

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICANDO EL ANÁLISIS MODAL
DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10

HÉCTOR ENRIQUE TORRES TAMAYO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2022

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICANDO EL ANÁLISIS MODAL
DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10

HÉCTOR ENRIQUE TORRES TAMAYO

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: Xavier Orlando Rodríguez Quiñonez
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2022

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 26 de Mayo de 2022

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer ante todo a Dios padre todo poderoso, por ofrecerme la fortaleza y sabiduría, para finalizar este trabajo de investigación.

A mis padres José Orlando Torres Barreto y Euvina Tamayo Calderón, por el cariño, afecto, dedicación siempre apoyándome en los momentos difíciles.

Al Ing. Xavier Rodríguez, director de proyecto, por su admirable guía y asesoramiento al desarrollo de la misma.

Muy agradecido en conjunto a todos los colaboradores que contribuyeron en la elaboración de esta monografía.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	4
2 OBJETIVOS.....	6
2.1 OBJETIVO GENERAL	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	7
3.2 FUNDAMENTACION DEL PROBLEMA	7
4 GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	9
4.1 SIAM INGENIERÍA S.A.S	9
4.1.1 Misión.....	9
4.1.2 Visión.	9
4.1.3 Norma integrada de dirección.	9
4.1.4 Virtudes colectivas.	10
4.1.4.1 Respeto.....	10
4.1.4.2 Responsabilidad.	11
4.1.4.3 Compromiso.....	11
4.1.4.4 Pasión.	11
4.1.5 Reseña histórica.	11
4.1.6 Organigrama.	12
5 MARCO TEÓRICO	13
5.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO	13
5.2 CRONOLOGÍA Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	13

5.3 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO	16
5.4 CLASES DE MANTENIMIENTO	16
5.4.1 Mantenimiento correctivo.....	17
5.4.2 Mantenimiento preventivo.....	18
5.4.2.1 Verificaciones visuales.....	19
5.4.2.2 Evaluar condiciones de temperatura.....	19
5.4.2.3 Lubricación.....	20
5.4.2.4 Evaluación de vibraciones.....	20
5.4.2.5 Sustitución de repuestos.....	20
5.4.2.6 Seguimiento de actividades y repuestos.....	20
5.4.2.7 Rutina de aprietes.....	21
5.4.3 Mantenimiento predictivo.....	21
5.4.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad.....	21
5.4.5 Mantenimiento productivo total.....	22
5.5 MUESTREADOR AMBIENTAL DE ELEVADA CAPACIDAD.....	23
5.5.1 Características.....	23
5.5.2 Tipo de motores.....	24
5.5.2.1 Motores con escobillas.....	25
5.5.2.2 Motor sin escobillas.....	26
5.5.3 Temporizador.....	26
5.5.3.1 Temporizador mecánico.....	27
5.5.3.2 Temporizador digital.....	28
5.5.4 Controlador de flujo.....	30
5.5.4.1 Control de flujo másico.....	30
5.5.4.2 Control de flujo volumétrico.....	31
5.5.5 Indicador de tiempo transcurrido.....	32
5.5.6 Carcasa exterior aluminio.....	32
5.5.7 Registrador de presión.....	33
6. ANÁLISIS DE MODO DE FALLA Y EFECTO	35

6.1 DEFINIR LA FUNCIÓN.....	35
6.1.1 Funciones primarias.....	35
6.1.2 Funciones secundarias.....	36
6.2 PATRONES DE FUNCIONAMIENTO.....	36
6.3 ENTORNO OPERACIONAL.....	38
6.4 FALLAS FUNCIONALES.....	38
6.4.1 Falla general y particular.....	40
6.4.2 Límite mayor y menor.....	40
6.4.3 Instrumentos de medición e indicadores.....	40
6.4.4 El contexto operacional.....	40
6.5 MODO DE FALLA.....	40
6.5.1 Capacidad decreciente.....	41
6.5.2 Aumento del funcionamiento esperado.....	42
6.5.3 Capacidad inicial.....	43
6.6 EFECTOS DE FALLA.....	44
6.7 CAUSAS DE FALLA.....	45
6.8 ESTABLECER LOS ÍNDICES DE EVALUACIÓN.....	45
6.8.1 Índice de severidad.....	45
6.8.2 Índice de ocurrencia.....	48
6.8.3 Índice de detección.....	49
6.9 ESTIMAR EL ÍNDICE DE PRIORIDAD DE RIESGO NPR PARA CADA MODO DE FALLA.....	50
7. FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA TÁCTICA AMFE.....	52
7.1 ANÁLISIS DEL ESTADO DEL MANTENIMIENTO ACTUAL.....	53
7.2 DIAGNÓSTICO E INVENTARIO DE EQUIPOS.....	54
7.3 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO MUESTREADOR ELEVADA CAPACIDAD PM10.....	60

7.4 APLICACIÓN LA TÁCTICA ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS PARA EQUIPOS MAMFE EQUIPOS PM10	62
7.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	62
8. CONCLUSIONES	64
9. RECOMENDACIONES.....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	66
Anexo A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10.....	67
ANEXO A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10.....	68
ANEXO A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10.....	69
ANEXO A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10.....	70
ANEXO A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10.....	71
ANEXO A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10.....	72
ANEXO A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10.....	73
Anexo B. INSTRUCTIVO PARA EL CAMBIO DE ESCOBILLAS AL MONTAJE MOTOR-VENTILADOR	74
Anexo C. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MUESTREADORES AMBIENTALES PM10	78

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. MAMFE enfocada a muestreadores ambientales PM10	67
Cuadro 1. (Continuación).....	68
Cuadro 1. (Continuación).....	69
Cuadro 1. (Continuación).....	70
Cuadro 1. (Continuación).....	71
Cuadro 1. (Continuación).....	72
Cuadro 1. (Continuación).....	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Organigrama SIAM INGENIERÍA S.A.S	12
Figura 2. Cronología del mantenimiento	15
Figura 3. Muestreador ambiental TE-6070 Tisch Environmental	24
Figura 4. Motor eléctrico de 110 voltios de corriente alterna con escobillas y ventilador	25
Figura 5. Motor eléctrico sin escobillas	26
Figura 6. Temporizador mecánico de 7 días Tisch Environmental	28
Figura 7. Temporizador electrónico semanal de la marca EXCELITE	29
Figura 8. Controlador de flujo másico	30
Figura 9. Controlador de flujo volumétrico	31
Figura 10. Indicador de tiempo transcurrido	32
Figura 11. Estructura exterior muestreador ambiental PM10.....	33
Figura 12. Registrador gráfico de presión Dickson TE-5009	34
Figura 13. Margen de deterioro.....	37
Figura 14. Capacidad decreciente	42
Figura 15. Aumento del funcionamiento esperado.....	43
Figura 16. Capacidad inicial.....	44
Figura 17. Metodología empleada	53
Figura 18. Diagrama de funcionamiento muestreador de partículas PM10	61

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Criterios para clasificar la gravedad (S) en un MAMFE	46
Tabla 2. Criterios para clasificar la ocurrencia (O) en un MAMFE	48
Tabla 3. Criterios para clasificar la detección (D) en un MAMFE.....	49
Tabla 4. Inventario de equipos.....	56

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10.....	67
Anexo B. INSTRUCTIVO PARA EL CAMBIO DE ESCOBILLAS AL MONTAJE MOTOR-VENTILADOR	74
Anexo C. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MUESTREADORES AMBIENTALES PM10	78

GLOSARIO

CAMARA DE IMPACTACIÓN: Dispositivo mecánico compuesto por dos etapas; superior e inferior de un plato con tubos de ventilación excéntricos, su función principal es dejar circular partículas de un grosor de 10 μ m.

CAUSA DE FALLA: Registro del motivo de origen asociado a cada modo de falla.

COMPONENTE: Son elementos indispensables que pertenecen a un sistema.

DISPONIBILIDAD: Es el tiempo útil a fin de fabricar un producto o prestar un servicio dividido en el tiempo absoluto de parada.

EFECTO DE FALLA: Especifican que acontece en el momento que tiene lugar un modo de falla.

EFICIENCIA: Conexión presente entre los recursos que son invertidos en un proyecto y las ganancias que se producen por medio de este.

FALLA: Hechos fortuitos que conllevan el mal desempeño o la interrupción en las funciones de los equipos.

FILTRO: Dispositivo a través del cual se hace pasar un flujo de aire para retener partículas de un grosor de 10 μ m.

FILTRO DE AIRE: La función principal de este elemento es la de contener partículas de un tamaño de 10 μ m que ingresan a la cámara de impactación por el flujo de aire suministrado por el motor-ventilador.

MODO DE FALLA: Algún acontecimiento en cual origina una falla funcional.

SISTEMA: Conexión de componentes de forma sistematizada, formados para desempeñar una función específica.

SUBSISTEMA: Agrupación de componentes interrelacionados que, propiamente dicho, es un sistema, sin embargo a la vez es parte de un sistema superior.

RESUMEN

TITULO: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICANDO EL ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10*

AUTHOR: HÉCTOR ENRIQUE TORRES TAMAYO**

PALABRAS CLAVE: MANTENIMIENTO, ANALISIS DE FALLOS, MUESTREADORES AMBIENTALES

DESCRIPCIÓN:

Uno de los principales equipos para el estudio de la calidad del aire son los muestreadores ambientales PM10, estos equipos solo filtran partículas con un tamaño de 10 μ m, que posteriormente son analizadas y pesadas en el laboratorio para determinar el nivel de concentración de partículas en el medio.

La operación de estos equipos se puede ver afectada por la falta de mantenimiento o fallas no previstas en alguna de sus partes; por esta razón se hace necesario diseñar e implementar estrategias de mantenimiento preventivo que permitan la normal operación de estos equipos y evitar las afectaciones comerciales o contractuales que su inactividad pueda provocar.

Esta monografía de especialización recorre los criterios para realizar un análisis de falla y sus efectos, además de diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los muestreadores ambientales PM10 haciendo uso de la táctica MAMFE, para garantizar sus condiciones básicas de operación.

*Monografía de Especialización

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Xavier Orlando Rodríguez Quiñonez

SUMARY

RESUMEN

TITLE: PREVENTIVE MAINTENANCE PROGRAM APPLYING MODAL ANALYSIS OF FAILURES AND EFFECTS FOCUSED ON ENVIRONMENTAL SAMPLERS PM10*

AUTHOR: HÉCTOR ENRIQUE TORRES TAMAYO**

KEYWORDS: MAINTENANCE, FAILURE ANALYSIS, ENVIRONMENTAL SAMPLERS

DESCRIPTION :

One of the equipment used for the study of air quality is the PM10 environmental sampler, this equipment filters particles with a size of 10µm, which are then analyzed and weighed in the laboratory to determine the concentration level of particles in the medium.

The operation of this equipment can be affected by the lack of maintenance or failures not foreseen in any of its parts; for this reason, it is necessary to design and implement preventive maintenance strategies that allow the normal operation of this equipment and avoid the commercial or contractual effects that its inactivity may cause.

This specialization monograph covers the criteria for performing a failure analysis and its effects, in addition to designing a preventive maintenance plan for PM10 environmental samplers using the MAMFE tactic, to guarantee their basic operating conditions.

*Specialization Monograph

**Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Eng. Xavier Orlando Rodríguez Quiñonez

INTRODUCCIÓN

A lo mejor una de las cosas que más perjudica de manera negativa el rendimiento de las industrias, son los tiempos de inactividad de sus procesos, que se alcanzan por diferentes motivos, en particular se logra enfatizar por el acontecimiento de pérdida de funciones de los equipos. Estas paradas originan unos tiempos inactivos que originan disminución de la rentabilidad de la empresa, asimismo impactan en la moral del personal y ambiente laboral. Por tanto, se torna esencial el poder contar con estrategias de mantenimiento que amplíen los tiempos de producción de los equipos y que prolonguen un buen rendimiento de los mismos, encaminándose a evitar la manifestación de estas fallas o de no ser posible, a reducir sus efectos negativos, igualmente de conservar los estándares de calidad, seguridad, tiempos y eficiencia de los mismos.

Actualmente se emplean varios modelos de mantenimiento, dentro de estos modelos podemos destacar: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo basado en condición, mantenimiento centrado en confiabilidad, y mantenimiento productivo total. Solo se debe determinar la estrategia de mantenimiento adecuada para implementar a cada uno de los activos que posee la organización, pues cada una de ellas requiere cierto tipo de mantenimiento que se adapta al proceso productivo. Para esto existe una diversidad de criterios apoyados en la experiencia, estadísticos, sugerencia de los fabricantes, entre otros. Aunque, hoy en día, una de las fundamentales técnicas de análisis para establecer las actividades de mantenimiento más efectivas apoyándose en las causas y consecuencias de las fallas potenciales que logran aparecer en los equipos, es conocida como análisis modal de fallos y efectos enfocada a equipos MAMFE, y es hacia la cual se centrará esta monografía.

Uno de los principales equipos a fin de realizar un estudio de la condición del aire son los muestreadores ambientales PM10, este equipo solo filtra partículas con un tamaño de 10µm, que posteriormente son analizadas y pesadas en el laboratorio a fin de especificar el grado de concentración de partículas en el medio.

En seguida se muestra el desarrollo del marco contextual en el que se quiere delinear los criterios para fomentar un programa de mantenimiento preventivo para los muestreadores ambientales PM10, haciendo uso de la táctica MAMFE, para generar un esquema de mantenimiento preventivo en dirección a garantizar las condiciones básicas de operación de los muestreadores ambientales PM10 y mantener un tiempo de operación óptimo de los equipos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Formular la distribución del programa de mantenimiento preventivo enfocado a muestreadores ambientales PM10 de la empresa SIAM INGENIERÍA S.A.S, fundamentado en la táctica AMFE para garantizar las condiciones básicas de operación.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Plantear y entregar un plan PM, basado en el número de prioridad de riesgo RPN más críticos a fin de minimizar o eliminar los modos de falla de mayor riesgo.
- Diseñar un procedimiento para el cambio de escobillas del motor-ventilador, apoyado en las recomendaciones del fabricante para asegurar el correcto funcionamiento del mismo.

3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La entidad a que se intenta ofrecer el trabajo de investigación surgió de una iniciativa de una agrupación de ingenieros como una sociedad familiar llamada SIAM INGENIERÍA S.A.S, 23 de Mayo de 2012, brindando un portafolio de servicios de monitoreo y asesoría ambiental. En 2015 obtuvo certificado para pertenecer ante IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) la competencia de laboratorio de ensayos y calibración.

En dirección a asegurar su portafolio de servicios de monitoreo ambiental, la organización requiere una disponibilidad de sus equipos PM10 para satisfacer a sus clientes corporativos con calidad dentro de los cronogramas de monitoreo ambiental establecidos por el cliente.

Actualmente la organización tiene un programa básico de PM, falta de procedimientos de mantenimiento estandarizados para los muestreadores de partículas PM10, apoyándose netamente en mantenimiento correctivo, ocasionando así un alto costo de mantenimiento, retrasos, transporte inadecuado de repuestos, incumpliendo cronogramas de los clientes.

Esta monografía propone un mantenimiento preventivo enfocado en los índices de prioridad más altos que afectan el contexto operacional de los equipos PM10, garantizando las condiciones básicas de funcionamiento, además minimizar las frecuencias de falla, mejorando la calidad en los servicios de monitoreo ambiental para aumentar la rentabilidad de la organización. La implementación de herramientas como procedimientos estandarizados para el cambio de las escobillas del motor-ventilador facilitara al técnico de mantenimiento realizar esta actividad con seguridad, agilidad y garantizara las condiciones básicas del equipo en operación en el tiempo.

3.2 FUNDAMENTACION DEL PROBLEMA

La presente monografía busca colocar en práctica los diferentes conceptos y metodologías adquiridas en la especialización en gerencia de mantenimiento, implementando actividades de MP con la ayuda de la táctica AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos) enfocada a muestreadores ambientales PM10 de la organización SIAM INGENIERÍA S.A.S.

Para la ejecución de esta monografía se realizarán visitas a las instalaciones de la organización con el fin de recopilar información de los equipos, como registros de

mantenimiento y fotográfico, la forma de cómo se está ejecutando el mantenimiento actual.

Con base a la información suministrada por la organización del mantenimiento de los equipos muestreadores de aire modelo PM10, se analizara para identificar los modos de fallas de mayor índice de prioridad que impactan en el contexto operacional del equipo.

