

DISEÑO DEL PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL
BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO DEL PROGRAMA DE
INGENIERÍA MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA SEDE
VILLA DEL ROSARIO

autor

OMAR RODRÍGUEZ ROPERO

INGENIERÍA MECATRÓNICA
DEPARTAMENTO MMI
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, noviembre

DISEÑO DEL PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL
BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO DEL PROGRAMA DE
INGENIERÍA MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA SEDE
VILLA DEL ROSARIO

autor

OMAR RODRÍGUEZ ROPERO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Mecatrónico

Director

PABLO YAZEL RÍOS LEON

Ing. Mecánico/ Esp. Automatización Industrial

INGENIERÍA MECATRÓNICA

DEPARTAMENTO MMI

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, noviembre

DEDICATORIA

Este trabajo realizado está dedicado, en primera instancia a Dios por llenarme de salud y de personas que han acompañado mi caminar, a mis padres Orlando Rodríguez Quiroz y Eulogia Roperó Galván que me enseñaron que las cosas se logran con constancia y dedicación, que han hecho de mí un profesional lleno de fundamentos éticos y morales, a mis hermanos Deccy Johana Rodríguez y Jhoan Stephan Rodríguez Roperó que han estado conmigo durante mi crecimiento personal, a mi mejor amigo David Esteban Pabón Gómez que estuvo en momentos complejos y por último a las demás personas que de una u otra manera han aportado su granito de arena este proceso de aprendizaje.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a mi tutor, el Ing. Pablo Yazel Ríos León, por el aporte de sus conocimientos durante el desarrollo de este proyecto; como también a mis jurados el Dr. Rocco Tarantino Alvarado e Ing. Oscar Manuel Duque agradezco de antemano, por sus observaciones y correcciones para una mejora constante, también agradezco a los demás docentes que formaron parte de la elaboración de este proyecto con sus aportes.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad diseñar un protocolo de mantenimiento preventivo para el banco de prácticas electroneumático del programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Pamplona sede Villa del Rosario, esto debido a que dentro de las instalaciones del laboratorio de Mecatrónica no se cuenta con formatos de control y seguimientos de equipos, protocolos de mantenimiento, fichas técnicas actualizadas, protocolos de operatividad; producto del des uso del banco y la falta de prácticas para con el mismo, desde que se dejó a disposición de la Universidad con fines de estudio.

Este proyecto comienza con la etapa de recolección de información de tesis, libros y bases de datos sobre planes o protocolos de mantenimiento preventivo que se ha realizado en sistemas híbridos, tanto a nivel internacional como también a nivel nacional, teniendo presente la vigencia que tienen estos antecedentes, además de obtener las fichas técnicas y recomendaciones del fabricante sobre los elementos del banco de prácticas. Con la información recolectada, se da inicio a la segunda etapa, la cual consta de, contrastar lo investigado anteriormente con la finalidad de determinar la pertenencia de la información y tener una base justificada en la creación del protocolo de mantenimiento preventivo para el banco de prácticas.

Como última etapa, se diseñará el protocolo de mantenimiento preventivo para el banco de prácticas en base a las actividades hechas, quedando todo esto evidenciado en documentos, planillas y formatos, que cumplan con los estándares requeridos para una correcta elaboración de mantenimiento en el banco en cuestión.

ABSTRACT

The purpose of this project is to design a preventive maintenance protocol for the electro-pneumatic practice bench of the Mechatronic Engineering program of the University of Pamplona, Villa del Rosario, due to the fact that within the facilities of the Mechatronics laboratory there are no formats. control and monitoring of equipment, maintenance protocols, updated technical sheets, operating protocols; product of the disuse of the bank and the lack of practices towards it, since it was made available to the University with study fines.

This project begins with the stage of collecting information from theses, books and databases on plans or preventive maintenance protocols that have been carried out in hybrid systems, both internationally and nationally, keeping in mind the validity of these background information, in addition to obtaining the technical data sheets and manufacturer's recommendations on the elements of the practice bench. With the information collected, the second stage begins, which consists of contrasting what was previously investigated in order to determine the ownership of the information and have a justified basis in the creation of the preventive maintenance protocol for the practice bank.

As a last stage, the preventive maintenance protocol for the practice bank will be designed based on the activities carried out, leaving all this evidenced in documents, spreadsheets and formats, which will comply with the standards required for a correct development of maintenance in the bank in question.

