspección visual, realizar limpieza y soplado del equipo																												
motor eléctrico reapriete de conexiones eléctricas																												
realizar un ajuste en todos los bornes y conexiones eléctricas cada tres meses																												
realizar calibración a los componentes de medición																												


Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.** Mantenimiento Equipo 2: Máquina de roto percusión

		plan de mantenimiento preventivo																															
		Sistema de Gestión de Mantenimiento Arinco Estudios SAS														Elaborado por Néstor Hernández																	
MAQUINA DE ROTO PERCUSION																																	
Actividades /semestrales		primer semestre																															
Actividades/ Mensuales		julio				agosto				septiembre				octubre				noviembre				diciembre											
Actividades/ Semanales		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
inspección visual antes durante y después de la operación del equipo.																																	
chequear el estado del aceite del motor antes de la operación y realizar el cambio cada tres meses, o cada 100 horas, verifique fugas, y verifique y apriete tuercas y tornillos																																	
programar actividad de mantenimiento y tensionar las correas cada tres meses																																	
filtro de aire en aceite, realizar inspección visual de nivel diariamente y realizar limpieza cada mes o cada 50 horas.																																	
filtro de combustible, realizar limpieza cada 6 meses o 500 horas o cambiar cada año o cada 1000 horas																																	
revise mensualmente el líquido de la batería, inspeccione visualmente el ajuste de los bornes antes de la operación.																																	

Fuente: *Elaboración Propia*

**Tabla 6. Mantenimiento Equipo 3: Equipo de corte directo**

		plan de mantenimiento preventivo																											
		Sistema de Gestión de Mantenimiento Arinco Estudios SAS														Elaborado por Néstor Hernández													
MAQUINA DE CORTE DIRECTO																													
Actividades /semestrales	primer semestre																												
	julio				agosto				septiembre				octubre				noviembre				diciembre								
Actividades/ Mensuales	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Actividades/ Semanales	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
deformímetros, calibración periódica de acuerdo al uso o manual del fabricante cada año																													
realizar limpieza de la cámara de consolidación en cada uso reentrenar al operador cada 6 meses																													
caja reductora, revisión del estado de la grasa y cambio de la misma cada 6 meses																													
sistema piñones cadena, realizar limpieza y lubricación con ACPM según el fabricante cada mes																													

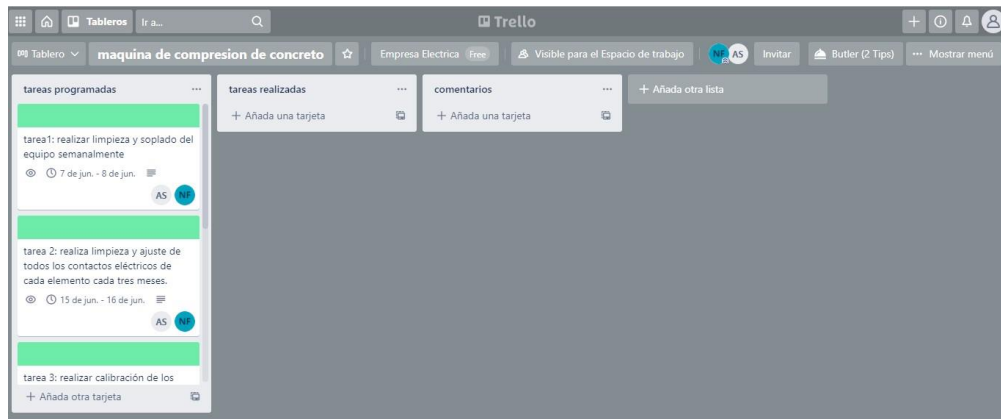
Fuente: *Elaboración Propia*

## 6.5 CONFIGURAR LOS TABLEROS DE LA HERRAMIENTA TRELLO

Para cada uno de los equipos, se crea un tablero en la herramienta Trello con la información requerida para el desarrollo del plan de mantenimiento como: código del equipo, fecha de realización, tareas recomendadas, responsables, recursos y tiempos definidos.