Se aplica la táctica AMFE, para cada sistema que integra los equipos PM10, para priorizar las actividades de manutención del activo, enfocándose en el programa de MP con rutinas de mantenimiento programadas, procedimiento para el cambio de escobillas del motor-ventilador, para minimizar la frecuencia de fallas, garantizar los requisitos básicos de intervención de los equipos y de esta manera contribuir que la organización se posicione como una de las mejores empresas en consultoría ambiental.

4 GENERALIDADES DE LA EMPRESA

4.1 SIAM INGENIERÍA S.A.S

SIAM INGENIERÍA S.A.S con NIT 900525359-7, es una sociedad por acciones simplificadas S.A.S, que suministra apoyo técnico en materia ambiental en varias divisiones industriales, análisis de distintos patrones ambientales con instrumentación y software proyectado para evaluar y pronosticar la huella ambiental establecida en los estándares nacionales e internacionales de calidad que contribuyen a concluir su plan estratégico de producción.

4.1.1 Misión. SIAM INGENIERÍA S.A.S entidad que ofrece labores de asistencia en la parte ambiental, programada y elaborada dentro del modelo de calidad, responsablemente con el progreso favorable del mercado ambiental, contamos con activos tecnológicos y métodos establecidos en el reglamento legal actual, a fin de cumplir las exigencias sobre nuestros clientes.

4.1.2 Visión. En el 2025 SIAM INGENIERÍA S.A.S formara parte de una organización competente, en captura de muestras, estudios para determinar material particulado en el aire y análisis de ruido, con autoridad y satisfacción a nivel de Colombia. Dispondrá con una estructura de gestión acreditado; concentrándose en la mejora continua de sus procesos, la seguridad y salud de sus empleados, ofreciendo consultoría ambiental.

4.1.3 Norma integrada de dirección. SIAM INGENIERÍA S.A.S dentro de la vinculación de sus clientes, promueve su esfuerzo profesional, capacitando empleados, implementando mejora continua de sus procesos para brindar seguridad y calidad en la prestación de su portafolio de servicios ambientales. El monitoreo, captura de muestras y estudios relacionados con la calidad del aire y análisis de ruido suministrados por la organización se fundamentan en lo clasificado,

objetividad, conducta, dedicación, autoridad y crecimiento técnico; recurriendo como instrumento decisivo en la instalación, implantación y fortalecimiento continuo del procedimiento de gestión respaldado en las normas adoptadas. Para garantizar disponemos con información concerniente a procedimientos concretos y ajustándose al requerimiento legal; personal competente, apto e informado con toda la literatura acorde al sector ambiental.

SIAM INGENIERÍA S.A.S se compromete con la preservación, conservación, fortalecimiento de la comodidad de los empleados y del medio ambiente, asegurando la totalidad a través de seguimiento de los peligros del trabajador, impactos ambientales y prevención de la contaminación. La gerencia y directores de departamento promueven una cultura de seguridad laboral con formación medioambiental fundamentada en el beneficio y utilización eficaz de los recursos naturales conectando los miembros interesados en la norma integrada de gestión asignando el presupuesto requerido para la gestión.

La estrategia elaborada por SIAM INGENIERÍA S.A.S quedarán centradas en: promover una formación preventiva, auto-cuidado, la mediación de la naturaleza del trabajo que generen incidentes, accidentes o enfermedades laborales, registro de deserción laboral, preparativos de emergencia, el uso sustentable de medios naturales y la disminución del cambio climático. Todos los funcionarios, proveedores y contratistas se ceñirán a comprometer de acatar las normas y procedimientos de la empresa además, serán consientes de informar debidamente aquellas circunstancias, que provoquen una implicación y peligro a los funcionarios y a la empresa.

4.1.4 Virtudes colectivas. Las virtudes colectivas de SIAM INGENIERÍA S.A.S son:

4.1.4.1 Respeto. Particularidad de cada empleado de la organización, se trasmite sobre nuestros clientes.

4.1.4.2 Responsabilidad. Con el objeto de satisfacer las obligaciones, ofreciendo consultoría eficiente y precisa.

4.1.4.3 Compromiso. Con el sector productivo para retribuir y conseguir rentabilidad en los servicios ambientales.

4.1.4.4 Pasión. Suministramos a cada diseño de nuestros usuarios ambientales, para brindar la asistencia que requieren.

4.1.5 Reseña histórica. En el año 2012 un grupo de ingenieros con emprendimiento optaron por contribuir con soluciones ambientales a los distintos sectores industriales con exigencias para determinar la calidad del aire, constituyeron a SIAM INGENIERÍA S.A.S, como una microempresa familiar en la ciudad de Bucaramanga – Santander, el 23 de mayo de 2012.

Durante los inicios de nuestra operación, nos enfocamos en desempeñar verificaciones y asesorías ambientales relacionadas con la calidad del aire, adquiriendo en el año de 2015, la competencia de institución abalada por el IDEAM dentro de las directrices de la norma NTC-ISO/IEC 17025 “Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración”.

Mediante los años, expandimos nuestra cobertura de certificación con el propósito de proporcionar a nuestros clientes una respuesta global a sus requisitos ambientales. Disponemos con un maravilloso equipo de trabajo, entrenado en una serie de adelanto continuo, con el propósito de estar a la vanguardia de la innovación tecnológica enfocada al monitoreo ambiental.

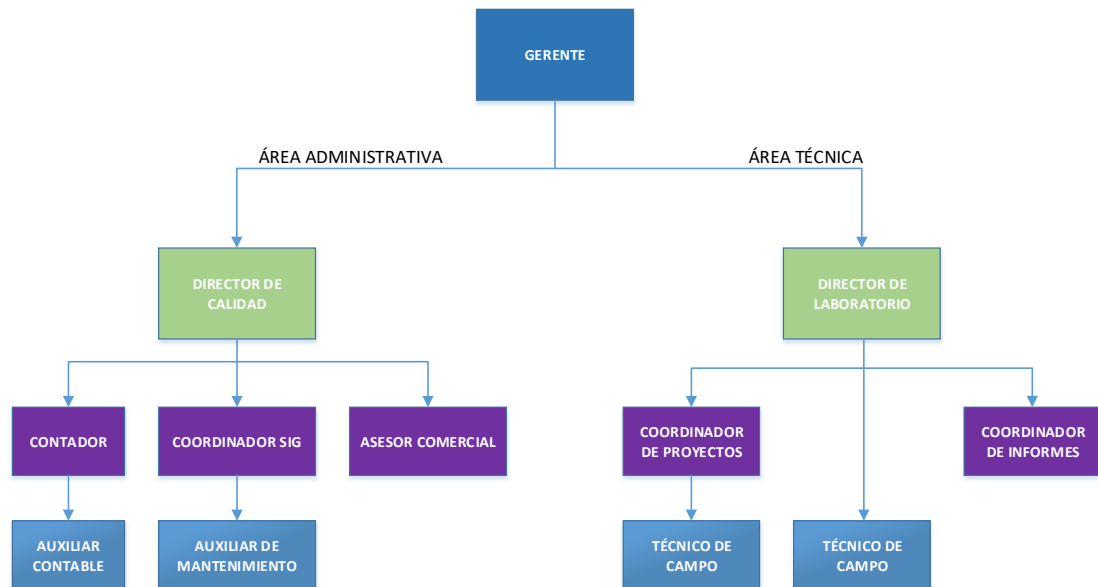
Nuestro propósito primordial es garantizar una serie de adelanto continuo en los procedimientos de la organización, con el propósito de brindar un portafolio que garantice un suministro a tiempo y estilo correspondiente. Para alcanzar el

desempeño del reglamento actual, nuestra norma de gestión de calidad reside en una mejora continua y da cumplimiento a fin de conseguir como propósito final cubrir las necesidades de nuestros clientes.

4.1.6 Organigrama. La Figura 1 presenta el nivel jerárquico de la organización conformado por el gerente, en el área administrativa en el primer nivel se encuentra el director de calidad, que tiene al mando, el contador, coordinador sistema integrado de gestión y el asesor comercial. Contabilidad tiene a cargo un auxiliar, el sistema integrado de gestión tiene a cargo un auxiliar de mantenimiento.

El área técnica está liderada por el director de laboratorio, que a su vez tiene el apoyo del coordinador de proyectos y el coordinador de informes. Pero además cuenta con el apoyo de un técnico en campo. Proyectos posee un técnico de campo.

Figura 1. Organigrama SIAM INGENIERÍA S.A.S



Fuente: Elaboración propia

5 MARCO TEÓRICO

5.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento es una agrupación de actividades, técnicas, estrategias y metodologías implantadas a un equipo, maquinaria productiva e instalaciones para garantizar las condiciones básicas de operación a través del tiempo, generando productos o servicios de calidad para dar cumplimiento a la misión de la organización.

También puede enunciarse que, “El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen en, o se restablece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas. Es un factor importante en la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia para una competencia exitosa”²

5.2 CRONOLOGÍA Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

Con las necesidades de los mercados de productos en aumento, surgieron líneas de producción en serie, estas a su vez, en la operación aparecieron averías que afectaban los procesos productivos y generaban paradas en las líneas producción, para solucionar estas averías surgió el mantenimiento correctivo, las actividades correctivas eran desempeñadas por personal de producción.

Desde 1780, cuando se implementó el mantenimiento correctivo, hasta el año 2005, en que surgió la filosofía de la conservación Industrial. La historia del mantenimiento se relaciona con el desarrollo técnico industrial. A finales del siglo XIX (1880), 90% del trabajo era realizado por el hombre y la máquina solo 10%. Con la mecanización de las industrias surgió

² DUFFUAA, Salih O.; RAOUF, Abdul y DIXON CAMPBELL, John. Sistemas de mantenimiento. Planeación y control. México: Limusa, 2000. p. 29.

la necesidad de hacer las primeras reparaciones. Las máquinas solo se reparaban en caso de que surgiera una falla importante o fuera necesario detener la producción³.

Con la industrialización en el siglo XIX surgió la obligación de corregir las averías, pero las actividades se realizaban con personal de producción no se le daba importancia al mantenimiento. Para 1798 Eli Whitney elaboraba mosquetones a gran escala utilizando repuestos intercambiables en las máquinas. “La producción en serie de automóviles no es exactamente de Henry Ford, en 1798 Eli Whitney fabrica mosquetones en masa, como también en 1902 los vehículos Oldmobile de Estados Unidos se fabrican en serie”⁴.

Hacia 1891 el proceso de producción de Peugeot pionera en la producción de vehículos con motor a gasolina, a fin de 1900 industrias automotrices como Benz de origen Europeo, Olds de nacionalidad de Estados Unidos empezaron a manufacturar choches a grandes volúmenes.

“En 1909 Orville (uno de los hermanos Wright) completa con un avión, los requisitos de vuelo del Cuerpo de Señales del Ejército de los Estados Unidos, lo que se constituye el primer aeroplano operativo con funciones militares”⁵. En 1909 elaboran el primer avión funcional con propósitos militares en los Estados Unidos, durante 1911 vuelos dentro de Estados Unidos de América aplicados al sector postal.

“El francés Louis Blériot, Earle Ovington realiza en 1911 algunos vuelos en Estados Unidos con transporte de correo a bordo; durante la primera guerra mundial y en los años sucesivos,”⁶.

Entre 1913 a 1920 la automotriz Ford inicio la fabricación de vehículos en sus líneas de producción automatizadas mientras en la operación dio origen al mantenimiento preventivo, a mediados de 1950 la transformación de la aeronáutica mercantil y la manufactura de la electrónica, a fin de 1966 ingeniería de mantenimiento introduce principios de predicción, pronóstico de fallas generando el mantenimiento predictivo, entre 1960 a 1970 con el desarrollo del sector de la aviación comercial, se originó el mantenimiento centrado en confiabilidad RCM por su sigla en inglés (*Reliability Centered Maintenance*).

³ MEDRANO MÁRQUEZ, José. Ángel.; GONZÁLEZ AJUECH, Víctor. Leví y DÍAZ DE LEÓN SANTIAGO, Vicente. Miguel. Mantenimiento. Técnicas y aplicaciones industriales. México: Patria, 2017. p. 4.

⁴ MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Medellín, Colombia: Coldi LTDA, 2014. p. 24.

⁵ Ibíd., p. 24.

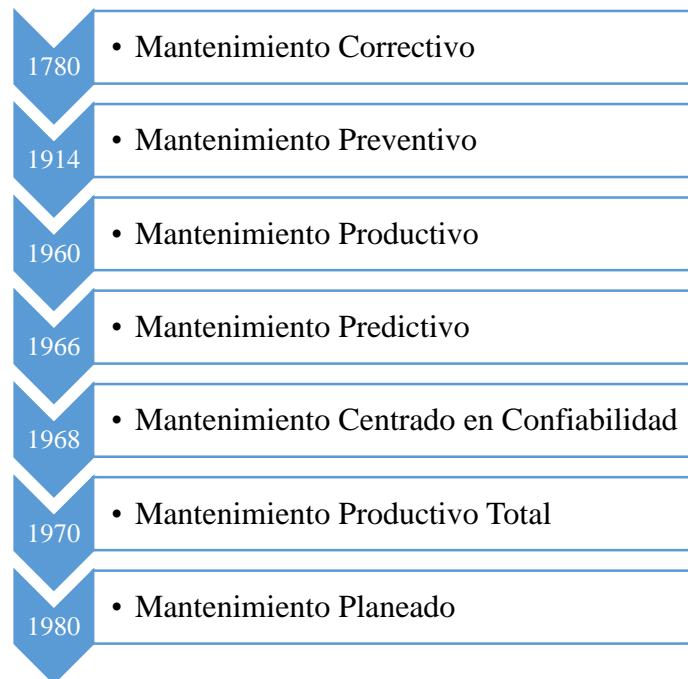
⁶ Ibíd., p. 24.

“A partir de la década de 1970 surgió el mantenimiento productivo total, que impulsó la participación de los empleados en la producción y el mantenimiento en busca de la eficiencia”⁷. Para 1970 se estableció el mantenimiento productivo total, TPM por sus siglas en inglés (*Total Productive Maintenance*), fundamentado en involucrar a operadores, ingenieros, administradores y supervisores, todos con responsabilidad compartida, minimizando los componentes que no agregan valor al producto o servicio.

En 1980, la aeronáutica mercantil de Estados Unidos de América preparó un documento alusivo a la organización de esquema de mantenimiento para fabricantes y aerolíneas, considera un estudio, modelo de falla y modifica los hábitos de mantenimiento, dando origen al mantenimiento planeado.

Es evidente que, a medida que pasa el tiempo, ocurren diversos hallazgos en este aspecto, en la Figura 2 se muestra la fecha en la cual fue apareciendo cada tipo de mantenimiento en cada una de las industrias y la trascendencia que ha ocupado históricamente el departamento de mantenimiento.

Figura 2. Cronología del mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

⁷ MEDRANO MÁRQUEZ. Op. Cit., p. 19.

5.3 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO

La globalización de la economía, creó la necesidad de incursionar en nuevos mercados para saciar las exigencias de los compradores y es así como las organizaciones buscan desarrollar productos nuevos para ese segmento del mercado, con calidad, seguridad y bajo precio de producción a fin de ser asequibles a sus clientes; su maquinaria productiva, instalaciones y equipos, están muy relacionados con aspectos como capacitación continua, tiempos de reparación más eficientes, personal competente para ejecutar actividades en el área de mantenimiento, delegar responsabilidades al operador, gestión de repuestos, subcontratación del mantenimiento, programas de mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, minimizar averías, insumos consumibles, costo ciclo de vida de los activos y muchos otros indicadores, hacen que el mantenimiento en una organización sea tan importante a la hora de producir o prestar servicios, por esta razón el mantenimiento hoy en día tiene tanta importancia a la hora de tomar decisiones que son vitales para la rentabilidad de la organización.

El mantenimiento debe considerarse como una parte integral e importante en la organización que maneja una fase de las operaciones. La dependencia del departamento de producción con el departamento de mantenimiento aumenta con la complejidad del equipo que se utiliza hoy en día en la industria. El costo del mantenimiento representa un parte importante del costo total de la producción. Por ello, este departamento debe contar con personal calificado (ingenieros, técnicos, etc.) en las diferentes disciplinas, a fin de atender día a día todas las tareas del turno⁸.