CONTENIDO

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
JUSTIFICACIÓN	15
OBJETIVOS	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
GLOSARIO	17
MARCO TEORICO	20
1. GENERALIDADES	20
2. MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	21
2.1 HISTORIA.....	21
2.2 CONCEPTO DE MANTENIMIENTO	24
2.3 OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO	26
2.4 TIPOS DE MANTENIMIENTO	27
2.4.1 Mantenimiento correctivo	27
2.4.2 Mantenimiento preventivo	30
2.4.3 Mantenimiento predictivo.....	33
2.5 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO.....	41
2.5.1 Mantenimiento Productivo Total	42
2.5.2 Mantenimiento centrado en confiabilidad	42
2.5.3 Mantenimiento combinado TPM & RCM	43
2.5.4 Mantenimiento proactivo	43
2.5.5 Mantenimiento orientado a resultados.....	43
2.6 MANTENIMIENTO: FIABILIDAD	44
2.6.1 Curva de bañera o de Deivis	46
2.6.2 Tiempo medio entre fallos (MTBF)	48
2.6.3 Tiempo promedio hasta la falla (MTTF).....	49

2.7 MANTENIMIENTO: MANTENIBILIDAD.....	49
2.7.1 Tiempo medio para reparar (MTTR).....	52
2.8 MANTENIMIENTO: DISPONIBILIDAD	52
3. ESTADO DEL ARTE	54
3.1 INTERNACIONAL.....	54
3.2 NACIONAL	55
4. DESARROLLO DEL PROTOCOLO DE MANTENIMEINTO	58
4.1 DATA HISTÓRICA, INGENIERIL Y OPERACIONAL DEL BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO.....	58
4.1.1 Esquemas banco de prácticas electroneumático	58
4.1.2 Manual operacional	63
4.1.3 Manual de mantenimiento	66
4.2 ESTADO ACTUAL DE LOS COMPONENTES DEL BANCO ELECTRONEUMÁTICO	77
4.3 ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS COMPONENTES DEL BANCO ELECTRONEUMÁTICO- AMF	78
4.3.1 Análisis de criticidad	79
4.3.2 Análisis de fiabilidad	84
4.3.3 Análisis de disponibilidad	85
4.3.4 Análisis de mantenibilidad	86
4.4 PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO Y CRONOGRAMA DE INTERVENCIÓN DE LOS COMPONENTES	87
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES.....	92
BIBLIOGRAFÍA	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de la bañera o de Davies	48
Figura 2. Relación entre el tiempo medio de reparación (MTTR), tiempo medio hasta la avería (MTTF)	53
Figura 3. Relación entre disponibilidad, mantenibilidad y fiabilidad.	54
Figura 4. Diagrama en bloque del funcionamiento.....	58
Figura 5. Diagrama general.	60
Figura 6. Diagrama funcional.	61
Figura 7. Control de electroválvulas.....	62
Figura 8. Diagrama pictórico de potencia.	62
Figura 9. Diagrama esquemático de potencia.....	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Generaciones del mantenimiento en la historia.	22
Tabla 2. Evolución del mantenimiento a lo largo del tiempo.	24
Tabla 3. Las ventaja y desventajas del mantenimiento correctivo.	28
Tabla 4. Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo.	31
Tabla 5. Efectos de los contaminantes sobre la superficie de la maquinaria.	41
Tabla 6. Manual de operación del banco Electroneumático.	63
Tabla 7. Ficha técnica.	67
Tabla 8. Acciones y códigos de mantenimiento.	68
Tabla 9. Instrucciones técnicas.	69
Tabla 10. Procedimientos básicos de operación de mantenimiento.	70
Tabla 11. Cronograma de mantenimiento.	75
Tabla 12. Estado de los componentes del banco electroneumático.	77
Tabla 13. Modos de falla de la válvula electroneumática.	79
Tabla 14. Modos de falla del sensor magnético.	79
Tabla 15. Modos de falla de los actuadores neumáticos.	80
Tabla 16. Modos de falla del compresor de aire.	80
Tabla 17. Tasas de fallos y tiempo de reparación de los componentes del banco electroneumático.	80
Tabla 18. Análisis de criticidad del banco electroneumático.	81
Tabla 19. Análisis de fiabilidad del banco electroneumático.	84
Tabla 20. Análisis de disponibilidad del banco electroneumático.	85
Tabla 21. Análisis de mantenibilidad del banco electroneumático.	86
Tabla 22. Cronograma de mantenimiento actualizado.	89

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Táctica hacia resultados.....	44
Ecuación 2. Función de distribución acumulada.....	44
Ecuación 3. Función de densidad de probabilidades.....	45
Ecuación 4. Función de confianza.....	45
Ecuación 5. Función de probabilidad de fallo de un componente.....	45
Ecuación 6. Función de tasa de fallos.....	46
Ecuación 7. Número promedio de fallos.....	48
Ecuación 8. MTBF (Tiempo medio entre fallos).....	49
Ecuación 9. MTTF (Tiempo promedio hasta la falla).....	49
Ecuación 10. Tiempo para realizar una tarea especificada.....	51
Ecuación 11. Función de mantenibilidad.....	51
Ecuación 12. MTTR (Tiempo medio para reparar).....	52
Ecuación 13. D (Disponibilidad).....	53
Ecuación 14. CTR (Criticidad total por riesgo).....	81
Ecuación 15. C (Consecuencias).....	82
Ecuación 16. Modelo de priorización CTR.....	82
Ecuación 17. R (Fiabilidad).....	85
Ecuación 18. M (Mantenibilidad).....	86