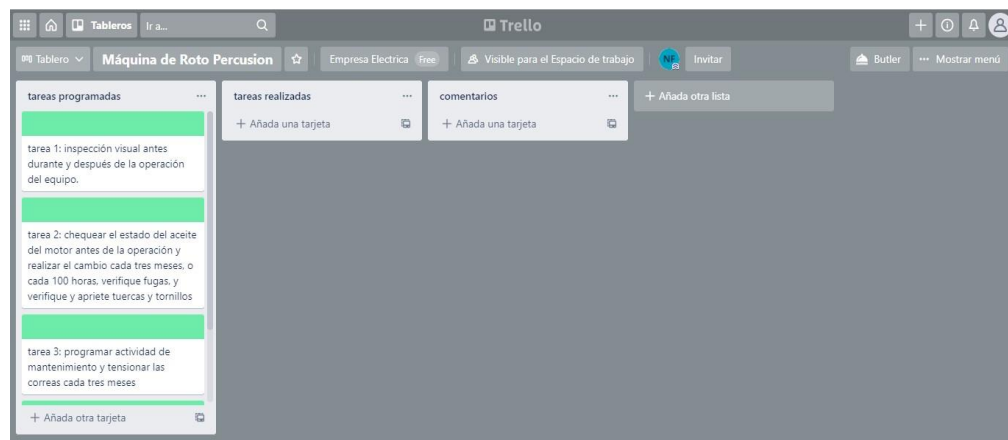
A continuación, se muestran los tableros en Trello por cada una de las máquinas funcionales trabajadas.

**Tabla 7. Programación Equipo 1: Máquina para compresión de concreto un canal**



*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 8. Programación Equipo 2: Máquina de roto percusión**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 9.** Programación Máquina 3: Equipo de corte directo

*Fuente: Elaboración propia*

## 6.6 REALIZACIÓN DEL PILOTAJE DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Después de realizar la configuración de cada una de las actividades del plan de mantenimiento en los tableros Trello, por cada máquina funcional. Se reunió al equipo de mantenimiento compuesto por dos operadores de la máquina, un laboratorista y el gerente de la empresa, en donde se dio a conocer el plan de mantenimiento y la funcionalidad de la herramienta Trello.

En la primera parte de la reunión se socializo el plan de mantenimiento de cada una de las maquinas, allí el equipo expreso las inquietudes acerca de las tareas propuestas y se realizaron ajustes a las mismas. Seguidamente se explica como la herramienta Trello recuerda a través del correo electrónico del gerente y de la empresa al cual tienen acceso los operadores y el laboratorista, las tareas que tienen bajo responsabilidad, y la fecha en que se deben realizar y que las evidencias de las tareas que se van ejecutando se deben documentar, también se les hizo saber que todo el equipo puede ir monitoreando las tareas de mantenimiento y el gerente puede tener una mejor visualización del estado de las máquinas funcionales y tomar decisiones que contribuyan a una mejora continua

en el proceso.

A partir de esta reunión se empezó a ejecutar el plan de mantenimiento en ARINCO ESTUDIO SAS, el operador comenzó a documentar las tareas realizadas y el gerente en su correo electrónico evidencia el trabajo realizado a cada máquina funcional.

De acuerdo con el seguimiento realizado al plan propuesto para la máquina de concreto, se observó que realizar la tarea de ajuste de bobinas y limpieza y soplado del equipo se podía realizar, cada quince días, y no cada 8 días, como se planteó inicialmente, esta determinación se obtiene de analizar el estado de los componentes y del grado de limpieza en los que se encontró el equipo cada vez que se realizaba la tarea. El plan para este equipo quedo así:

**Tabla 10. Programación actualizada Máquina 1.**

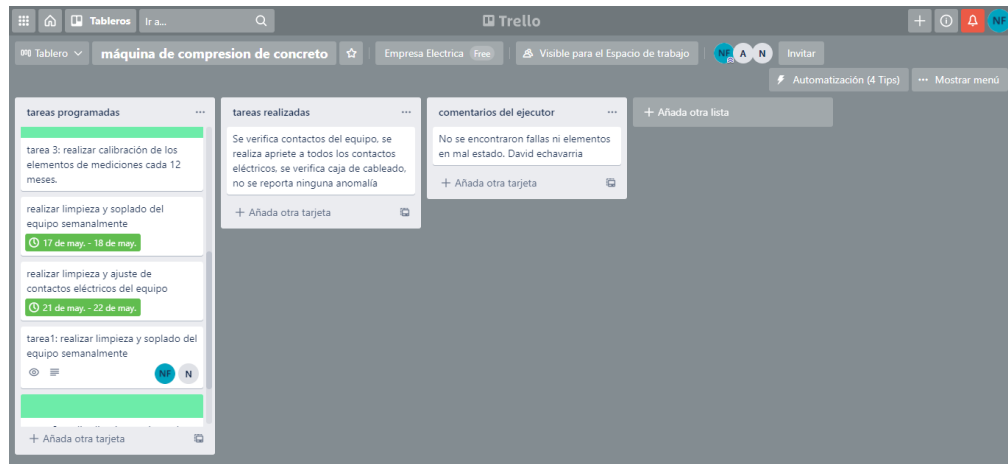
	plan de mantenimiento preventivo																											
	Sistema de Gestion de Mantenimiento Arinco Estudios SAS														Elaborado por Nestor Hernandez													
MAQUINA PARA COMPRESION DE CONCRETO																												
Actividades /semestrales	primer semestre																											
Actividades/ Mensuales	julio				agosto				septiembre				octubre				noviembre				diciembre							
Actividades/ Semanales	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
bobinas de valvulas solenoides inspeccion visual , realizar limpieza y soplado del equipo	█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█	
motor electrico reapriete de conexiones electricas	█														█													
realizar un ajuste en todos los bornes y conexiones electricas cada tres meses			█																█									
realizar calibracion a los componentes de medicion	█																											