5.4 CLASES DE MANTENIMIENTO

Toda organización está relacionada con mantenimiento, dependiendo de la complejidad de su planta de producción, la tecnología de sus equipos, criticidad de alguno de ellos en el proceso y las instalaciones, requerirán de diferentes tipos de mantenimiento que se adaptan a las necesidades del proceso productivo. Podemos destacar el mantenimiento correctivo (CM) usado cuando surge una avería y se debe restablecer las condiciones de operación del equipo; mantenimiento preventivo (PM) prevé la aparición del defecto, por tiempo de vida útil del componente o por rutinas de inspección; mantenimiento predictivo basado en condición (CB M) su principio es observar variables físicas del equipo en operación, mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), cambia el vínculo entre la

⁸ MEDRANO MÁRQUEZ. Op. Cit., p. 10.

maquinaria industrial, producto final o servicio, los operadores y equipo de mantenimiento. Por último, tenemos mantenimiento productivo total TPM, el cual enuncia que todo operador debe estar comprometido con el cuidado básico del equipo y manejo.

- Mantenimiento correctivo (CM),
- Mantenimiento preventivo (PM),
- Mantenimiento predictivo basado en condición (CBM),
- Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM),
- Mantenimiento productivo total (TPM).

Vamos a describir los diferentes tipos de mantenimiento. El límite de cada tipo es difícil de establecerlo dado que, a excepción del mantenimiento correctivo, la finalidad de todos es la misma variando la metodología. No son incompatibles entre ellos sino que se complementan para lograr un mantenimiento óptimo.

Se trata de describir brevemente los tipos de mantenimiento que se utilizan en la práctica y familiarizarnos con la nomenclatura que se utiliza. Los tres grandes grupos de tipos de mantenimiento son los que se aplican una vez aparecida la avería (correctivo), los que tratan de predecirla o prevenirla antes de su aparición (de uso y predictivo) y los que tratan de eliminarla de una forma permanente (modificativo).

Asimismo, describimos otro tipo de mantenimiento que, en realidad, no debería considerarse como tal; se trata del engrase de los equipos⁹.

5.4.1 Mantenimiento correctivo. “Consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no puede desempeñar normalmente su función. Se somete a reparación hasta corregir el defecto y se desatiende hasta que vuelva a tener una falla y así sucesivamente”¹⁰. Se basa en dejar en operación un equipo hasta cuando se presente una avería que genere pérdida de su capacidad para la cual fue diseñado. Este mantenimiento exige mano de obra competente para llevar a cabo las reparaciones, genera inconvenientes en el personal de mantenimiento, cambio

⁹ NAVARRO ELOLA, Luis; PASTOR TEJEDOR, Ana Clara y MUGABURU LACABRERA, Jaime Miguel. Gestión integral de mantenimiento. Barcelona, España: editorial Marcombo Boixareu. 1997. p. 31.

¹⁰ BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga, Colombia: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, 2013. p. 58.

de componentes, gran variedad de repuestos disponibles en el almacén, provoca retrasos en la producción, toda fabrica no puede eliminar por completo este tipo de mantenimiento. Básicamente es detectar cual fue el componente que fallo, reemplazarlo para reestablecer el estado básico de operación del equipo, validar condiciones de operación y entregar el equipo a producción.

Pueden presentarse dos modos de mantenimiento correctivo CM por su abreviatura en inglés (*Corrective Maintenance*): planeado y no planeado. La discrepancia entre uno y otro consiste en el cual el no planeado implica restaurar las condiciones básicas de operación en seguida de manifestarse la falla, el mantenimiento correctivo planeado implica reparar la avería cuando se dispone del personal, los instrumentos, reporte de daño y los repuestos necesarios, adicionalmente se coordina el tiempo que dura la intervención anticipada con producción.

5.4.2 Mantenimiento preventivo. Tras el crecimiento de las organizaciones y el uso de las máquinas en sus procesos de producción para la era de los 50', se creó una cadena productiva enfocada al mecanizado, empezó a centralizar la ponderación del tiempo de no producción de los equipos. Esto condujo a la concepción de que los defectos en los equipos genero la tendencia de anticiparse a este tipo de averías, ocasionando el término mantenimiento preventivo PM por su abreviatura en inglés (*Preventive Maintenance*).

Ajustar una serie de actividades enfocadas a pronosticar una presencia de una avería o falla, esta serie de actividades son programas en el tiempo, identificando señales de posibles fallas, encontrando averías y sustituir elementos deteriorados es lo que conocemos como PM.

Desde otro punto de vista podemos decir que PM son tareas recomendadas por el fabricante del equipo encaminadas a minimizar las averías o fallas en cada uno de los componentes que integran el activo físico de la organización y evitar fallas

mayores que acarreen costos más elevados en los sistemas mecánico, eléctrico, electrónico, sistema de control, etc. Prever es conservar.

El MP es el fundamento de toda la teoría de mantenimiento. A pesar que el mantenimiento preventivo sea eficiente todas las tareas de mantenimiento posteriores que son prioritarias a la hora de alcanzar los objetivos más importantes.

Las técnicas más empleadas en PM para el estudio de la maquinaria de producción, instalaciones y equipos son:

- Verificación visual
- Evaluar condiciones de temperatura
- Lubricación
- Evaluación de vibraciones
- Sustitución de repuestos
- Seguimiento actividades y repuestos
- Rutina de aprietes

5.4.2.1 Verificaciones visuales. Se apoya en revisar defectos potenciales o averías superficiales en los diferentes componentes del equipo. Se hace una verificación interna y externa. Para la parte interna podemos ayudarnos con instrumentos como boroscopios o flexiscopios. “La inspección interna puede requerir de instrumental más sofisticado para poder acceder a partes, las partes que no son fácil de llegar en el interior de la máquina”¹¹.

5.4.2.2 Evaluar condiciones de temperatura. “La generación de temperaturas superiores a las del normal funcionamiento puede indicar anomalías generadas por

¹¹ BOERO, Carlos. Gestión de mantenimiento industrial. Córdoba, Argentina: editorial Brujas. 2017. p. 26.

rozamientos, falta de lubricación o pérdidas”¹². Pueden descubrirse averías que están relacionadas con cambios de temperatura generados por fricción de dos componentes o carencia de lubricación entre las partes en contacto. Se pueden usar herramientas como cámaras térmicas, pistolas infrarrojas térmicas, entre otras.

5.4.2.3 Lubricación. Una herramienta esencial en la lubricación y de gran ayuda es el análisis de aceites de los equipos, puede proporcionar la detección de contaminantes o elementos extraños, en base a esto podemos deducir presencia de desgaste entre dos componentes y el estado de las características del aceite. “El consumo excesivo de aceite es un indicador de posibles problemas, además, se debe estudiar el estado del lubricante ya que puede presentar contenido de partículas metálicas, descomposición precoz, humedad u otro elemento que indique el funcionamiento incorrecto del equipo. Los análisis indicarán el grado de desgaste de los elementos lubricados.”¹³.

5.4.2.4 Evaluación de vibraciones. Es una técnica no destructiva que puede predecir el grado de desgaste que puede tener un componente dentro de un sistema mecánico del equipo.

5.4.2.5 Sustitución de repuestos. Es identificar el componente que ha presentado avería en los diferentes sistemas que integran el equipo, detectarlo y reemplazarlo por otro componente con las mismas características de operación y así garantizar las condiciones básicas de operación del equipo en el tiempo.

5.4.2.6 Seguimiento de actividades y repuestos. Tener seguimiento de las tareas de mantenimiento realizadas a cada equipo, los repuestos, referencias del mismo para tener un registro actualizado de cada equipo.

¹² Ibíd., p. 26.

¹³ Ibíd., p. 26.

5.4.2.7 Rutina de aprietes. Garantizar que las juntas o puntos de conexión tengan el debido torque en sus elementos de sujeción.

5.4.3 Mantenimiento predictivo. El mantenimiento predictivo PdM por su abreviatura en inglés (*Predictive Maintenance*) se soporta en la vigilancia y la valoración en tiempo real de las partes del equipo, la línea de producción y los procesos. La metodología principal es admitir medidas cuando los componentes o partes presentan ciertas desviaciones que generalmente pueden originar fallas en el equipo, bajo rendimiento o una afectación en la calidad del producto.

En el caso excesivo de fallas catastróficas del sistema, cualquier daño grave a la infraestructura, el equipo o al sistema completo, cualquier riesgo para los operadores se puede prevenir mediante el PdM.

Consiste en el conocimiento permanente del estado y operatividad de los equipos mediante la medición de determinadas variables. El análisis de los cambios de estas variables determina la intervención o no del servicio de mantenimiento.

La información que brinda el análisis de las variables permite una intervención inmediata según la necesidad del equipo. No se realiza ni antes ni después, como puede ocurrir en el mantenimiento preventivo.

Además, incorpora información adicional sobre el estado de las instalaciones. Permite conocer el funcionamiento de la máquina desde el punto de vista de la producción y el estado del equipo respecto a sus componentes. Cuando se conoce en detalle el estado de los elementos se puede prever la avería y realizar la intervención teniendo en cuenta la necesidad productiva.

El mayor inconveniente que presenta este tipo de mantenimiento se debe a razones económicas ya que requiere del instrumental adecuado y un sistema centralizado para el control de las variables¹⁴.

5.4.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad. También conocido como RCM, incorpora el PM, ensayos e inspecciones predictivas, restaurar (asimismo llamado mantenimiento reactivo) y el mantenimiento proactivo para incrementar la probabilidad de que un elemento o equipo cumpla la función para la cual fue diseñado con una proporción mínima de mantenimiento y tiempo muerto. Estas esenciales metodologías de mantenimiento, se combinan de manera óptima para

¹⁴ Ibíd., p. 28.

conseguir sus respectivas fortalezas y maximizar la confiabilidad de los activos físicos y equipos mientras se minimizan los costos del ciclo de vida de los activos.

Asimismo logra expresar que “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”¹⁵.

5.4.5 Mantenimiento productivo total. También conocido como TPM por su abreviatura del inglés (*Total Productive Maintenance*) surge desde la filosofía del PM de las compañías de los Estados Unidos en donde producción su función principal era operar los equipos y su aliado mantenimiento reparaba. El incremento en la mano de obra en mantenimiento contribuyo de que algunas actividades de mantenimiento para conservar las condiciones básicas de operación de los equipos como limpieza, inspección, lubricación y ajuste fueran delegadas a los operadores por medio de una política de la alta gerencia, logrando liberar la carga laboral al personal de mantenimiento para que este se especializara en nuevas estrategias de mantenimiento. Además buscando involucrar a todos los empleados de la compañía a participar en el proceso productivo, se delegó responsabilidades para aumentar una efectividad general de los equipos OEE por su abreviatura en inglés (*Overall Equipment Effectiveness*), mejorar el tiempo medio de reparación MTTR por su abreviatura en inglés (*Mean Time To Repair*) y controlar los costos de mantenimiento.

Comienza a implementarse en Japón durante los años sesenta. El mismo incorpora una serie de nuevos conceptos a los desarrollados a los métodos previos, entre los cuales cabe destacar el Mantenimiento Autónomo, el cual es ejecutado por los propios operarios de producción, la participación activa de todos los empleados, desde los altos cargos hasta los operarios de planta. También agrega a conceptos antes desarrollados como el

¹⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Reino Unido: Aladon. 2004. p. 26.

Mantenimiento Preventivo, nuevas herramientas como las Mejoras de Mantenibilidad, la Prevención de Mantenimiento y el Mantenimiento Correctivo¹⁶.

5.5 MUESTREADOR AMBIENTAL DE ELEVADA CAPACIDAD

Muestreador ambiental de elevada capacidad para partículas en suspensión para tamaños de 10µm, avalado por la agencia de protección ambiental de Estados Unidos. Flujo de aire de aspiración de 1,13 metros cúbicos por minuto disponible en flujo volumétrico.

5.5.1 Características. Las principales características de los muestreadores de elevada capacidad PM10 son:

- Muestreador para partículas en suspensión de 10µm avalado por US EPA¹⁷.
- Elevada capacidad de 1,13 metros cúbicos por minuto.
- Filtros de 8"x10" de micro-cuarzo.
- Accesible mediante motor de escobillas o libre de escobillas.
- Medidor de flujo y presión.
- Temporizador mecánico de 7 días.
- Opción de medidor digital y temporizador digital.

La Figura 3 muestra el prototipo TE-6070 de la firma Tisch Environmental de un muestreador ambiental, muy utilizados en la vigilancia de la calidad del aire. Son diseños robustos y resistentes a la corrosión.

¹⁶ LEFCOVICH, Mauricio. TPM mantenimiento productivo total: un paso más hacia la excelencia empresaria. Editorial El Cid. 2009. p. 7.

¹⁷ US EPA: *United States environmental Protection Agency*. (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos).

Figura 3. Muestreador ambiental TE-6070 Tisch Environmental



Fuente: Elaboración propia

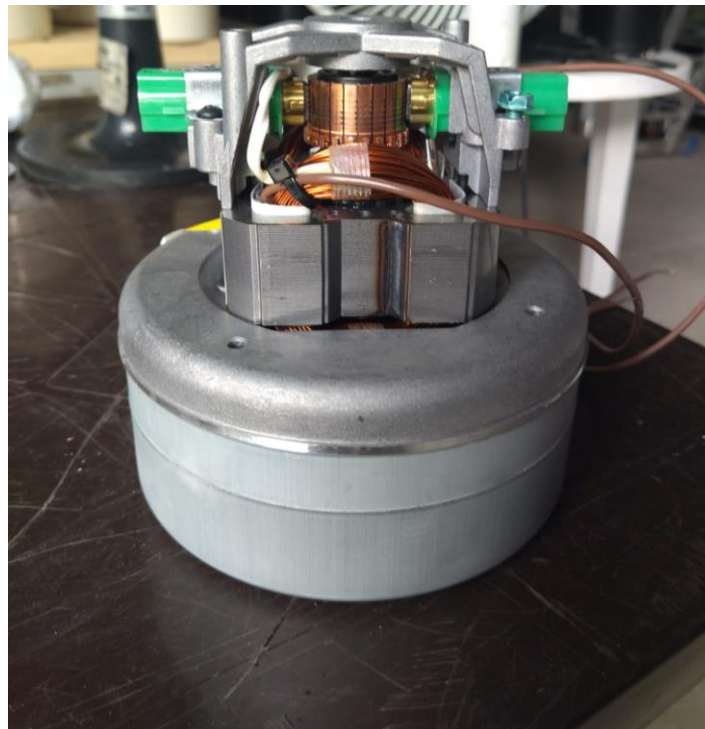
Los muestreadores de partículas PM₁₀ están contruidos con algunos componentes básicos: Un motor, temporizador, controlador de flujo, indicador de tiempo transcurrido, una carcasa exterior de aluminio y un registrador de presión. Tisch Environmental utiliza solo componentes de alta calidad para respaldar la fiabilidad y la resistencia de sus artículos.

5.5.2 Tipo de motores. Usan dos tipos de motores: motores con escobillas y motores sin escobillas.

5.5.2.1 Motores con escobillas. Los motores eléctricos de corriente alterna, AC por sus siglas en inglés (*Alternating Current*), con escobillas están diseñados para operar a 120 voltios AC o 220 voltios AC, según el cliente lo requiera, usan escobillas de carbón para conducir la corriente en el interior del motor eléctrico. Son de bajo costo, requieren cambios rutinarios de escobillas.

Como podemos ver en la Figura 4 muestra un motor eléctrico de 110 voltios AC con escobillas usado en este tipo de equipos para suministrar un flujo de aire de 1,13 metros cúbicos por minuto en el interior de la cámara de impactación. El ventilador está acoplado directamente al eje del rotor del motor, siendo un diseño compacto.

Figura 4. Motor eléctrico de 110 voltios de corriente alterna con escobillas y ventilador



Fuente: Elaboración propia

5.5.2.2 Motor sin escobillas. Los motores eléctricos especialmente diseñados para no utilizar escobillas son libres de mantenimiento. El diseño los hace tan robustos que no necesitan mantenimiento rutinario, están diseñados para operar con un suministro eléctrico de 110 o 220 voltios AC. Tienen un costo superior y no generan emisiones de partículas por el rozamiento entre las escobillas de carbón y el colector.