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Normograma.....	57
Anexo 2. Análisis amf de la válvula electroneumática STNC TG252208.....	77
Anexo 3. Análisis amf del sensor magnético AirTAC CS1-M.....	77
Anexo 4. Análisis amf de los actuadores neumáticos PNEUTEC DNC 63X300mm ARTCACP32200.....	77
Anexo 5. Análisis amf del compresor PRETUL COMP-20LP.....	77
Anexo 6. Modos de falla para la válvula electroneumática.....	81
Anexo 7. Modos de falla para el sensor magnético.....	81
Anexo 8. Modos de falla para los actuadores neumáticos.....	81
Anexo 9. Modos de falla para el compresor.....	81
Anexo 10. Protocolo de mantenimiento de la válvula electroneumática STNC TG252208.....	88
Anexo 11. Protocolo de mantenimiento del sensor magnético AirTAC CS1-M...88	
Anexo 12. Protocolo de mantenimiento de los actuadores neumáticos PNEUTEC DNC 63X300mm y ART CACP32200.....	88
Anexo 13. Protocolo de mantenimiento del compresor de aire PRETUL COMP- 20LP.....	88
Anexo 14. Procedimiento de mantenimiento de la válvula electroneumática STNC TG2522-08.....	88
Anexo 15. Procedimiento de mantenimiento del sensor magnético AirTAC CS1- M.....	88
Anexo 16. Procedimiento de mantenimiento de los actuadores neumáticos PNEUTEC DNC 63X300mm y ART CACP32200.....	88
Anexo 17. Procedimiento de mantenimiento del compresor de aire PRETUL COMP- 20LP.....	88

INTRODUCCIÓN

Un pilar fundamental en cualquier empresa o entidad, es su gestión de mantenimiento de activos, el cual debe estar bien estructurado, ya que este se traduce en calidad de los resultados, pero no solo eso, sino que optimiza los costos de operación y equipos productos de alguna falla, mejora la seguridad, asegura la continuidad de procesos, minimiza el tiempo de inactividad, optimiza el rendimiento de activos en uso con tal de alargar su vida útil e impulsa la eficiencia.

Normalmente el mayor problema para las empresas en cuanto a su gestión del mantenimiento, es que sus tareas no están diseñadas teniendo en cuenta la gestión del ciclo de vida, lo que genera problemas como repetición excesiva de tareas, generando que las actividades que se realizan no generan impactos positivos sobre el activo, de tal manera, que las actividades de mantenimiento solo se realizan cuando el equipos deja de funcionar por causas de una falla, lo que crea un círculo vicioso que lleva a que el personal tenga que suplir estas deficiencias, por eso es fundamental una estrategia de mantenimiento que realice una evaluación integral y realice una serie de mejoras críticas en función de las necesidades.

Pero al hablar de estrategias de mantenimiento, implica que se operen más de un activo a la vez, contrario al caso de estudio de este proyecto, ya que al intervenir un solo activo; es decir, el banco de prácticas electroneumático suena muy complejo para su aplicación. Por tal motivo, el presente trabajo, presenta una metodología con la finalidad de diseñar un protocolo de mantenimiento preventivo en el banco de prácticas electroneumático del laboratorio de mecatrónica de la Universidad de Pamplona sede Villa del Rosario, teniendo presente la criticidad, fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los subsistemas que componen el banco en cuestión, además del uso no constante que se le da al mismo, generando una serie de acciones a seguir cuando el activo falle.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las industrias, empresas, universidades y otras muchas entidades, se necesita; que los equipos se encuentren en óptimo estado de funcionamiento y que a su vez se pueda extender la vida útil de los activos, por lo que es necesario que se cuente con un buen protocolo o protocolos de mantenimiento que permitan cumplir con esta finalidad, entendiéndose; que la función principal del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las maquinas a través del tiempo.

En la universidad de Pamplona sede Villa del Rosario, es notorio la falta de protocolos de mantenimiento en los bancos y equipos destinados a actividades educativas así mismo como labores de mantenimiento y registro que requieren la gran mayoría de los bancos del laboratorio del programa de Ingeniera Mecatrónica, tomando como caso particular el banco de prácticas electroneumático, el cual no cuenta con la gestión documental necesaria; ocasionando que las actividades de prácticas del programa y de mantenimiento no sean ejecutadas de manera óptima, limitando de esta manera los conocimientos que puede adquirir el estudiantado, donde sin la aplicación práctica del conocimiento teórico es inconcluso el aprendizaje enseñado [1]. Por tal motivo se hace necesario la creación de un protocolo de mantenimiento preventivo para el banco de prácticas electroneumático, así mismo, como la gestión documental del mismo, teniendo presente que este banco no siempre estará en funcionamiento, entonces, ¿Es posible diseñar un protocolo de mantenimiento preventivo para el banco de prácticas electroneumáticas del laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de Pamplona Sede Villa del Rosario?