*Fuente: Elaboración Propia.*

Dichas tareas realizadas y los comentarios se documentan en la herramienta, y estas pueden ser cambiadas o reformadas solo por la persona que ingreso la información.

A continuación, se observan fotografías de los trabajos realizados hasta la fecha,

**Tabla 11.** Tareas documentadas por el operador



*Fuente: Elaboración Propia.*

Finalmente, a medida que se avanza en el plan de mantenimiento se pueden ir ajustando tareas, tiempos y responsables, además de que estas tareas al ser ejecutadas y documentadas en Trello por el operador, permite a todos los miembros del equipo conocer el estado de las maquinas en tiempo real y una visualización desde cualquier sitio ya que la herramienta tiene la ventaja de ser ágil, amigable con el usuario y fácil de usar.

## 7 CONCLUSIONES

La metodología FMECA es una herramienta extraordinaria y sencilla de manejar que permite conocer en detalle los equipos de una organización, ayuda en la recopilación de datos en los equipos y esta información ayuda a su vez para el diseño de la hoja de vida de estos.

Durante la ejecución del proyecto se observó que los eventos ocurridos en las maquinas, los cuales llevaron a un paro de estas, y a generar retraso en la entrega de los resultados por los fallos presentados por algunos componentes, se hubieran evitado con la implementación de tareas de mantenimiento en cada una de ellas. Se pudo demostrar a la gerencia que las fallas ocurridas anteriormente y que generaron paros en los equipos por horas valiosas para la empresa, pueden evitarse si se realizan unas buenas actividades de mantenimiento preventivo.

Por otra parte, se observa también la necesidad urgente de implementar estas tareas en estos equipos que debido al tiempo de operación se encontraron componentes entrando en un estado de posible falla.

Conocer el manual de fabricante es de vital importancia para conservar la vida útil de los equipos, muchas veces las recomendaciones de este no son tenidas en cuenta, se piensa solamente en la producción y el trabajo que este debe generar, ocasionando gastos y daños mayores y la disminución de la vida productiva.

## 8 RECOMENDACIONES

Después del desarrollo de este proyecto se tienen algunas recomendaciones como son:

- Invertir en la optimización de la operación de la máquina de percusión para garantizar la seguridad de los operarios, se observa un alto riesgo de accidente por la manera de operar la máquina.
- Extender el plan de mantenimiento preventivo a los demás equipos de la empresa, en otras sucursales donde se observó durante el desarrollo de este proyecto la falta de actividades de mantenimiento.
- Incorporar en la empresa personal de confianza para la intervención de estos equipos para la ejecución de las actividades de mantenimiento.
- Solicitar al fabricante de cada equipo como mínimo el manual de operación y mantenimiento y seguir sus recomendaciones.