La Figura 5 muestra un motor eléctrico de 220 voltios AC, sin escobillas para un sistema de control de flujo volumétrico. Para sistemas de control de flujo másico tiene dos opciones de alimentación eléctrica de 110 o 220 voltios AC.

Figura 5. Motor eléctrico sin escobillas



Fuente: Brushless Motor, Volumetric Flow Controlled Systems, 220 volt [en línea] ©2019. [Consultado el 16 de abril de 2021]. Disponible en: <https://3b14pd1gint72wgu451w5i5a-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/05/TE-117417.png>

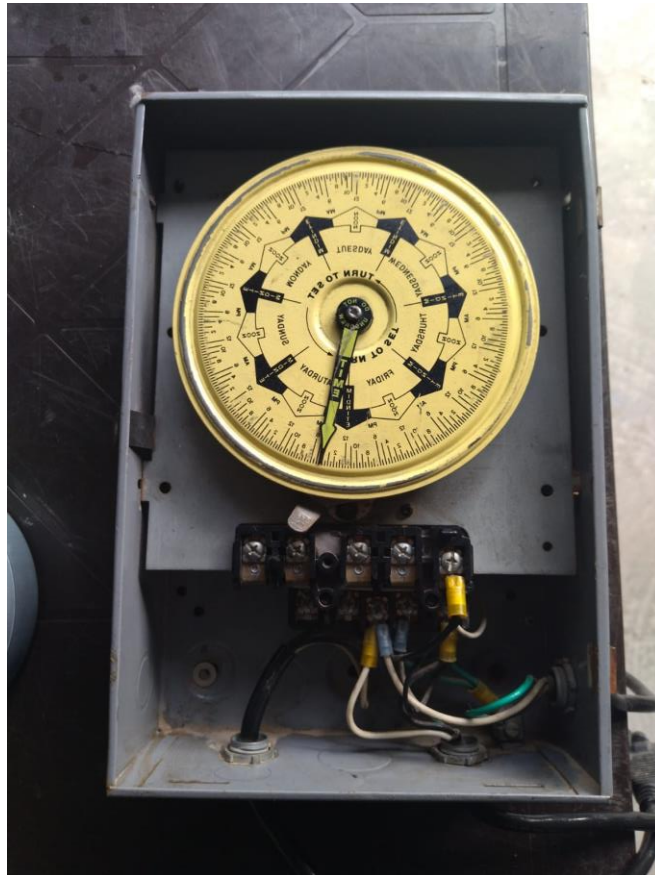
5.5.3 Temporizador. El temporizador puede ser de dos tipos diferentes, un temporizador mecánico de 7 días y un temporizador digital.

5.5.3.1 Temporizador mecánico. Los temporizadores de tiempo mecánicos están diseñados para aplicaciones industriales, comerciales y residenciales con programación de encendido / apagado de 7 días y conmutación con 4 horas estándar del pacífico y cuatro polos de contactos, 2 normalmente abiertos y 2 normalmente cerrados. Como podemos observar la Figura 6 exhibe este tipo de temporizador. El suministro de energía eléctrica está diseñado para 110 voltios AC. Tiene alimentación eléctrica independiente del motor principal y la alimentación eléctrica de la carga.

- **Características.** Este interruptor de tiempo mecánico tiene las siguientes propiedades:
 - Verdadero control de carga de 7 días con un tiempo mínimo de encendido / apagado de 3 horas y 30 minutos.
 - Terminales del motor de reloj separados para conmutar cargas eléctricas separadas que no sean voltajes de línea.
 - Conmutación automática cuando se reanuda la energía eléctrica.
 - Una hora de tiempo de conmutación automática por cada dos horas de corte de energía eléctrica.

La Figura 6 señala un temporizador mecánico de 7 días de la marca Tisch Environmental utilizados en los muestreadores ambientales PM10.

Figura 6. Temporizador mecánico de 7 días Tisch Environmental



Fuente: Elaboración propia

5.5.3.2 Temporizador digital. Temporizador electrónico con pantalla de cristal líquido LCD por su abreviatura del inglés (*Liquid Crystal Display*), tiene varias formas de programación para controlar diferentes cargas. Programación semanal, días, hora, minutos. Multifuncional y sencillo de operar. Es un instrumento pequeño, programable en periodos de encendido / apagado de la carga conectada al dispositivo.

- **Características.** Este instrumento posee los siguientes atributos:
 - Alimentación eléctrica en un rango de 110 a 130 voltios AC.

- Puede operar cargas eléctricas máximo de hasta 1650 vatios, (15 amperios).
- Temperatura de operación de -10° grados Celsius hasta 40° grados Celsius.
- Frecuencia de la red eléctrica de 50 o 60 Hertz.
- Rango estimado de vida útil de 20.000 horas de operación.
- Función con 1 batería de NIMHm de 1,2 voltios para una duración de 100 horas de operación.
- Tamaño de 13 cm de largo por 4 cm de ancho.

En la Figura 7 se presenta este tipo de temporizador electrónico semanal de la marca *EXCELITE*. Es un diseño robusto y compacto para diferentes aplicaciones.

Figura 7. Temporizador electrónico semanal de la marca EXCELITE



Fuente: Elaboración propia

5.5.4 Controlador de flujo. El controlador de flujo maneja dos tecnologías que son: control de flujo másico y el control de flujo volumétrico.

5.5.4.1 Control de flujo másico. El controlador de flujo másico MFC por su abreviatura del inglés (*Mass Flow Controller*), utiliza un anemómetro de alambre caliente para mantener el caudal constante durante todo el período de muestreo. El anemómetro se inserta en el canal de flujo y detecta cambios en la masa térmica para regular las revoluciones por minuto del motor eléctrico de 110 voltios AC.

En la Figura 8 muestra todos los componentes que integran un controlador de flujo másico de la marca Tisch Environmental.

Figura 8. Controlador de flujo másico



Fuente TE-300-310, Mass Flow Controller (MFC), Brush Motor, 110 volts 50 / 60 Hertz [en línea] ©2019. [Consultado el 16 de abril de 2021] Disponible en: <https://3b14pd1gint72wgu451w5i5a-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/05/TE-300-310.png>

5.5.4.2 Control de flujo volumétrico. El controlador de flujo volumétrico VFC por su abreviatura del inglés (*Volumetric Flow Controller*), es un orificio crítico con un diámetro de agujero predeterminado. El orificio crítico se calibra en un laboratorio rastreado por NIST para determinar la tasa de flujo volumétrico. El motor funciona completamente abierto y cuando el aire pasa a través del orificio crítico, el muestreador funciona a un caudal predeterminado.

En la Figura 9 enseña un ejemplar de un controlador de flujo volumétrico de la marca Tisch Environmental.

Figura 9. Controlador de flujo volumétrico



Fuente: Elaboración propia

5.5.5 Indicador de tiempo transcurrido. Es un reloj mecánico que cuenta las horas y los minutos en los que el instrumento está recolectando la muestra de forma activa. Este dispositivo se utiliza para rastrear la vida útil del motor, los cambios de escobilla y para verificar el tiempo de muestreo.

En la Figura 10 exterioriza un indicador de tiempo transcurrido, tipo mecánico de la marca Tisch Environmental usados en los modelos de muestreadores ambientales modelo PM10. El indicador tiene 7 dígitos, cada uno de ellos en un rango de 0 a 9. La alimentación eléctrica para este equipo es de 110 voltios AC para una frecuencia de la red de 60 Hertz.

Figura 10. Indicador de tiempo transcurrido



Fuente: Elaboración propia

5.5.6 Carcasa exterior aluminio. Los muestreadores de aire de elevada capacidad PM10 están alojados en una carcasa exterior de aluminio anodizado. Está diseñado para permitir que el material particulado ingrese en el filtro desde todas las

direcciones. La construcción robusta exterior la hace resistente y un mínimo mantenimiento.

En la Figura 11 se muestra el diseño exterior en aluminio anodizado de la marca Tisch Environmental.

Figura 11. Estructura exterior muestreador ambiental PM10



Fuente: Elaboración propia

5.5.7 Registrador de presión. El registrador gráfico Dickson es un registrador gráfico de presión de cuatro pulgadas que registra las variaciones de presión durante un periodo de 24 horas. Está conectado a la contrapresión del motor-ventilador. Este equipo está diseñado para ser conectado a una red eléctrica de 100 voltios AC y una frecuencia de la red de 60 Hertz.

La Figura 12 enseña un registrador gráfico de presión de la marca DICKSON.

Figura 12. Registrador gráfico de presión Dickson TE-5009



Fuente: Elaboración propia

6. ANÁLISIS DE MODO DE FALLA Y EFECTO

Un análisis modo de falla y efecto (AMFE) es una técnica meticulosa para reconocer y anticipar averías en procesos, productos, sistemas y maquinaria antes que se materialicen. AMFE se enfoca en anticipar desperfectos, optimizar la seguridad, la confiabilidad de la maquinaria y satisfacer las necesidades de los clientes.

También puede decirse que “La metodología de análisis de fallas parte de la base de la presencia o detección repentina de una situación fuera del estándar, que manifiesta de alguna forma la falta de funcionalidad total o parcial de una máquina o elemento. Se describe como problema o efecto causante, a una falla que aún no se soluciona o erradica. Se puede enunciar como modo de falla a las deficiencias que se observan o se perciben en el sistema o máquina al momento de reportar la falla”¹⁸.

6.1 DEFINIR LA FUNCIÓN

Igualmente puede exponerse que “La definición de una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario”¹⁹. Un criterio bien corroborado por la ingeniería posiblemente es que el concepto de función requiere de un verbo en forma infinitiva, un objeto, y un patrón de rendimiento. Ejemplo extraer agua a 800 litros por minuto del pozo subterráneo A al tanque B de almacenamiento.

6.1.1 Funciones primarias. Lo cual en primer nivel resumen para que la compra del equipo. Este rango de funciones abarca temas como:

- velocidad
- producción

¹⁸ MORA. Op. cit., p. 237.

¹⁹ MOUBRAY. Op. cit., p. 23.

- espacio de almacenaje o carga
- calidad de producto
- servicio al cliente

6.1.2 Funciones secundarias. La cual identifica que se desea de todo activo que realice más que solamente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios igualmente tienen intereses relacionadas en los siguientes campos:

- Seguridad
- Control
- Contención
- Confort
- Integridad estructural
- Economía
- Protección
- Eficiencia operacional
- Cumplimiento de regulaciones ambientales
- Forma del activo.

6.2 PATRONES DE FUNCIONAMIENTO

La finalidad del mantenimiento es preservar los activos de una organización para que permanezcan realizando lo que sus usuarios desean que haga. La medida de aquello que los usuarios esperan que el activo haga se logra delimitar mediante una referencia mínima de funcionamiento. “Las leyes de la física nos dicen que cualquier sistema organizado que es expuesto al mundo real se deteriorará. El resultado de este deterioro es la desorganización total, a menos que se tomen acciones para frenar el proceso que esté causando el deterioro del sistema”²⁰.

²⁰ MOUBRAY. Op. cit., pp. 23-24.

Por lo tanto, si el deterioro es obligatorio, debe ser llevadero. Esto implica que cuando algún activo es colocado en operación debe ser capaz de producir más que el estándar mínimo de funcionamiento estimado por el usuario. Lo que el activo está capaz de producir es denominado capacidad inicial o confiabilidad inherente.

La Figura 13 ilustra la relación entre la capacidad inicial y el funcionamiento estimado.

Figura 13. Margen de deterioro



Fuente: Elaboración propia

Se evidencia que el funcionamiento logra ser determinado de las siguientes dos formas:

- Funcionamiento esperado (lo que los usuarios desean que haga en términos de Desempeño)
- Capacidad adecuada (lo que puede hacer)

6.3 ENTORNO OPERACIONAL

El ambiente operacional igualmente tiene incidencia profundamente en las exigencias hacia las funciones secundarias. El entorno no solo impacta tajantemente las funciones y los intereses de operatividad, sino que de igual forma afecta la naturaleza de los modos de falla que logran producirse, sus efectos y consecuencias, frecuencia con que pueden producirse y que debe hacerse para manipularlas.

Algunas causas principales que deben ser analizados son:

- Producción por lotes o continuos
- Equipos con Back UP
- Normas de calidad
- Normas ambientales
- Amenaza a la seguridad
- Turnos de trabajo
- Mercancías en proceso
- Tiempo de reparación
- Repuestos
- Requerimientos del mercado
- Suministro de materias primas

6.4 FALLAS FUNCIONALES

Los objetivos del mantenimiento son descritos por las funciones e intereses de funcionamiento relacionadas al activo. Hay un evento que no se alinea con los objetivos del usuario y es la falla. De ahí se desprende que el proceso de mantenimiento debe seguir una estrategia apropiada para manejar una falla.

Aunque, antes de poder definir una estrategia adecuada para manejar la falla, necesitamos determinar que fallas pueden producirse.

Existen dos niveles para caracterizar las fallas:

- Determinar los eventos que condujeron a la falla
- Qué eventos logran originar que el activo falle

“Los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable. Sumado a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en la que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable”²¹.

“Una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario”²².

Los siguientes conceptos ayudan a reconocer algunos aspectos de las fallas funcionales:

- Falla total y parcial
- Límite superiores e inferiores
- Instrumentos de medición e indicadores
- El contexto operacional

²¹ MOUBRAY. Op. cit., p. 9.

²² MOUBRAY. Op. cit., p. 50.

6.4.1 Falla general y particular. Abarca la pérdida total de la función. Igualmente comprende situaciones en las que todavía funciona, pero salvo de los límites aceptables.

6.4.2 Límite mayor y menor. Los límites dan a entender que el activo físico falla si manufactura productos por encima del límite mayor, por abajo del menor. Estos incidentes la rotura del límite mayor regularmente necesita determinarse por separado de la rotura del límite menor. Esto se debe a que los modos de falla y las consecuencias relacionadas por superarlo suelen ser distintas de las relacionadas por no obtener el límite menor.

6.4.3 Instrumentos de medición e indicadores. Los límites superior e inferior de igual modo se utilizan en los estándares de funcionamiento de medidores, indicadores, sistemas de control y de protección. Dependiendo el modo de falla y sus consecuencias, igualmente podría ser indispensable tratar sus límites por separado, en el momento en que se anotan las fallas funcionales.

6.4.4 El contexto operacional. La determinación del punto de falla para algún activo depende del lado del contexto operacional. Es decir representa que de la misma forma que no debemos expandir acerca de las funciones de activos idénticos incluso tenemos que tener cuidado en no difundir acerca de sus fallas funcionales.

6.5 MODO DE FALLA

El modo de falla es la relación física de la forma en que ocurre la falla. Un modo de falla puede tener varios niveles obedeciendo a la dificultad del equipo, sistema, diseño, proceso o servicio establecido. “Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional”²³.

²³ MOUBRAY. Op. cit., p. 56.

Por consiguiente, el protocolo de elección de la estrategia de mantenimiento, y la ejecución de esta estrategia, se traslada al rango de modos de fallas. Todos estos puntos dan a entender que el reconocimiento de los modos de falla es uno de las pautas más fundamentales en el impulso de cualquier programa que propone consolidar que el activo físico continúe realizando sus funciones.