JUSTIFICACIÓN

En el programa de ingeniería mecatrónica de la Universidad de Pamplona sede Villa del Rosario se tiene la necesidad de contar con bancos de prácticas para uso pedagógico, como también de la gestión documental necesaria para operatividad y mantenimiento de los mismos, con el fin de que los estudiantes se familiaricen y amplíen los conocimientos adquiridos de forma teórica con prototipos de procesos de control industrial en el laboratorio del programa. Debido a esta necesidad, como opción a título de grado se dejó a disposición de la universidad un banco de prácticas electroneumático para usos de laboratorio, sin embargo con el paso del tiempo, este pasó a segundo plano, y producto del desuso se desconoce el estado actual de servicio de este, razón por la cual es necesario aplicar un protocolo de mantenimiento preventivo que permita el óptimo funcionamiento del banco y que además establezca el protocolo de mantenimiento que se debe seguir para prácticas futuras establecido en fichas técnicas y de mantenimiento actualizadas.

Con la realización de este proyecto se espera que los estudiantes del programa de ingeniería mecatrónica puedan realizar prácticas electroneumáticas físicas, conociendo de primera mano su funcionamiento y así mismo puedan desarrollar estrategias de mantenimiento preventivo aplicado a un proceso de control industrial.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar el protocolo de mantenimiento preventivo para el banco de prácticas electroneumáticas del programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Pamplona sede Villa del Rosario.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información de diseños y protocolos de mantenimientos utilizados en sistemas híbridos.
- Contrastar la información relacionada con los protocolos de mantenimiento preventivo según la pertinencia de los mismos; para el desarrollo del protocolo de mantenimiento en el banco de prácticas electroneumático.
- Establecer el protocolo de mantenimiento preventivo para el banco de prácticas electroneumático en base a la información recolectada.

GLOSARIO

Definiciones aprobadas por el COPIMAN¹

Componente: ingenio esencial al funcionamiento de una actividad mecánica, eléctrica o de otra naturaleza física que, conjugado a otro(s), crea(n) el potencial de realizar un trabajo [2].

Defecto: eventos en los equipos que no impiden su funcionamiento, todavía pueden a corto o largo plazo, provocar su indisponibilidad [2].

Equipo: conjunto de componentes interconectados, con los que se realiza materialmente una actividad de una instalación [2].

Falla: finalización de la habilidad de un ítem para desempeñar una función requerida [2].

Parada general: lo mismo que Reparación General [2].

Inspección: servicios de Mantenimiento Preventivo, caracterizado por la alta frecuencia (baja periodicidad) y corta duración, normalmente efectuada utilizando instrumentos simples de medición (termómetros, tacómetros, voltímetros etc.) o los sentidos humanos y sin provocar indisponibilidad [2].

Ítem: término general para indicar un equipo, obra o instalación [2].

¹. El Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento y Gestión de Activos (COPIMAN) lleva más de 30 años activo (fundado en 1986). Sin embargo, es entre los doce Comités de la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (UPADI) el que más actividades reporta al año y que más activo está.

Lubricación: servicios de Mantenimiento Preventivo, donde se realizan adiciones, cambios, complementaciones, exámenes y análisis de los lubricantes [2].

Mantenimiento: acciones necesarias para que un ítem sea conservado o restaurado de manera que pueda permanecer de acuerdo con una condición especificada [2].

Mantenimiento correctivo: es el mantenimiento que se ejecuta a un activo después de ocurrida la falla del mismo, por lo que se debe de corregir todos los componentes fallidos en el evento [2].

Mantenibilidad: facilidad de un ítem en ser mantenido o recolocado en condiciones de ejecutar sus funciones requeridas [2].

Mantenimiento Predictivo: es aquel mantenimiento nos permitirá hacer una predicción del activo en cuestión, por medio de las técnicas cuales quiera utilizar llámese (análisis de vibraciones, mediciones eléctricas voltaje, amperaje, resistencia, ultrasonidos, medición de espesores, termografías, etc) y que se les pueda aplicar al activo claro [2].

Mantenimiento preventivo: es el que en base a fechas calendarizadas se programa un activo para su mantenimiento, claro las fechas se determinan de tal manera que según las condiciones de operación permitan que el equipo no alcance el deterioro tal que falle; y de esta manera prevenir antes de que se presente la falla [2].

Pieza: cada una de las partes de un conjunto o de un todo (en este caso equipo) [2].

Sistema operacional: conjunto de equipos necesarios para realizar una función de una instalación [2].

Tribología: estudio de la fricción asociada a la lubricación [2].

Unidad de producción: planta, Fábrica, Usina o cualquier unidad fabril de una empresa donde son producidos o generados sus productos o servicios [2].

MARCO TEORICO

1. GENERALIDADES

Las tecnologías al igual que el tiempo, nunca se detiene, y se mantiene en constante cambio, hecho que ocurre de la misma forma en cualquier campo de estudio o de trabajo que se observe. Bajo esta premisa, se puede mencionar a la industria y conocer los cambios que esta por si sola enfrenta. Estos cambios, en la mayoría de los casos son causados por factores externos, como la globalización, la urbanización y el cambio demográfico. El incremento en las actividades comerciales mundialmente conectadas aumenta la complejidad dentro de las redes de la industria manufacturera, la demanda volátil y los productos personalizados influyen en sus procesos de planeación y de producción [3].