## BIBLIOGRAFIA

- ALBERTOS CARRERA, Miguel Ángel. El mantenimiento industrial desde la experiencia. España: Universidad de Valladolid, 2015. 144 p. ISBN 978-84-8448-840-8.
- ARY, J. (2018). NORMA AFNOR NF X 60 010. [Consultado en Octubre 2020] Disponible en: [https://www.academia.edu/9553128/NORMA\\_AFNOR\\_NF\\_X\\_60\\_010](https://www.academia.edu/9553128/NORMA_AFNOR_NF_X_60_010)
- CABEZA MANRIQUE, Jaime Alonso y PADILLA MULFORD, Sergio Andrés. Diseño de un plan para mejorar la confiabilidad de los equipos críticos de la empresa Inser Ltda. mediante la metodología FMECA y RCA. Trabajo de grado Producción y Calidad. Cartagena: Universidad Tecnológica de Bolívar. Especialización en Gerencia de Producción y Calidad, 2010. 145p.
- CAMPELL John Dixon, DUFFUAA Salh O y RAOUF A.. Sistemas de mantenimiento. Planeación y control. Mexico: Limusa editores, 2000. pp 120-410.
- CONCEPCION DIAZ, Armando, et al. Formulacion de un nuevo concepto de confiabilidad operacional. Ingeniare. Rev. chil. ing. [online]. 2021, vol.29, n.1, pp.87-93. [Consultado en septiembre 2020]. ISSN 0718-3305. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000100087>.
- CORDERO, OSCAR, y ESTUPIÑAN, EDGAR. Propuesta de optimizacion del mantenimiento de planta minera de cobre ministro haes, mediante análisis de confiabilidad, utilizando la metodologia FMECA. Chile:Universidad de Tarapacá, 2018. [Consultado septiembre 2020] Disponible Inv. Y Des. [online]. 2018, vol.18, pp 129-142. ISSN 1814-6333 [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2518-44312018000100011&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2518-44312018000100011&script=sci_abstract).
- COVENIN (1993) Normas Técnicas Industriales (COVENIN 3049-93). Mantenimiento. Definiciones. Caracas, 1993. 20p
- DEFENSE DEPARTMENT, USA. Military Standard: Definitions of terms for reliability and

maintainability. Washington: Department of Defense,1981. pp 6-18.

EMB GRUPO EDITORIAL Y COMUNICACIONES. Revista Electro Industria Soluciones Tecnológicas para Minería, Energía e Industria: ¿Cómo funciona una valvula solenoide? Revista electrónica [En Línea]. Chile 2019. [Consultado septiembre 2020] pp 28-29.ISSN 0718-3445 Disponible en: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3514&ni=como-funciona-una-valvula-solenoide>

ESSAY BY RUTH A. Project Management. Nueva York: Salem Press Encyclopedia [online]. 2019. [Consultado julio 2020] Disponible en: <https://online.salempress.com/home.do>.

GARCIA, OLIVERIO. Gestión moderna del mantenimiento industrial. Principios fundamentales. Bogota: Ediciones de la U,2012. pp 120-145 ISBN 2013.9789587620511.

GARCIA,SANTIAGO. Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Diaz de Santos, 2003. pp 180-300 ISBN: 9788479785482.

ISO 14224. Industrias del petroleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. Madrid: AENOR, 2016. [Consultado julio 2020]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14224:en>.

JIMÉNEZ RAYA, FERNANDO. Mantenimiento preventivo de sistemas de automatización industrial. Málaga: Ic Editorial, 2015. 290p.ISBN: 978-84-16629-24-4.

MEDRANO MÁRQUEZ, JOSÉ ÁNGEL, et al. Mantenimiento: Técnicas y aplicaciones industriales. Mexico : Grupo Editorial Patria, 2017. ISBN 9786077444947.

MOUBRAY, JOHNN MITCHELL. Mantenimiento centrado en confiabilidad. RCM Reliability Centered Maintenance - Industrial Press Inc [Libro] / ed. Biddles Limited Guilford and Rob Lockhart / trad. Ellman Sueiro y Asociados - Argentina. - Leicestershire : Aladon Limited, 2004. - Primera en castellano : pág. 433. ISBN 09539603-2-3.0.

RAMÍREZ, MARGARITA, et al. Metodología SCRUM y desarrollo de Repositorio Digital. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información [En Línea] Brasil:Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informacao, 2019. No E17,

[Consultado en Octubre 2020] p.1062-1072. Disponible en:  
[https://scholar.google.com.mx/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=es&user=\\_MPc2p8AAAAJ&citation\\_for\\_view=\\_MPc2p8AAAAJ:blknAaTinKkC](https://scholar.google.com.mx/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=_MPc2p8AAAAJ&citation_for_view=_MPc2p8AAAAJ:blknAaTinKkC).

TAVARES, LOURIVAL AUGUSTO. Administración moderna de mantenimiento. Brasil: Novo Polo Publicações, 1999. 158p9.

TRIGÁS GALLEGO, MANUEL. Metodología scrum, gestión de proyectos informáticos. 2012. [En línea] Disponible en:  
<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/17885/1/mtrigasTFC0612memoria.pdf>.