Los modos de falla logran ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera:

- Cuando la capacidad está por abajo del funcionamiento esperado (capacidad decreciente).
- Cuando el funcionamiento esperado está por encima de la capacidad inicial (aumento del funcionamiento esperado)
- Cuando desde el comienzo el activo físico no tiene la capacidad esperada (capacidad inicial)

6.5.1 Capacidad decreciente. Abarca circunstancias ante todo instante la capacidad está por encima del funcionamiento esperado, sin embargo disminuye cuando el activo es colocado en funcionamiento, permaneciendo por abajo del funcionamiento esperado como lo evidencia la Figura 14, las razones básicas de falta de capacidad son:

- Deterioro
- Fallas de lubricación
- Polvo o suciedad
- Desarme
- Errores humanos que reducen la capacidad

Figura 14. Capacidad decreciente



Fuente: Elaboración propia

6.5.2 Aumento del funcionamiento esperado. Recurre en el momento en que el funcionamiento esperado está dentro de la capacidad del activo físico en la ocasión en que es puesto en funcionamiento, pero posteriormente amplía hasta acabar afuera de su capacidad. Esto lleva a cabo que el activo físico de una de las siguientes formas:

- El funcionamiento esperado se incrementa, el activo no logra corresponder.
- El incremento del esfuerzo ocasiona que se precipite el deterioro incluso hasta el punto en que el activo se convierte en poco confiable y deja de ser rentable

Este fenómeno se muestra en la Figura 15 y ocurre debido tres razones atribuibles al algún tipo de error humano y otra a la condición del equipo y su operación:

- Una sobrecarga deliberada constante
- Una sobrecarga no intencional constante

- Una sobrecarga no intencional repentina
- Procesamiento o material de empaque incorrecto

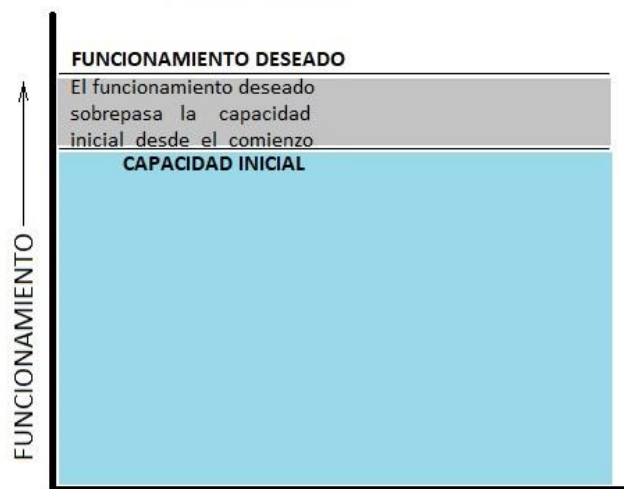
Figura 15. Aumento del funcionamiento esperado



Fuente: Elaboración propia

6.5.3 Capacidad inicial. Emergen condiciones en las que el funcionamiento esperado se encuentra fuera de la condición de la capacidad inicial desde el inicio, como se ve en la Figura 16. Este inconveniente de insuficiencia rara vez repercute el activo físico en su totalidad. Regularmente impacta simplemente en una o dos funciones o uno o dos componentes, sin embargo estas etapas frágiles afectan el procedimiento de toda la cadena productiva. Principalmente la modificación de un contratiempo en el diseño de esta característica es enumerar como modos de falla.

Figura 16. Capacidad inicial



Fuente: Elaboración propia

6.6 EFECTOS DE FALLA

Un efecto de falla es un resultado contrario a la falla en el equipo, sistema, diseño, proceso o servicio. Cabe destacar que el efecto de una falla puede plantear dos criterios: repercute localmente y no trasciende a otros componentes, o generalmente en donde alcanza otros componentes de otros sistemas. “Los efectos de la falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla”²⁴.

La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para evaluar las consecuencias de falla. Concretamente, debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia de que se ha producido una falla
- Las maneras en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente

²⁴ MOUBRAY. Op. cit., p. 76.

- Las maneras en que afecta a la producción o a las operaciones
- Los daños físicos causador por la falla
- Qué debe hacerse para reparar la falla

6.7 CAUSAS DE FALLA

Causas de falla son un registro de la causa raíz relacionada con cada modo de falla. Deben ser concretas y lo más exactas posibles. Para un AMFE de diseño, la causa es la falta de diseño que da como consecuencia el modo de falla.

6.8 ESTABLECER LOS ÍNDICES DE EVALUACIÓN

6.8.1 Índice de severidad. Es una valoración de la gravedad del efecto de un modo de falla en los clientes. La Tabla 1 muestra la valoración de la gravedad para un AMFE de máquina MFMEA. Tiene un rango de 1 a 10 según el tipo de efecto que se genere.

Tabla 1. Criterios para clasificar la gravedad (S) en un MAMFE

Efecto	Criterios de gravedad	Clasificación
Peligroso sin advertencia	Clasificación de gravedad muy alta: Afecta al operador, la planta o al personal de mantenimiento; la seguridad y/o efectos que no cumplen con la regulación gubernamental.	10
Peligroso con advertencia	Clasificación de gravedad alta: Afecta al operador, la planta o el personal de mantenimiento; la seguridad y/o efectos que no cumplen con las regulaciones gubernamentales.	9
Tiempo de inactividad muy elevado o piezas defectuosas	Tiempo de inactividad de más de 8 horas.	8
Alto tiempo de inactividad o partes defectuosas	Tiempo de inactividad de más de 4 - 7 o horas.	7

Fuente Mitiku Degu, Yonas y Moorthy, R. Srinivasa. Implementation of Machinery Failure Mode and Effect Analysis in Amhara Pipe Factory P.L.C. *American Journal of Engineering Research*. [en línea]. 2014, Vol. 3. [Citado 16 de abril de 2021], pp. 57-63. Disponible de internet: [http://www.ajer.org/papers/v3\(1\)/I0315763.pdf](http://www.ajer.org/papers/v3(1)/I0315763.pdf)

Tabla 1. (Continuación)

Efecto	Criterios de gravedad	Clasificación
Tiempo de inactividad moderado o piezas defectuosas	Tiempo de inactividad de más de 1 - 3 horas.	6
Poco tiempo de inactividad partes defectuosas	Tiempo de inactividad de 30 minutos a 1 o hora.	5
Muy bajo	Tiempo de inactividad de hasta 30 minutos y sin piezas defectuosas.	4
Efecto menor	Variabilidad de los parámetros del proceso exceden los límites de control superior/inferior; Es necesario realizar ajustes o controles de proceso. Sin piezas defectuosas.	3
Efecto muy menor	Variabilidad de los parámetros del proceso dentro de los límites de control superior/inferior; Es necesario realizar ajustes o controles de proceso. Sin piezas defectuosas.	2
Sin efecto	Variabilidad de los parámetros del proceso dentro de los límites de control superior/inferior; Ajustes o controles de proceso no necesarios o pueden realizarse entre turnos o durante el mantenimiento. Sin piezas defectuosas.	1

Fuente Ibíd., Disponible de internet: [http://www.ajer.org/papers/v3\(1\)/I0315763.pdf](http://www.ajer.org/papers/v3(1)/I0315763.pdf)

6.8.2 Índice de ocurrencia. La ocurrencia es una evaluación de la probabilidad de que ocurra una causa característica y surja un modo de falla. La Tabla 2 presenta los rangos de ocurrencia entre 1 y 10 respectivamente para cada probabilidad de falla.

Tabla 2. Criterios para clasificar la ocurrencia (O) en un MAMFE

Probabilidad de que la falla ocurra	Criterio de posibles tasas de falla	Rango
Muy alto: la falla es casi inevitable	Operación intermitente que resulta en 1 falla de cada 10 piezas de producción o MTBF de menos de 1 hora.	10
	Operación intermitente que resulta en 1 falla de cada 100 piezas de producción o MTBF de menos de 2 a 10 horas.	9
Alto: fallos repetidos	Operación intermitente que resulta en 1 falla en 1000 piezas de producción o MTBF de menos de 11 a 100 horas.	8
	Operación intermitente que resulta en 1 falla en 10,000 piezas de producción o MTBF de menos de 101 a 400 horas.	7
Moderado: fallas ocasionales	MTBF de 401 a 1000 horas.	6
	MTBF de 1001 a 2000 horas.	5
Bajo: relativamente pocas fallas	MTBF de 2001 a 3000 horas.	4
	MTBF de 3001 a 6000 horas.	3
Remoto: falla poco probable	MTBF de 6001 a 10,000 horas.	2
	MTBF superior a 10,000 horas.	1

Fuente Ibíd., Disponible de internet: [http://www.ajer.org/papers/v3\(1\)/I0315763.pdf](http://www.ajer.org/papers/v3(1)/I0315763.pdf)

6.8.3 Índice de detección. Es la estimación de la probabilidad de que los controles existentes detecten la causa del modo de falla, impidiendo que la falla llegue al cliente. La Tabla 3 evidencia el rango entre 1 a 10 del índice de detección.

Tabla 3. Criterios para clasificar la detección (D) en un MAMFE

Detección	Probabilidad de detección mediante controles de diseño	Rango
Incertidumbre absoluta	Los controles de la máquina no detectan o no pueden detectar la causa/el mecanismo y modo de falla subsiguiente; no hay diseño o control de maquinaria.	10
Muy remoto	Es muy remota la posibilidad de que un control de diseño/maquinaria detecten una causa potencial /mecanismo y el modo de falla subsiguiente.	9
Remoto	Probabilidad remota de que un control diseño/maquinaria detecte una causa potencial/mecanismo y el modo de falla subsiguiente. Control de maquinaria, evitará una falla inminente	8
Muy bajo	Muy pocas posibilidades de que un control diseño/maquinaria detecte una causa potencial/mecanismo y un modo de falla subsiguiente. Control de maquinaria, evitará una falla inminente.	7
Bajo	Baja probabilidad de que un control de diseño/maquinaria detecte una causa potencial/mecanismo y modo de falla subsiguiente. Control de maquinaria, evitará una falla inminente.	6
Moderado	Existe una probabilidad moderada de que un control diseño/maquinaria detecte una causa potencial/mecanismo y modo de falla subsiguiente. Control de maquinaria, evitará una falla inminente y aislará la causa. Puede ser necesario el control de la maquinaria	5

Fuente Ibíd., Disponible de internet: [http://www.ajer.org/papers/v3\(1\)/I0315763.pdf](http://www.ajer.org/papers/v3(1)/I0315763.pdf)

Tabla 3. (Continuación)

Detección	Probabilidad de detección mediante controles de diseño	Rango
Moderadamente alto	Una probabilidad moderadamente alta de que un control diseño/maquinaria detecte una causa potencial/mecanismo y modo de falla subsiguiente. Control de maquinaria, evitará una falla inminente y asilará la causa. Puede ser necesario control de maquinaria	4
Elevado	Es muy probable que un control de diseño/maquinaria detecte una causa potencial/mecanismo y modo de falla subsiguiente. Control de maquinaria evitará una falla inminente y aislará la causa. Puede ser necesario el control de maquinaria.	3
Muy alto	Es muy probable que un control de diseño/maquinaria detecte una casusa potencial/mecanismo y modo de falla subsiguiente. Control de maquinaria no necesariamente.	2
Casi seguro	Es casi seguro que el control de diseño detecte una causa potencial/mecanismo y modo de falla subsiguiente. Control de maquinaria no necesariamente.	1

Fuente Ibíd., Disponible de internet: [http://www.ajer.org/papers/v3\(1\)/I0315763.pdf](http://www.ajer.org/papers/v3(1)/I0315763.pdf)

6.9 ESTIMAR EL ÍNDICE DE PRIORIDAD DE RIESGO NPR PARA CADA MODO DE FALLA

Es el producto matemático de la severidad (S), la ocurrencia (O) y la detección (D). Sirve para fijar la prioridad para que el proceso/elemento se enfoque para la acción correctiva. Se calcula como:

$$RPN = S \times O \times D \qquad \text{Ecuación 1}$$

Los tres índices (Severidad, Ocurrencia y Detección) se evalúan individualmente en una escala de 1 a 10 para cada modo de falla, utilizando las pautas estándar diseñadas específicamente para diseño DAMFE, proceso PAMFE y maquinaria MAMFE, para abordar los objetivos y requisitos del tipo de FMEA seleccionado. Luego el RPN se calcula usando la ecuación 1 para cada proceso/sistema/subsistema para clasificar y priorizar el plan de acción correctiva.

7. FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA TÁCTICA AMFE

La táctica análisis modal de fallos y sus efectos AMFE enfocada a priorizar las actividades de mantenimiento preventivo de los muestreadores ambientales PM10 de la organización SIAM INGENIERÍA S.A.S, está estructurada de la siguiente manera:

- Definir los subsistemas que integran el muestreador ambiental PM10.
- Definir cada una de las funciones de los componentes que integran cada subsistema.
- Precisar los modos de fallos de los componentes.
- Detallar los efectos de cada fallo de los componentes.
- Determinar posibles causas de fallo de los componentes
- Especificar el nivel de severidad del fallo.
- Establecer el nivel de ocurrencia causas de fallo.
- Delimitar el nivel de detección controles actuales.
- Calcular el número prioritario del riesgo.
- Priorizar las actividades de mantenimiento preventivo según el número de prioridad de riesgo NPR.

En primer lugar se procede a definir en un diagrama de funcionamiento de todos los subsistemas que integran el equipo y características de cada sistema para tener una visión más general de la operación del equipo.

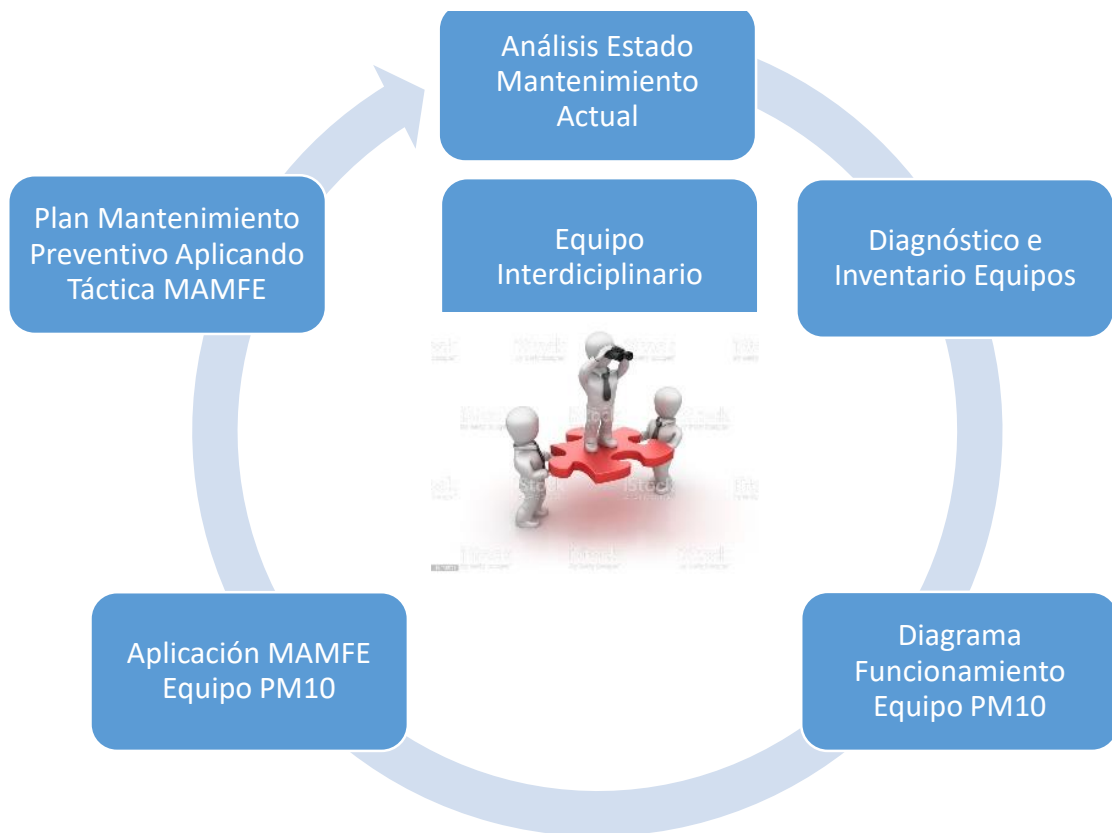
Seguidamente definimos las funciones, los modos de fallo, causas de fallo, para luego valorar la severidad, ocurrencia y la detección asignando un valor entre 1 a 10, para poder calcular el número de prioridad de riesgo NPR.

Por último, tras la evaluación del riesgo, se formulará un programa de mantenimiento preventivo, implementando acciones correctivas como rutinas de mantenimiento, procedimientos de mantenimiento para minimizar la frecuencia de

fallas, disminuyendo el N.P.R con las acciones implantadas para mejorar la disponibilidad de los equipos.

En la Figura 17 se muestra la metodología empleada en el diseño del plan de mantenimiento preventivo para los muestreadores de aire PM10 de la organización.

Figura 17. Metodología empleada



Fuente: Elaboración propia

7.1 ANÁLISIS DEL ESTADO DEL MANTENIMIENTO ACTUAL

La organización SIAM INGENIERÍA S.A.S realiza actividades de mantenimiento netamente correctivo para sus equipos de monitoreo PM10.