De este modo se puede mencionar, el término 'Industria 4.0'. El cual fue mencionado por primera vez en la Feria de Hannover en 2011, y desde ese entonces ha atraído gran atención de académicos, profesionales, funcionarios gubernamentales y políticos de todo el mundo [4], definiéndola como una rama de la industria, que nace de la necesidad o del resultado de la aplicación y apropiación de nuevas tecnologías (Internet y tecnologías digitales), que apoyan y permiten procesos de producción totalmente automatizados, en donde el componente físico (Activos) se relacionen entre sí, sin que se dé la intervención humana [4], generando retos y desafíos, que deberán ser asumidos por empresas, que se deseen convertir en líderes mundiales en la prestación de innumerables servicios [5], pero que también deberán asumir estos retos, las entidades o entes de aprendizaje, con el fin de generar profesionales, mejor capacitados para el entorno laboral y dispuestos a afrontar retos de mayor envergadura.

Con lo antes mencionado, se denota que la industria siempre va a adquirir tecnologías cada vez más avanzadas, permitiendo de esta manera abordar el campo del mantenimiento, así mismo, como la industria se enfrenta a retos con el concepto de "4.0", el mantenimiento, hará lo mismo en la medida, en que los activos, sean cada vez más complejos, tanto como operabilidad y mantenibilidad, y que a su vez este campo de la industria, sea mayormente reconocido y tomado en cuenta en las gestiones de gerencia de cualquier entidad o sector.

Dando de esta manera, inicio al caso de estudio de este trabajo.

2. MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

2.1 HISTORIA

A medida que el hombre evolucionaba, también lo hacían sus técnicas de supervivencia, al igual que sus herramientas. Herramientas que siempre eran llevadas hasta la condición de fallo, donde se procedía a repararlas (mantenimiento correctivo) llegado el caso de que se logrará hacer, o por el contrario de cambiarla. Entonces, la historia del mantenimiento, según el ingeniero Rondón [6], se puede dividir en cuatro generaciones: en donde la primera generación era caracterizada por acciones netamente de mantenimiento reactivo, en la cual se repara cuando se daña, y esta se mantuvo hasta el año de 1950. Después de este, hasta el año de 1980, se presenta o se encuentra ubicada la segunda generación, siendo el factor determinante el mantenimiento programado, es decir, se presenta el mantenimiento preventivo como la base del mantenimiento industrial.

La tercera generación, se encuentra situada entre los años 1980 y 2000, resaltada principalmente por la aparición de tecnologías específicas para la realización de mantenimiento, surgiendo de esta manera, el mantenimiento predictivo o como lo estipula la norma, mantenimiento basado en condición.

Ahora, desde el comienzo del siglo XXI, al hablar de la cuarta generación, se distingue, por la gestión de las empresas en vincular el mantenimiento de manera integral, presentado el productivo total, centrado en riesgos, centrado en confiabilidad, gestión enfocada a resultados y clientes, gestión del conocimiento y eficiencia energética.

Bajo este pensamiento, pero teniendo presente otros casos de estudio e investigación, la ingeniera Sánchez, establece una tabla, sobre la evolución del

mantenimiento, en donde se presenta los medios y los objetivos de cada generación a lo largo de los años [7]:

Tabla 1. Generaciones del mantenimiento en la historia.

PRIMERA GENERACIÓN	Medios	Objetivos
	Reparar en caso de avería	Reparar en caso de avería
SEGUNDA GENERACIÓN	Revisiones cíclicas	Mayor disponibilidad de la planta
	Sistemas para la planificación y control de trabajo	Mayor duración de los equipos y fiabilidad
	Informatización	
TERCERA GENERACIÓN	Condition monitoring	Mayor disponibilidad y fiabilidad
	Diseño para la fiabilidad y mantenibilidad	Mayor seguridad
	Estudio de análisis de riesgo	Mejor calidad de los productos y servicios
	Sistemas expertos	No deteriorar el medio ambiente
	Descentralización de los sistemas de información	Mayor contención o reducción de los costes.
	Análisis de la causa-efecto de los fallos	
	Participación	

Fuente: A. M. S. Gómez, 2017, p 15.

Con la llegada de la segunda guerra mundial, la industria enfrenta consigo misma, cambios bastantes relevantes, como lo fue el abandonar el SQC (Control estadístico de calidad) desarrollado después de la culminación de la primera guerra mundial por Walter A. Shewhart, llevando a Joseph Juran a desarrollar la regla 80/20, basado en establecer prioridades en las actividades de mayor influencia, que sería conocido como “Principio de Pareto”, siendo todo esto influenciado por los estudios realizado por Fayol, en el proceso administrativo de la administración con cinco elementos integrados, planeación, organización, integración, ejecución y control [7].

Otros de los cambios en la industria según Sánchez con la llegada de la segunda guerra mundial, fue la sistematización del mantenimiento preventivo, creándose la Sociedad Americana de Control de Calidad, aunque el mantenimiento preventivo implementado para esa época presentaba resultados pocos favorables, sumándose la gravedad de los daños con las que termino Japón al cabo de la segunda de guerra

mundial, por lo que, con la poca disponibilidad de recursos que tenía establece un programa de especialistas, siendo el pionero y dando lugar a la tercera revolución industrial. Al transcurso de los años, se desarrollan nuevas técnicas de probabilidad basada en supuestos Wallodi Weidull, por otra parte, se pone en marcha el concepto de mantenimiento centrado en la confiabilidad por parte Air Transport Association, como también se obtienen resultados satisfactorios con respecto a calidad y productividad, gracias a los círculos de calidad desarrollados por Kaoru Ishikawa autor del diagrama Ishikawa [7].