Cuentan con un plan de mantenimiento preventivo básico en donde se registran las actividades de mantenimiento, hojas de vida de los equipos donde se consignan los datos del equipo y las características, los componentes o instrumentos principales que conforman el equipo. Además, las rutinas de limpieza general y cambio de escobillas del motor-ventilador son las actividades de mantenimiento correctivo programado cada 432 horas.

Con lo anterior se puede concluir lo siguiente:

- El mantenimiento generalmente es correctivo.
- No cuenta con un programa estructurado de mantenimiento preventivo que describa las actividades de mantenimiento.
- No poseen procedimientos estandarizados de mantenimiento para cambio de escobillas del motor-ventilador.

7.2 DIAGNÓSTICO E INVENTARIO DE EQUIPOS

La organización SIAM INGENIERÍA S.A.S cuenta con una gran variedad de equipos que son utilizados para prestar sus servicios de consultoría ambiental, entre ellos podemos destacar: analizadores de dióxido de azufre (SO₂), óxido de nitrógeno (NO₂), balanza digitales, calibradores de ozono (O₃), de gases, espectrofotómetro, horno de secado, muestreadores de partículas de elevada capacidad modelo PM10, de partículas suspendidas totales (PST), de bajo volumen PM2,5, bombas especializadas, sonómetros, kits de calibración para muestreadores de partículas y rack de gases. Tiene en su inventario 63 equipos.

La táctica AMFE se enfocará en los equipos de monitoreo de partículas PM10. En la Tabla 4 se muestra en diferentes columnas el nombre del equipo, la marca, tag del equipo asignado por parte de la empresa, y tres columnas donde se relaciona el estado del equipo; bueno, regular o malo respectivamente.

La organización SIAM INGENIERÍA S.A.S actualmente cuenta con 4 muestreadores ambientales de elevada capacidad para el monitoreo de material particulado menor a 10µm en la atmósfera.

Estos equipos son considerados críticos dentro del proceso de monitoreo de material particulado y deben acogerse a un trato especial en la operación como en el mantenimiento. De allí el objetivo de este capítulo el cual da el comienzo al análisis metodológico del AMFE y alcanzar así un proceso claro y ordenado de un programa de PM en base al índice prioridad de riesgo NPR, además se tendrá en cuenta las recomendaciones del fabricante.

Tabla 4. Inventario de equipos

ITEM	EQUIPO	MARCA	TAG EQUIPO	BUENO	REGULAR	MALO
1	AIRE ACONDICIONADO	SIMPLY	E-LAB-015	X		
2	AIRE ACONDICIONADO	SIMPLY	E-LAB-019	X		
3	ANALIZADOR DE DIÓXIDO DE AZUFRE SO ₂	THERMO ENVIROMENTAL INSTRUMENT	E-CAM-AUTO-11	X		
4	ANALIZADOR DE DIÓXIDO DE AZUFRE E HIDRÓGENO DE SULFURO H ₂ S-SO ₂	THERMO ENVIROMENTAL INSTRUMENT	E-CAM-AUTO-10	X		
5	ANALIZADOR DE MONOXIDO DE CARBONO CO	THERMO ENVIROMENTAL INSTRUMENT	E-CAM-AUTO-01	X		
6	ANALIZADOR DE MONOXIDO DE CARBONO CO	THERMO ENVIROMENTAL INSTRUMENT	E-CAM-AUTO-02	X		
7	ANALIZADOR DE MONOXIDO DE CARBONO CO	THERMO ENVIROMENTAL INSTRUMENT	E-CAM-AUTO-03	X		
8	ANALIZADOR DE MONOXIDO DE CARBONO CO	THERMO ENVIROMENTAL INSTRUMENT	E-CAM-AUTO-19	X		
9	ANALIZADOR DE OZONO O ₃	THERMO ENVIROMENTAL INSTRUMENT	E-CAM-AUTO-12	X		
10	ANALIZADOR DE OZONO O ₃	THERMO ENVIROMENTAL INSTRUMENT	E-CAM-AUTO-18	X		
11	ANALIZADOR DE OZONO O ₃	THERMO ENVIROMENTAL INSTRUMENT	E-CAM-AUTO-21	X		
12	ANALIZADOR ÓXIDO DE NITROGENO NO-NO ₂ -NO _X	THERMO FISHER SCIENTIFIC	E-CAM-AUTO-07	X		
13	ANALIZADOR ÓXIDO DE NITROGENO NO-NO ₂ -NO _X	THERMO FISHER SCIENTIFIC	E-CAM-AUTO-08	X		
14	ANALIZADOR ÓXIDO DE NITROGENO NO-NO ₂ -NO _X	THERMO FISHER SCIENTIFIC	E-CAM-AUTO-22	X		
15	ANALIZADOR ÓXIDO DE NITROGENO NO-NO ₂ -NO _X	THERMO FISHER SCIENTIFIC	E-CAM-AUTO-23	X		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Continuación inventario de equipos

ITEM	EQUIPO	MARCA	TAG EQUIPO	BUENO	REGULAR	MALO
16	BALANZA DIGITAL	PROFESSIONAL DIGITAL	E-CAM-ISO-04	X		
17	BAÑO MARÍA		E-LAB-008	X		
18	BOMBA MÉTODO 7	GAST	E-CAM-ISO-05	X		
19	CABINA EXTRACTORA		E-LAB-012	X		
20	CALIBRADOR BIOS DEFENDER 510	BIOS INTERNATIONAL COPR	E-CAM-CAL-07	X		
21	CALIBRADOR DE OZONO O3	THERMO ENVIROMENTAL INSTRUMENT	E-CAM-CAL-06	X		
22	CALIBRADOR DIGITAL BIOS	BGI	E-CAM-CAL-10	X		
23	CALIBRADOR GASES DINÁMICO TELEDYNE	TELEDYNE	E-CAM-CAL-11	X		
24	CALIBRADOR VARIFLOW TISCH	TISCH ENVIRONMENTAL	E-CAM-CAL-03	X		
25	CONVERTIDOR H2S	THERMO ENVIROMENTAL INSTRUMENT	E-CAM-AUTO- 15	X		
26	DAVIS VANTE PRO 2	DAVIS PRO 2 PLUS	E-CAM-MET- 08	X		
27	DELTA CAL BGI	BGI	E-CAM-CAL-01	X		
28	EQUIPO ISOCINÉTICO	APEX INSTRUMENT INC	E-CAM-ISO-01	X		
29	ESPECTROFOTÓMETRO	THERMO SCIENTIFIC	E-LAB-007	X		
30	ESTACIÓN DAVIS PRO 2 PLUS	DAVIS PRO 2 PLUS	E-CAM-MET- 02	X		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Continuación inventario de equipos

ITEM	EQUIPO	MARCA	TAG EQUIPO	BUENO	REGULAR	MALO
31	ESTACIÓN DAVIS PRO PLUS	DAVIS PRO 2 PLUS	E-CAM-MET-01	X		
32	ESTACIÓN DAVIS VANTAGE 2	DAVIS VANTAGE 2	E-CAM-MET-04	X		
33	ESTACIÓN DAVIS VUE	DAVIS VANTAGE VUE	E-CAM-MET-03	X		
34	ESTACIÓN EASY WEATHER	EASY WEATHER	E-CAM-MET-05	X		
35	ESTACIÓN EASY WEATHER	EASY WEATHER	E-CAM-MET-06	X		
36	ESTACIÓN EASY WEATHER	EASY WEATHER	E-CAM-MET-07	X		
37	GENERADOR AIRE ZERO	NA	E-CAM-AUTO-16	X		
38	HORNO DE SECADO		E-LAB-009	X		
39	KIT DE COMBUSTIÓN FYLITE	BACHARFACH INC	E-CAM-ISO-02	X		
40	MUESTREADOR PARTÍCULAS ALTO VOLUMEN PM10	TISCH ENVIRONMENTAL	E-CAM-PM10-01	X		
41	MUESTREADOR PARTÍCULAS ALTO VOLUMEN PM10	TISCH ENVIRONMENTAL	E-CAM-PM10-02	X		
42	MUESTREADOR PARTÍCULAS ALTO VOLUMEN PM10	TISCH ENVIRONMENTAL	E-CAM-PM10-03	X		
43	MUESTREADOR PARTÍCULAS ALTO VOLUMEN PM10	TISCH ENVIRONMENTAL	E-CAM-PM10-04	X		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Continuación inventario de equipos

ITEM	EQUIPO	MARCA	TAG EQUIPO	BUENO	REGULAR	MALO
44	MUESTREADOR PARTÍCULAS ALTO VOLUMEN PST	TISCH ENVIRONMENTAL	E-CAM-PST-01	X		
45	MUESTREADOR PARTÍCULAS ALTO VOLUMEN PST	TISCH ENVIRONMENTAL	E-CAM-PST-02	X		
46	MUESTREADOR PARTÍCULAS ALTO VOLUMEN PST	TISCH ENVIRONMENTAL	E-CAM-PST-03	X		
47	MUESTREADOR PARTÍCULAS ALTO VOLUMEN PST	TISCH ENVIRONMENTAL	E-CAM-PST-04	X		
48	MUESTREADOR PARTÍCULAS BAJO VOLUMEN PM2,5	PARTISOL	E-CAM-LOW- 01	X		
49	MUESTREADOR PARTÍCULAS BAJO VOLUMEN PM2,5	PARTISOL	E-CAM-LOW- 02	X		
50	MUESTREADOR PARTÍCULAS BAJO VOLUMEN PM2,5	PARTISOL	E-CAM-LOW- 03	X		
51	MUESTREADOR PARTÍCULAS BAJO VOLUMEN PM2,5	PARTISOL	E-CAM-LOW- 04	X		
52	RACK 3 GASES	NA	E-CAM-RACK- 01	X		
53	RACK 3 GASES	NA	E-CAM-RACK- 02	X		
54	RACK 3 GASES	NA	E-CAM-RACK- 03	X		
55	RACK 3 GASES	NA	E-CAM-RACK- 04	X		
56	SIMULADOR TEMPERATURA	NA	E-CAM-ISO-03	X		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Continuación inventario de equipos

ITEM	EQUIPO	MARCA	TAG EQUIPO	BUENO	REGULAR	MALO
57	SONOMETRO 3M	3M	E-CAM-SON-02	X		
58	SONOMETRO QUEST TECHNOLOGIES	QUEST	E-CAM-CON-04	X		
59	SONOMETRO CLASE 1 953	SVANTEK	E-CAM-SON-03	X		
60	SONOMETRO CLASE 1 971	SVANTEK	E-CAM-SON-01	X		
61	TO-17	NA	E-CAM-TO-17	X		
62	TRANSFERPIPETA	BRAND	E-LAB-011	X		
63	TRANSFERPIPETA	BRAND	E-LAB-018	X		

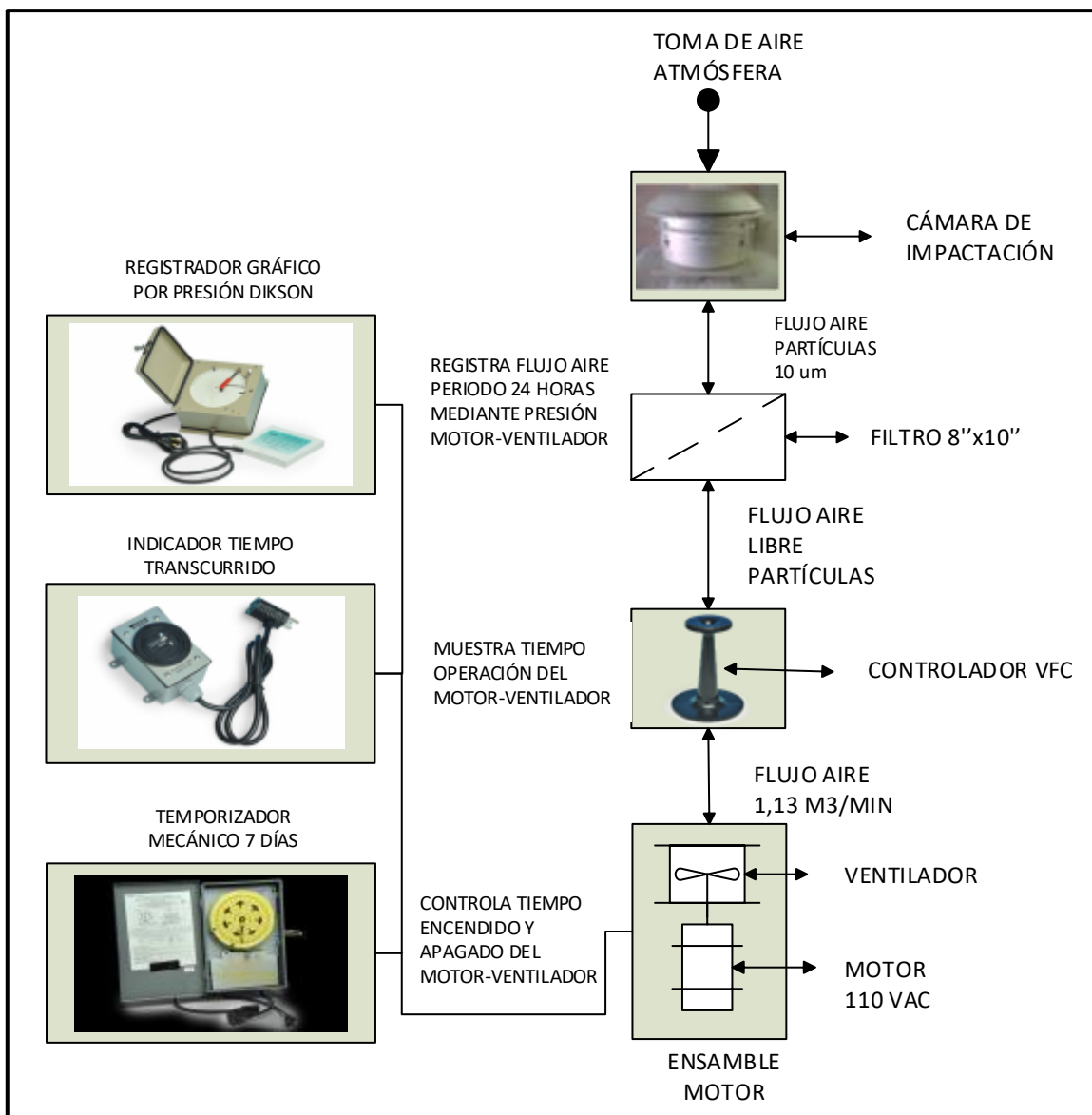
Fuente: Elaboración propia.

7.3 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO MUESTREADOR ELEVADA CAPACIDAD PM10

Un muestreador de partículas de elevada capacidad modelo PM10 está compuesto por un registrador de presión de 24 horas, trasladable, con escala de 0 a 500 psi; una cámara de impactación completamente hermética cuya función principal es darle un cambio repentino en la dirección del flujo de aire (internamente está compuesta por dos etapas superior e inferior excéntricas con 16 tubos de ventilación); un indicador de tiempo transcurrido mecánico, simplemente señala el tiempo del monitoreo; un porta-filtro, su competencia es fijar el filtro; un filtro, especialmente diseñado para retener partículas de 10µm; un temporizador mecánico para 7 días, su labor es controlar el flujo de energía eléctrica al motor-ventilador; un controlador de flujo volumétrico (VFC) que convierte el flujo de aire laminar a una corriente de aire turbulento con destino al interior del motor-ventilador; conjunto motor-ventilador que suministra un corriente de aire que atraviesa un filtro de partículas el cual retiene material particulado de un tamaño de 10µm. La alimentación eléctrica del equipo es de 110 voltios de corriente alterna.

La Figura 18 revela la relación que existe entre la cámara de impactación, filtro de partículas, controlador de flujo volumétrico VFC, el conjunto motor-ventilador, el registrador gráfico de presión, el indicador de tiempo y el temporizador mecánico de 7 días.

Figura 18. Diagrama de funcionamiento muestreador de partículas PM10



Fuente: Elaboración propia

7.4 APLICACIÓN LA TÁCTICA ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS PARA EQUIPOS MAMFE EQUIPOS PM10

El muestreador de partículas de elevada capacidad PM10 se dividió en cuatro subsistemas: sistema de succión de partículas; conformado por cuatro componentes: cámara de impactación, porta filtro, controlador VFC y ensamble motor-ventilador, sistema de control; conformado por dos componentes: controlador de flujo y reloj programador digital semanal, sistema de registro de tiempo; conformado por un componente: el indicador de tiempo transcurrido y el sistema de registro de flujo; conformado por el registrador por presión flujo continuo.