En razón al desarrollo del mantenimiento centrado en la confiabilidad se generan la Optimización del Mantenimiento Planificado (PMO), orientación hacia la confiabilidad RCM y hacia los costos PMO. En paralelo a esto se crea el sistema Poka-Yoke, con la finalidad de asegurar la vida humana y la calidad de productos y el servicio prestado por los activos. A medida que se solucionaban los problemas presentes en la industria y esto debido a la gran variedad de ideas de solución, se generaban consigo un desorden de pensamientos, siendo este el causante de la creación del RCA (análisis causa raíz), por Kepner Tregoe, que después permitiría el desarrollo del GUÍA-MSG-1 por Stanley Nowlan y Howard Heap.

Con el desarrollo de tecnologías e implementación de computadores a nivel industrial, se da inicio al Software Sistema Computarizado para la Administración del Mantenimiento (CMMS). Del mismo Seiichi Nakajima crea el Mantenimiento Productivo Total (TPM), teniendo presente la integración entre el personal de producción y mantenimiento. Por último, Sánchez, menciona a John M. Mourbray en la mejora del RCM obteniendo como resultado la versión RCM 2, Y Hiroyuki Hirano implementa las 5 eses teniendo como base la optimización de los recursos de las organizaciones [7].

Rondón presenta un resumen de las características del mantenimiento a lo largo del tiempo en forma de tabla de tal forma que se pueda visualizar mejor lo antes mencionado y agregando ciertos supuestos [6]:

Tabla 2. Evolución del mantenimiento a lo largo del tiempo.

AÑO	CARACTERÍSTICA PRENCIPAL
1780	Se trabaja solo en mantenimiento correctivo (CM)
1798	Utilización de partes intercambiables en las máquinas
1903	La producción industrial es masiva
1910	Se forman cuadrillas de mantenimiento correctivo.
1914	Se empieza aplicar el mantenimiento preventivo (PM).
1916	Se da inicio al proceso administrativo.
1927	Se utilizan estadísticas en la producción.
1931	Se trabaja en el control económico de la calidad del producto manufacturado.
1937	Se tiene en cuenta el concepto del principio W. Pareto.
1939	Los trabajos de actividades del mantenimiento preventivo se empiezan a controlar con datos estadísticos.
1946	Es más eficiente el control estadístico de calidad (SQC).
1950	En el continente asiático, específicamente Japón, inicia con la implementación del control estadístico de calidad (SQC).
1950	En Estados Unidos (UU.EE.) se inicia el mantenimiento productivo (Pdto.M).
1951	Se conoce el análisis de Weibull.
1960	Desarrollo del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).
1961	Inicio del Poka-Yoke (técnica de calidad a prueba de errores).
1962	Desarrollo de los círculos de calidad (QC).
1965	Implementación de la metodología del análisis causa raíz (RCA).
1968	Se da a conocer la Guía MSG-1, acreditada como el RCM mejorado.
1970	Expansión del uso de la computadora para la administración de activos (CMMS).
1971	Desarrollo el mantenimiento productivo total (TPM).
1978	Presentación de la Guía MSG-3 para mejorar el mantenimiento en aeronaves.
1980	Desarrollo en la implementación de la optimización del mantenimiento planificado (PMO).
1982	Aplicación del RCM-2 en toda clase de industrias.
1995	Desarrollo para aplicar el proceso de los 5 Pilars of the Visual Workplace (las 5s).
2005	Estudio de la filosofía de la conservación industrial (IC).

Fuente: F. A. P. Rondón, 2021, p 32 basado en Roldán, 2009.

Ahora, con la evolución del mantenimiento como área de estudio, permite diferenciar las diferentes etapas evolutivas, en relación con los diferentes objetivos en las áreas productivas o de manufactura, en el transcurso del tiempo, siempre y cuando se tenga como finalidad cumplir las metas de la industria en particular.

2.2 CONCEPTO DE MANTENIMIENTO

Cuando se habla de mantenimiento, normalmente se piensa que, consta de reparar un equipo tan pronto como este se dañe o este roto, pero en la actualidad este concepto se entiende por mantener el equipo en condiciones operacionales a niveles especificados. Por otra parte, Rondón, define el mantenimiento en

resumidas cuentas como, “toda una serie de acciones que deben realizar las personas encargadas de este departamento o área, con la finalidad de que los equipos, máquinas, componentes e instalaciones involucrados dentro de un proceso industrial estén en las condiciones requeridas de funcionamiento para lo que fue diseñado, construido, instalado y puesto en operación” [6], siendo esta serie de actividades toda una combinación de conocimiento, experiencia, habilidad y trabajo en equipo, relacionándose con otras dependencias de la organización, de tal manera que pueda existir una buena sinergia entre la labor administrativa y la labor operacional, que permita lograr llenar los indicadores de desempeño o de gestión que cada entidad ejecute.