Para cada uno de estos sistemas se definió las funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla para cada modo de falla y las causas para cada modo de falla. Para mayor información del MAMFE referirse al anexo A donde se muestra la plantilla del MAMFE desarrollada para los muestreadores ambientales PM10.

En el anexo B se presenta el desarrollo del instructivo estándar para el cambio de escobillas del montaje motor-ventilador para brindarle una ayuda al técnico de mantenimiento a la hora de realizar su respectivo cambio de escobillas.

En el anexo C se encuentra el programa de PM generado con base en la implementación de la táctica MAMFE enfocada a los muestreadores ambientales PM10, de la organización SIAM INGENIERÍA S.A.S.

7.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- En el sistema de succión de partículas el modo de falla más común es 1.3.3.1 este evento ocurre anualmente, este repuesto fue homologado por un proveedor local. Para prevenir los modos de falla 2.1.3.2 y 2.1.3.3 se implementó una rutina de lubricación cada 500 horas de operación con grasa multipropósito marca Kroil grado NGLI 2 para evitar el desgaste abrasivo

entre las superficies de las tuercas y los espárragos. El modo de falla 5.1.1.3 tiene una frecuencia de 500 horas de operación, son reemplazadas conforme al instructivo IN-MTO-001.

- El consumo de pares de escobillas paso de 84 pares a 72 pares de escobillas anualmente entre los cuatros muestreadores ambientales PM10. Se redujo un 14,3 por ciento en repuestos.
- En áreas cercanas a minas de carbón en donde el promedio de partículas suspendidas totales en sitio es de $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ se disminuyó de 42 horas hombre limpieza a 12 horas hombre de limpieza de las dos etapas de la cámara de impactación. Se contrajo un 71,4 por ciento de horas de limpieza en la cámara de impactación.

8. CONCLUSIONES

- La elaboración e implementación de un procedimiento para el cambio de escobillas del conjunto motor-ventilador eliminó la mala instalación de las escobillas en el motor, ya que requería un periodo de 10 minutos con un voltaje nominal del equipo al 50% para garantizar un buen asentamiento de las mismas. Además el paso a paso de actividades garantiza al técnico de mantenimiento un procedimiento seguro sin pérdidas de tiempo en el desmontaje y montaje del equipo.
- El desarrollo de la táctica expuesta en esta monografía, permitió recolectar información relacionada con las fallas presentadas por cada uno de los sistemas que conforman un muestreador ambiental PM10, proporcionó un análisis completo del funcionamiento del equipo, así mismo estableció los modos de fallas que caracterizan estos equipos.
- Se realizó un programa de MP para los muestreadores ambientales PM10 basado en el número de prioridad de riesgo NPR más críticos para cada sistema que integra el equipo. La mayor parte de los sistemas tienen una rutina de 500 horas de servicio la cual incluye limpieza, inspección, lubricación y ajuste de cada uno de sus componentes, para el sistema de succión de partículas depende del promedio de partículas suspendidas totales en sitio, la rutina puede variar entre 2, 3, 5 y 10 meses, dependiendo de la concentración de partículas suspendidas en sitio.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar capacitaciones periódicas al personal de mantenimiento y técnicos de campo fortalecerá el conocimiento, aumentando la competencia del personal la cual se verá reflejada en la disponibilidad de los equipos para cumplir a satisfacción los cronogramas de monitoreo de los clientes de la compañía.
- Realizar el estudio para la adquisición de un software de mantenimiento que se ajuste al presupuesto de la compañía, mejoraría la rentabilidad de la compañía y al control de los costos y mejorar la eficacia de sus activos.

BIBLIOGRAFÍA

BOERO, Carlos. Gestión de mantenimiento industrial. Córdoba, Argentina: editorial Brujas. 2017. 112 p. ISBN: 978-987-591-826-9

BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga, Colombia: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANTER. 2013. 159 p.

DUFFUAA, Salih O.; RAOUF, A y DIXON CAMPBELL, John. Sistemas de mantenimiento. Planeación y control. México: Editorial Limusa. 2000. 419 p. ISBN: 968-18-5918-9.

LEFCOVICH, Mauricio. TPM mantenimiento productivo total: un paso más hacia la excelencia empresaria. Editorial El Cid. 2009. 17 p.

MAYES, Timothy R y SHANK, Todd M. Análisis financiero con Microsoft Excel. México: Editorial Cengage Learning. 2005. 460 p. ISBN: 10:607-481-428-7.

MEDRANO MÁRQUEZ, José Ángel; GONZÁLEZ AJUECH, Víctor Leví y DÍAZ DE LEON SANTIAGO, Vicente Miguel. Mantenimiento Técnicas y aplicaciones industriales. México: Grupo Editorial Patria. 2017. 305 p. ISBN: 978-607-744-709-2.

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento industrial efectivo. Medellín, Colombia: Editorial Coldi LTDA. 2014. 340 p. ISBN: 978-958-98902-0-2.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Reino Unido: editorial Aladon. 2004. 433 p. ISBN: 09539603-2-3.

NAVARRO ELOLA, Luis; PASTOR TEJEDOR, Ana Clara y MUGABURU LACABRERA, Jaime Miguel. Gestión integral de mantenimiento. Barcelona, España: editorial Marcombo Boixareu. 1997. 113 p. ISBN: 978-84-267-1121-2.

Anexo A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10

Cuadro 1. MAMFE enfocada a muestreadores ambientales PM10

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS Y SUS EFECTOS AMFE											
EQUIPO	MUESTREADOR PM10	EQUIPO DE TRABAJO		AMFE N°:	1		PAGINA:				
MARCA	TISCH ENVIRONMENTAL	HÉCTOR E. TORRES	JULIO C. GUERRA	PREPARADO POR:	HÉCTOR TORRES		REVISIÓN:				
ÁREA	MONITOREO	JHON ROJAS		FECHA:	31/05/2021		CONTROL ACTUAL				
SUB SISTEMA	N-1 COMPONENTE	N-2 FUNCIÓN	N-3 FALLA FUNCIONAL	N-4 MODO DE FALLA	EFECTO FALLA	S	O CAUSA FALLO	D	NPR		
SISTEMA DE SUCCIÓN DE PARTICULAS	1 Cámara de impactación	1.1 Cambiar abruptamente la dirección del flujo de aire	1.1.1 Flujo de aire en una sola dirección	1.1.1.1	Boquillas de aceleración perforadas	5	Manejo inadecuado	6	Ninguno	4	120
				1.1.1.2	Lámina con 16 tubos de ventilación de primera etapa perforados	5	Baja calidad componente	6	Ninguno	4	120
				1.2.2.1	Boquillas de aceleración golpeada, perforada o doblada	5	Manejo inadecuado	6	Ninguno	4	120
				1.2.2.2	Lámina con 16 tubos de ventilación de primera etapa perforados	5	Manejo inadecuado	6	Ninguno	3	90
				1.2.2.3	Carcasa tubular superior perforada	5	Manejo inadecuado	6	Ninguno	3	90
				1.2.2.4	Carcasa tubular inferior perforada	5	Manejo inadecuado	6	Ninguno	3	90
				1.3.3.1	Carcasa tubular superior perforada	5	Manejo inadecuado	6	Ninguno	3	90
				1.3.3.2	Carcasa tubular inferior perforada	5	Manejo inadecuado	6	Ninguno	3	90
				1.3.3.1	Sellos de la cámara de impactación dañados	5	Manejo inadecuado	6	Ninguno	4	120
				1.4	Impedir que el agua entre en el interior de la cámara impactación	3	Mantenimiento deficiente	6	Ninguno	3	54
				1.4.4	Ingreso de agua en el interior de cámara de impactación	3	Mantenimiento deficiente	6	Ninguno	3	54
				1.4.4.1	Cubierta superior perforada	3	Mantenimiento deficiente	6	Ninguno	3	54
				1.4.4.1	Ingreso de agua en el interior de cámara de impactación	3	Mantenimiento deficiente	6	Ninguno	3	54

Fuente: Elaboración propia

ANEXO A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10

Cuadro 2. (Continuación)

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS Y SUS EFECTOS AMFE																			
EQUIPO	MUESTREADOR PM10		EQUIPO DE TRABAJO		AMFE N°:	1		PAGINA:	D	NPR									
	MARCA	TISCH ENVIRONMENTAL MONITOREO	HÉCTOR E. TORRES JHON ROJAS	JULIO C. GUERRA		HÉCTOR TORRES	CAUSA FALLO				CONTROL ACTUAL								
ÁREA	COMPONENTE	N-2	FUNCION	N-3	FALLA FUNCIONAL	N-4	MODO DE FALLA	FECHA:	PREPARADO POR:	REVISIÓN:									
SUB SISTEMA	N-1	N-2	FUNCION	N-3	FALLA FUNCIONAL	N-4	MODO DE FALLA	EFECTO FALLA	S	O									
SISTEMAS SUCCION DE PARTICULAS	2	Porta-filtro	2.1	Fijar el filtro en la posición para poder tomar el muestreo de partículas de 10µm	2.1.1	Separación del filtro de la posición de muestreo de partículas de 10µm	2.1.1.1	Filtro de partículas perforado	Aumento de flujo de aire hacia interior motor-ventilador	3	Manejo inadecuado	6	Ninguno	4	72				
								2.1.1.2		Filtro inapropiado del muestreador	3	Baja calidad componente	6	Ninguno	4	72			
							2.1.2	Obstrucción de la corriente de aire en dirección al motor-ventilador	2.1.2.1	Filtro de aire saturado	Disminución del flujo de aire hacia interior motor-ventilador	3	Selección inapropiada componentes	6	Ninguno	6	Ninguno	4	72
										3		Material incorrecto	6	Ninguno	4	72			
							2.1.3	Fuga de aire en la captura de partículas de 10µm proceso de muestreo	2.1.3.1	Sellos 8"x10" dañados	Arrastre de partículas de 10µm hacia interior motor-ventilador	5	Mantenimiento deficiente	6	Ninguno	6	Ninguno	4	72
										3		Sobre-carga motor-ventilador	6	Ninguno	4	72			
							2.1.3.2	Tuercas desgastadas del marco sujeción en aluminio	2.1.3.3	Esparragos en bronce desgastados	Perdida de propiedades del material por el tiempo de uso	5	Falta de lubricación	6	Ninguno	6	Ninguno	4	120
										5		Falta de lubricación	6	Ninguno	4	120			
										5		Falta de lubricación	6	Ninguno	4	120			

Fuente: Elaboración propia

ANEXO A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTRADORES AMBIENTALES PM10

Cuadro 3. (Continuación)

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS Y SUS EFECTOS AMIFE															
EQUIPO	MUESTRADOR PM10	EQUIPO DE TRABAJO		AMFE N°:	1		PAGINA:								
MARCA	TISCH ENVIRONMENTAL	HÉCTOR E. TORRES	JULIO C. GUERRA	PREPARADO POR:	HÉCTOR TORRES										
ÁREA	MONITOREO	JHON ROJAS		FECHA:	31/05/2021		REVISIÓN:								
SUB SISTEMA	N-1 COMPONENTE	N-2 FUNCIÓN	N-3 FALLA FUNCIONAL	N-4 MODO DE FALLA	S EFECTO FALLA	O CAUSA FALLO	CONTROL ACTUAL	D	NPR						
SISTEMA DE SUCCIÓN DE PARTICULAS	3 VFC	3.1 Orientar flujo aire laminar del filtro 8"x10" a flujo aire turbulento hacia interior motor-ventilador	3.1.1 Perdida de canalización del flujo de aire laminar a una corriente de aire turbulento en dirección al motor-ventilador	3.1.1.1	Sellos desgastados	Ingreso de material particulado del exterior mayor a 10µm hacia el interior del motor-ventilador	5	Perdida de propiedades del material por el tiempo de uso	6	Ninguno	4	120			
				3.1.1.2	Tolva perforada		Falla en el registrador de flujo de aire continuo	5		6	Ninguno	4	120		
				3.2.1.1	Controlador fracturado	VFC		5	Manejo inadecuado	6	Ninguno	4	120		
				3.2.1.2	Perdida de conexión entre el motor-ventilador con el porta-filtro de partículas		Perdida de conexión entre el controlador VFC y el Motor-ventilador sueltos o fracturados.	5	Caída de presión en el motor-ventilador ocasionado falla en el registrador de flujo de aire continuo	6	Presencia de vibraciones mecánicas en el motor-ventilador	6	Ninguno	4	120
				3.2.1.3		Sistema de conexión roscado entre controlador VFC y tolva con hilos dañados			5	Torque excesivo en ajuste de los pernos sujeción	6	Ninguno	4	120	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10

Cuadro 4. (Continuación)

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS Y SUS EFECTOS AMFE																				
EQUIPO	MUESTREADOR PM10	EQUIPO DE TRABAJO		AMFE N°:	1		PAGINA:													
MARCA	TISCH ENVIRONMENTAL	JULIO C. GUERRA		PREPARADO POR:	HÉCTOR TORRES															
ÁREA	MONITOREO	JHON ROJAS		FECHA:	31/05/2021		REVISIÓN:													
SUB SISTEMA	N-1 COMPONENTE	N-2	N-3 FUNCIÓN	N-4	MODO DE FALLA	EFECTO FALLA	S	CAUSA FALLO	O	CONTROL ACTUAL	D	NPR								
SISTEMA DE SUCCIÓN DE PARTÍCULAS	4	Ensamble motor-ventilador	4.1	Suministrar flujo de aire entre 1,02 a 1,24 metros cúbicos por minuto	4.1.1	Flujo de aire inferior a 1,02 metros cúbicos por minuto	4.1.1.1	Filtro de partículas saturado	N-4	MODO DE FALLA	EFECTO FALLA	5	Mantenimiento deficiente	6	Ninguno	4	120			
												5	Sobrecarga motor-ventilador	6	Ninguno	4	120			
												5	Material incorrecto	6	Ninguno	4	120			
												5	Manejo inadecuado	6	Ninguno	4	120			
												5	Baja calidad del componente	6	Ninguno	4	120			
												5	Perdida de propiedades del material por el tiempo de uso	6	Ninguno	4	120			
												5	Impacto con un objeto	6	Ninguno	4	120			
												6	Falla en el sistema eléctrico de distribución	6	Ninguno	4	144			
												6	Cable mal entorchado	6	Ninguno	4	144			
												6	Daño interno del rele de potencia	6	Ninguno	4	144			
												6	Desgaste abrasivo material	6	Ninguno	4	144			
												4.1.2	Flujo de aire superior a 1,24 metros cúbicos por minuto	4.1.2.1	Filtro perforado	4.1.2.2	Fuga de aire en los sellos de cámara de impactación	4.1.2.3	Controlador perforado	VFC
												4.1.3	Flujo de aire nulo.	4.1.3.1	Ausencia de fluido eléctrico	4.1.3.2	Cables de conexión del motor en circuito abierto	4.1.3.3	Ausencia señal desde el controlador de flujo.	4.1.3.4

Fuente: Elaboración propia

ANEXO A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES PM10

Cuadro 5. (Continuación)