Otra definición de mantenimiento nos la da Márquez y Coello, que dice “Cuando todo va bien, nadie recuerda que existe. Cuando algo va mal, dicen que no existe. Cuando es para gastar, se dice que no es necesario. Pero cuando realmente no existe, todos concuerdan en que debería existir” [8].

Según, el Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento y Gestión de Activos (COPIMAN) define el mantenimiento como, “acciones necesarias para que un ítem sea conservado o restaurado de manera que pueda permanecer de acuerdo con una condición especificada” [2].

El mantenimiento también se puede definir como la última frontera, entendiéndose a este como un nuevo campo que puede generar un gran potencial en las empresas, contribuyendo a la mejora de la competitividad de las organizaciones.

Y, por último, según Abella, el mantenimiento se puede definir como “el control constante de las instalaciones (en el caso de una planta) o de los componentes (en el caso de un producto), así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema en general” [9].

2.3 OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO

La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo, acorde con las necesidades de sus clientes, que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos para producirlos.

Mora, parafraseando, menciona que la función del mantenimiento se basa en el incremento de los sistemas de producción al ejercer sus actividades habituales, como lo es la planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos, y que esto trasciende más allá de las reparaciones. Evidenciando su valor en la medida en que éstas disminuyan como resultado de un trabajo planificado y sistemático con apoyo y recursos de una política integral de los directivos [10].

Por otra parte, Prando sobre el objetivo comenta que es, “asegurar la disponibilidad planeada al menor costo dentro de las recomendaciones de garantía y uso de los fabricantes de los equipos e instalaciones y las normas de seguridad” [11].

Además, según Abella, el objetivo del mantenimiento se puede sintetizar en los siguientes puntos [9]:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, los fallos sobre los bienes.
- Disminuir la gravedad de los fallos que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Reducir costes.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

Entonces se puede decir que, la organización e información del mantenimiento debe estar encaminada a cumplir con la optimización de la disponibilidad del activo y los recursos de personal, en favor del medio ambiente, con la disminución de costos, maximizando la vida útil de la máquina, aumentando la seguridad del personal y además de conservar los bienes productivos en condiciones seguras de operación y balancear el costo de mantenimiento con el correspondiente al lucro [12].

2.4 TIPOS DE MANTENIMIENTO

En este apartado, al hablar de los tipos de mantenimiento se harán de manera teórica y de investigación, puesto que la practicidad de los mismos, dependerá del tipo del proceso o activo que se intervenga, como también de la gestión que realice la gerencia.

Los tipos de mantenimiento más comunes que se implementan en la industria a nivel regional, nacional y mundial, son el mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y el mantenimiento predictivo [6].

2.4.1 Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento también se le denomina mantenimiento reactivo, el cual es utilizado en gran medida por países subdesarrollados y se implementa cuando el activo deja de operar, ya sea porque este falló o porque presenta una avería y este mantenimiento deberá poner en marcha el activo, generalmente reparando el componente o reemplazando el mismo, todo esto sin que se afecte en gran medida la productividad y en el menor tiempo posible [6]. A nivel industrial dos tipos de mantenimiento correctivo

2.4.1.1 Mantenimiento correctivo no programado

Este se emplea, al encontrarse la avería o la falla del activo o máquina, ocasionando una parada en este, de tal forma que se elimine la avería y reponga el elemento afectado [6].

2.4.1.2 Mantenimiento correctivo programado o planificado

Este se emplea, cuando el componente que está próximo a fallar sea detectado a tiempo, generando así, una programación de mantenimiento para dicha pieza o componente del activo [6].

Las ventajas y desventajas de este tipo de mantenimiento, mediante la tabla que verán a continuación:

Tabla 3. Las ventaja y desventajas del mantenimiento correctivo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Prolongar la vida útil de los equipos por medio de reparaciones de componentes o piezas y corregir las fallas.	La avería o falla puede aparecer en el momento más inoportuno.
Es imposible determinar la falla.	Las averías o fallas no detectadas a tiempo pueden ocasionar daños más complejos e irreparables en los equipos.
No genera gastos fijos.	Alto inventario de repuestos.
Sin programar ni prever ninguna actividad.	La producción se vuelve impredecible y poco fiable.
Solo se gasta dinero, cuando está claro que se necesita hacerlo.	Se asumen inseguridades económicas, que pueden ser muy relevantes.
A menor plazo se ofrece un buen resultado económico.	Se disminuye la vida útil de los equipos. No hay un diagnóstico confiable de las causas que provocan las fallas, pues se desconoce por qué falló. Por ello, la falla se puede repetir una y otra vez.
Hay sistemas, máquinas y equipos en los que el mantenimiento preventivo no tiene ningún efecto, como los dispositivos electrónicos.	Hay tareas o actividades que siempre son rentables, como la limpieza, lubricación, revisión.