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS Y SUS EFECTOS AMFE														
EQUIPO	MUESTREADOR PM10	EQUIPO DE TRABAJO		AMFE N°:	1		PÁGINA:							
MARCA	TISCH ENVIRONMENTAL	JULIO C. GUERRA		PREPARADO POR:	HÉCTOR TORRES									
ÁREA	MONITOREO	JHON ROJAS		FECHA:	31/05/2021		REVISIÓN:							
SUB SISTEMA	N-1 COMPONENTE	N-2 FUNCIÓN	N-3 FALLA FUNCIONAL	N-4 MODO DE FALLA	EFFECTO FALLA	S CAUSA FALLO	O CONTROL ACTUAL	D NPR						
SISTEMA CONTROL	5	Controlador de flujo	5.1	Controlar las RPM motor-ventilador	5.1.1.1	Sonda de flujo dañada	Flujo de aire variable	6	Impacto con un objeto	5	Ninguno	4	120	
					5.1.1.2	Cables de conexión del motor en circuito abierto	Flujo de aire de 0 metros cúbicos por minuto	6	Cable mal entrocado	5	Ninguno	4	120	
					5.1.1.3	Par de escobillas dañadas		6	Desgaste abrasivo material	5	Ninguno	4	120	
		6	Reloj programador digital semanal	6.1	No controla tiempo de encendido motor-ventilador	6.1.1.1	Tarjeta interna dañada	Flujo de aire variable	6	Impacto con un objeto	5	Ninguno	4	120
						6.1.1.2	Cables de alimentación eléctrica en circuito abierto	Flujo de aire de 0 metros cúbicos por minuto	6	Cizallamiento entre dos superficies duras	5	Ninguno	4	120
						6.1.1.3	Cables de conexión del motor-ventilador en circuito abierto		6	Sobre-tensión en la red eléctrica	5	Ninguno	4	120
	6	Reloj programador digital semanal	6.1	Controlar tiempo encendido y apagado del motor-ventilador	6.1.1.1	Tarjeta interna dañada	Flujo de aire de 0 metros cúbicos por minuto	6	Impacto con un objeto	5	Ninguno	4	120	
					6.1.1.2	Cables de alimentación eléctrica en circuito abierto		6	Cizallamiento entre dos superficies duras	5	Ninguno	4	120	
					6.1.1.3	Cables de conexión del motor-ventilador en circuito abierto		6	Sobre-tensión en la red eléctrica	5	Ninguno	4	120	
	6.1.2.1	Tempo encendido del motor-ventilador no apaga.		6	Sobre-tensión en la red eléctrica	5	Ninguno	4	120					

Fuente: Elaboración propia

ANEXO A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES
Cuadro 6. (Continuación)

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS Y SUS EFECTOS AMFE																			
EQUIPO	MUESTREADOR PM10	EQUIPO DE TRABAJO		AMFE N°:	1		PAGINA:												
MARCA	TISCH ENVIRONMENTAL	JULIO C. GUERRA		PREPARADO POR:	HÉCTOR TORRES		REVISIÓN:												
ÁREA	MONITOREO	JHON ROJAS		FECHA:	31/05/2021		REVISIÓN:												
SUB SISTEMA	N-1 COMPONENTE	N-2	FUNCIÓN	N-3	FALLA FUNCIONAL	N-4	MODO DE FALLA	EFEECTO FALLA	S CAUSA FALLO	O CONTROL ACTUAL	D NPR								
SISTEMA REGISTRO TIEMPO	7	Indicador tiempo transcurrido	Registrar el tiempo de operación del motor-ventilador	7.1.1	No registra tiempo de duración del monitoreo	7.1.1.1	Ausencia de fluido eléctrico	Tiempo no registrado de operación muestreador particulares	3	Protección principal activada	5	5	Ninguno	4	60				
									Falla en el sistema eléctrico de distribución	3		5		4	60				
									No hay energía eléctrica										
									Cables de alimentación eléctrica en circuito abierto	7.1.2	Ausencia de fluido eléctrico	7.1.2.2				3	Cizallamiento entre dos superficies duras	5	5
				7.1.3	Desfase de medición		Desgaste mecanismos internos	Dientes del tren de engranes desgastados o fracturados	6	Mantenimiento deficiente	5	5	Ninguno	4	120				

Fuente: Elaboración propia

ANEXO A. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS ENFOCADO A MUESTREADORES AMBIENTALES

Cuadro 7. (Continuación)

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS Y SUS EFECTOS AMFE													
EQUIPO	MUESTREADOR PM10	EQUIPO DE TRABAJO		AMFE N°:	1		PAGINA:						
MARCA	TISCH ENVIRONMENTAL	HÉCTOR E. TORRES	JULIO C. GUERRA	PREPARADO POR:	HÉCTOR TORRES								
ÁREA	MONITOREO	JHON ROJAS		FECHA:	31/05/2021		REVISIÓN:						
SUB SISTEMA	N-1 COMPONENTE	N-2	N-3	N-4	MODO DE FALLA	EFECTO FALLA	S	CAUSA FALLO	O	CONTROL ACTUAL	D	NPR	
SISTEMA REGISTRO FLUJO	8	8.1	Registrar flujo de aire del periodo de muestreo mediante la caída de presión generada por el motor-ventilador en la parte posterior.	No registra el flujo de aire del periodo de muestreo	8.1.1.1	Manguera neumática tiene fuga	Flujo de aire no registrado durante la operación del muestreador de partículas	3	Empalme incorrecto	5	Ninguno	4	60
					8.1.1.2	Punta de bolígrafo rojo desgastada		3	Perdida de propiedades del material por el tiempo de uso	5	Ninguno	4	60
					8.1.1.3	Ausencia de fluido eléctrico		3	Falla en el sistema eléctrico de distribución	5	Ninguno	4	60
					8.1.1.4	Motor impulsor dañado		3	Sobre-tensión en la red eléctrica	5	Ninguno	4	60
					8.1.1.5	Punta de bolígrafo rojo sin tinta		6	Desgaste abrasivo delgas del recipiente contenedor	6	Ninguno	4	144
					8.1.1.6	Cable de alimentación eléctrica en circuito abierto		3	Cizallamiento entre dos superficies duras	5	Ninguno	4	60

Fuente: Elaboración propia

**Anexo B. INSTRUCTIVO PARA EL CAMBIO DE ESCOBILLAS AL
MONTAJE MOTOR-VENTILADOR**

INSTRUCTIVO PARA EL CAMBIO DE ESCOBILLAS DEL MOTOR-VENTILADOR DEL MUESTREADOR AMBIENTAL PM10		IN-MTO-001
Revisión No. 01	Fecha de Revisión:	Página 1 de 2.
Revisado por: Coordinador SIG	Aprobado por: Gerencia	

JUSTIFICACIÓN.

Para el crecimiento de la labor económica de SIAMINGENIERIA SAS, es indispensable disponer en un estado óptimo sus muestreadores ambientales PM10, por esto se diseñó un instructivo para el cambio de escobillas del motor-ventilador de los muestreadores ambientales PM10, el cual ayudara a asegurar el correcto funcionamiento del motor-ventilador.

OBJETIVO.

- Fijar los criterios necesarios y el paso a paso que debe poseer el personal de mantenimiento para efectuar el cambio de escobillas del motor-ventilador del muestreador ambiental PM10.

ALCANCE.

Este instructivo se empleara en absoluto al equipo relacionado con procedimientos de mantenimiento de los muestreadores ambientales PM10 de SIAMINGENIERIA SAS.

DEFINICIONES.

- **Cámara de Impactación:** Dispositivo mecánico compuesto por dos etapas superior e inferior de un plato con tubos de ventilación excéntricos, su función principal es dejar circular partículas de un tamaño de 10µm
- **Desatornillador:** Herramienta que se usa para ajustar o soltar tornillos u otros elementos de máquinas que demandan poca fuerza de apriete.
- **Escobillas de Carbón:** Componente cuyo propósito es ejercer la presión necesaria sobre los colectores o anillos rotatorios del rotor del motor eléctrico, y que de esta forma se pueda llevar a cabo el contacto para el paso de la electricidad generando un campo magnético que genera una rotación en el eje del motor eléctrico.
- **Filtro:** Dispositivo a través del cual se hace pasar un flujo de aire para retener partículas de 10µm.

- **Filtro de Aire:** La función principal de este elemento es la de contener partículas de un tamaño de 10µm que ingresan a la cámara de impactación por el flujo de aire suministrado por el motor-ventilador.
- **Llave Mixta:** Herramienta mecánica cuya función principal es ajustar o soltar tuercas y cabezas de tornillos en uno de sus extremos es boca fija y en el otro es estriada.
- **Motor-Ventilador:** Dispositivo electro-mecánico compuesto por un motor eléctrico de 110 voltios de corriente alterna y un ventilador axial para suministrar un flujo de aire entre 1,02 a 1,24 metros cúbicos por minuto en el interior de la cámara de impactación.

DESARROLLO.

Este instructivo se ejecutara una vez el motor-ventilador cumpla las horas o este próximo a cumplirlo; se programa el muestreador ambiental PM10 para mantenimiento preventivo y se designa el personal para el proceso de mantenimiento el cual tendrá en cuenta los siguientes pasos para realizar el procedimiento:

- **DESMONTAJE.**
 1. Desconectar el equipo de la red eléctrica.
 2. Verificación visual del equipo PM10 se encuentre desconectado de la red eléctrica.
 3. Abrir gabinete frontal del equipo PM10.
 4. Retirar el montaje motor-ventilador del gabinete frontal equipo PM10.
 5. Ubicar el montaje motor-ventilador en lugar cómodo.
 6. Desenroscar la pieza entre el porta filtró y el controlador flujo volumétrico VFC.
 7. Con un destornillador de cabeza de estrella, afloje y retire los 8 pernos entre la carcasa del motor y el controlador flujo volumétrico VFC.
 8. Retire el anillo sujeción del motor con 8 agujeros.
 9. Retire el controlador de flujo volumétrico VFC.
 10. Retire la junta de brida del controlador flujo volumétrico VFC con 8 agujeros.
 11. Voltrear la carcasa del motor boca abajo.
 12. Afloje el retenedor del cable y luego empuje el cable hacia la carcasa y, al mismo tiempo, deje que el motor se deslice y exponga las escobillas.
 13. Retirar el conector resorte rojo y desenroscar los cables de una de las terminales de conexión del motor.
 14. Retirar el conector resorte rojo y desenroscar los cables del otro extremo de conexión del motor.
 15. Con un destornillador de tuerca de 5/16" afloje y retire el perno que sujeta la terminal de tierra del motor.
 16. Retire el anillo espaciador del motor.
 17. Retire el cojín del motor.
 18. Retire el anillo espaciador número 2 del motor.

19. Retire del empaque el par de escobillas nuevas.
20. Con un destornillador de cabeza de estrella, afloje y retire los dos pernos que sujetan la escobilla.
21. Con un destornillador de cabeza plana, sostenga el conector plano que conecta la escobilla y jale del lado contrario la escobilla.
22. Realizar los pasos 20 y 21 para la otra escobilla.
23. Montar la escobilla nueva, con un destornillador de cabeza plana sostener el conector plano del cable y ejercer presión en la parte posterior de las escobillas para realizar la conexión entre el conector plano del cable y la terminal de la escobilla nueva.
24. Ubicar el punto de la carcasa de la escobilla en el agujero de la carcasa del motor en la zona donde va montada la escobilla.
25. Ubicar el soporte de la escobilla, y ajustar los 2 pernos con un atornillador de cabeza de estrella.
26. Realizar los pasos 23, 24 y 25 para la otra escobilla.

• **MONTAJE**

1. Conectar el terminal de ojo del cable color verde con un destornillador de tuerca de 5/16", apretar el perno en la carcasa del motor.
2. Enroscar una de la terminal del cable del motor con un extremo del cable de conexión del motor.
3. Colocar el conector resorte rojo en los cables enroscados.
4. Realizar los pasos 2 y 3 para el otro extremo de los terminales.
5. Colocar el anillo espaciador del motor.
6. Colocar el cojín del motor.
7. Colocar el anillo espaciador número 2 del motor.
8. Voltear la carcasa del motor boca abajo, jalar suavemente el cable de conexión y dejar caer la carcasa del motor sobre el motor-ventilador.
9. Ajustar el retenedor del cable.
10. Colocar la junta de brida del controlador flujo volumétrico VFC con 8 agujeros.
11. Colocar el controlador de flujo volumétrico VFC concéntricamente con los 8 agujeros.
12. Colocar el anillo sujeción del motor concéntricamente con los 8 agujeros.
13. Colocar y ajustar los 8 pernos con un destornillador de cabeza de estrella.
14. Colocar y ajustar la pieza entre el porta filtró y el controlador flujo volumétrico VFC.
15. Regule el controlador del motor al 50%.
16. Conecte el montaje motor-ventilador al controlador del motor.
17. Conecte el controlador del motor a la red eléctrica y dejarlo 10 minutos para el asentamiento de las escobillas.
18. Desconecte el controlador del motor de la red eléctrica.
19. Desconecte el montaje motor-ventilador del controlador del motor.

20. Ubicar el montaje motor-ventilador en el gabinete frontal del equipo PM10.

21. Cerrar el gabinete frontal equipo PM10.

**Anexo C. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
MUESTREADORES AMBIENTALES PM10**

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MUESTREADORES AMBIENTALES PM10		P-MTO-001
Revisión No. 01	Fecha de Revisión:	Página 1 de2.
Revisado por: Coordinador SIG	Aprobado por: Gerencia	
ELABORÓ NOMBRE: HÉCTOR TORRES		
SISTEMA SUCCIÓN DE PARTÍCULAS		
Placa de la segunda etapa con tubos de ventilación de la etapa de entrada selectiva de tamaños. Frecuencia de limpieza.		
Promedio de partículas suspendidas totales en sitio	Número de días de muestreo	Asumiendo un muestreo diario
40µg/m ³	50	10 meses
75µg/m ³	25	5 meses
150µg/m ³	13	3 meses
200µg/m ³	10	2 meses
Componente	Actividad	
Placa de la segunda etapa con tubos de ventilación de la etapa de entrada selectiva de tamaños	Limpieza general con un trapo limpio.	
	Aplique una capa de silicona especial Dow Corning a los tubos de ventilación.	
Placa de boquillas de aceleración con 9 boquillas.	Limpieza general con un trapo limpio.	
	Aplique una capa de silicona especial Dow Corning a los tubos de ventilación.	
Junta de la placa de la boquilla de aceleración.	Verificar el estado de las juntas de la cámara de impactación. Cambiar si es necesario.	

Campana de entrada de la cámara de impactación.	Inspección visual en busca de abolladuras u orificios.
	Inspección visual de los espaciadores de campana y ajustar si es necesario.
Mosquitera.	Inspección visual en busca de agujeros en el telar.
	Retirar objetos extraños del telar.
	Limpieza general.
Gancho de la carcasa de la tina inferior.	Verificar el ajuste de los pernos de sujeción.
Guía de soporte de placa de boquillas de aceleración	Verificar el ajuste de los pernos de sujeción.
	Limpieza general.
	Engrase.
Base soporte para filtro	Verificar el estado de las juntas, cambiar si es necesario.
	Limpieza general.
SISTEMA SUCCIÓN DE PARTÍCULAS	
Montaje motor-ventilador.	
Frecuencia	500 horas de servicio
Componente	Actividad
Montaje motor-ventilador	Cambio de escobillas según el instructivo IN-MTO-001.
	Limpieza general.
	Verificación del flujo de aire con el kit de calibración de resistencia variable TE-5028.
Montaje motor-ventilador	Verificación de terminales del cable de alimentación macho de 12 pulgadas.

	Inspección visual de la manguera que conecta la contra-presión del motor y el registrador de flujo. Reemplazar si es necesario.
Controlador de flujo volumétrico VFC	Limpieza general.
	Inspección visual externa en busca de agujeros o grietas en la carcasa.
	Verificación de la junta, reemplazar si es necesario.
SISTEMA DE CONTROL	
Reloj programador digital semanal.	
Frecuencia	500 horas de servicio
Componente	Actividad
Reloj programador digital semanal	Limpieza general.
	Verificación de funcionamiento.
	Inspección visual clavija de conexión.
	Verificar el nivel de carga de las baterías. Reemplazar si es necesario.
SISTEMA DE REGISTRO DE TIEMPO	
Registrador de tiempo transcurrido.	
Frecuencia	500 horas de servicio
Componente	Actividad
Registrador de tiempo transcurrido	Verificación de terminales del cable de alimentación macho de 12 pulgadas.
	Limpieza general.
	Verificación de funcionamiento.
SISTEMA DE REGISTRO DE FLUJO	
Registrador de flujo.	
Frecuencia	500 horas de servicio.
Componente	Actividad

Registrador de flujo	Inspección visual de la manguera entre el registrador de flujo y el motor.
	Limpieza general.
	Suministro de tinta en el depósito.
	Verificación de funcionamiento.
Requerimientos generales de verificación y calibración del montaje motor-ventilador.	
Frecuencia	Ítem
Instalación en sitio.	Montaje motor-ventilador
Después de 360 horas de muestreo.	
Después de cada cambio de escobillas.	
Cada 3 meses.	
Requerimientos generales de calibración de instrumentos.	
Frecuencia	Ítem
Anual.	Kit de calibración de resistencia variable TE-5028.