	Determinados equipos necesitan continuamente ajustes y seguimiento.
Estos son los argumentos para que muchas industrias se decanten por el mantenimiento correctivo.	Las averías o fallos y los comportamientos anormales de los componentes, equipos o máquinas no solo ponen en peligro la buena producción, sino la seguridad de las personas, el medio ambiente y los activos de las compañías. Apoyarse solamente en el mantenimiento correctivo –reparar cuando solo se presenta la avería–, se debe contar con técnicos muy especializados y cualificados, tener un alto inventario o stock de repuestos (lucro cesante) y también contar con medios técnicos muy variados.

Fuente: F. A. P. Rondón, 2021, p 38.

Por otro lado, Abella, denomina al mantenimiento correctivo como “el conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados por repuestos que se realiza cuando aparece el fallo” [9]. Menciona que este tipo de mantenimiento resulta factible para sistemas complejos, más comúnmente en elementos electrónicos o en elementos donde se es imposible prever el fallo del mismo, como también en procesos en los cuales se pueda interrumpir su producción en determinados o indeterminados momentos, sin poner en riesgo el personal o el proceso. Pero también retrata algunos de los inconvenientes con este tipo de mantenimiento, los cuales serían:

- El fallo puede sobrevenir en cualquier momento.
- Daños importantes en otras piezas que se encontraban en buen estado.
- Coste elevado para las piezas de repuesto.

Por último, Iribarren, lo define como, “el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos” [13].

2.4.2 Mantenimiento preventivo

Iribarren define al mantenimiento preventivo como “El mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema” [13].

Otra definición, la ofrece Abella, de la siguiente manera, “Es el conjunto de actividades programadas de antemano, tales como inspecciones regulares, pruebas, reparaciones, etc., encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos de un sistema” [9], pero también menciona las desventajas de este mantenimiento, siendo:

- Cambios innecesarios.
- Problemas iniciales de operación.
- Coste en inventario.
- Mano de obra.
- Mantenimiento no efectuado.

Por otra parte, para la planificación de este mantenimiento se debe tener en cuenta:

- Definir qué partes o elementos serán objeto de este mantenimiento.
- Establecer la vida útil de los mismos.
- Determinar los trabajos a realizar en cada caso.
- Agrupar los trabajos según época en que deberán efectuarse las intervenciones.

Este mantenimiento se basa en un paso a paso o serie de actividades programadas, que deberán ser llevadas a cabo o ejecutadas en unos periodos previamente establecidos, con la finalidad de que el activo de la empresa cumpla con los

parámetros establecidos dentro del entorno de operación para mantener y optimizar la eficiencia de los procesos, adelantándose a las posibles fallas que pueda llegarse a generar en los activos y elementos; pero también este mantenimiento hace referencia a la variedad de acciones, como pueden ser, cambios o reemplazos, adaptaciones, restauraciones, inspecciones, evaluaciones, manejadas o establecidas dentro de plazos acordados [6]. Las ventajas y desventajas de este tipo de mantenimiento:

Tabla 4. Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Disminuye las anomalías o fallas y los tiempos muertos (aumentando la disponibilidad de las máquinas, equipos e instalaciones).	Todo programa que se inicia genera un incremento en los costos.
Aumenta la vida útil de las máquinas, equipos, componentes e instalaciones.	Para iniciar se necesita de tiempo extra en el trabajo del personal de mantenimiento. Búsqueda de la información, como manuales, historial, fichas técnicas, repuestos, inventarios, reparaciones, etc. Actualizar información, generación de procedimientos, instructivos.
Hay una mejora efectiva en el uso de los recursos.	Tiempo para transferir la información recolectada.
Se disminuyen o se reducen, los niveles de inventarios de repuestos.	Técnicos de mantenimiento, trabajo de campo adicional. Taxonomía de los equipos. Materiales utilizados, tiempos, etc.
Hay un ahorro económico a largo y mediano plazo.	Dotación, ordenamiento de almacenes. Rotación de repuestos, actualizar información, inventarios.
Elaboración de planes de mantenimiento.	Se elevan costos, por entrenamientos, capacitaciones para el personal.
Se definen indicadores de gestión o de desempeño.	
Se documentan procedimientos, instructivos. Se mantiene actualizada la información	
Se implementan buenas inspecciones de rutinas.	
Implementación de un buen programa de lubricación.	
Definición de los presupuestos.	
Se aumenta la seguridad industrial para las personas.	
Se mejora el enfoque de contaminación ambiental.	
Disminución de pagos de horas extras, que se generan continuamente.	
Se aumenta el cumplimiento de la entrega oportuna de producción.	

Fuente: F. A. P. Rondón, 2021, p 47.

Además, Rondón, también resalta los objetivos más relevantes de este mantenimiento, siendo [6]:

- **Disponibilidad:** puede definirse como la probabilidad de que una máquina sea capaz de trabajar cada vez que se le requiera.
- **Confiabilidad:** es la probabilidad de que la máquina esté operando en todo el momento que necesite el usuario.
- **Incrementar:** al máximo la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas o equipos llevando a cabo un mantenimiento planeado.

Como también, categoriza a este de la siguiente manera [6]:

- **Cubrimiento del MP:** revisar el porcentaje del equipo o máquina críticos, para las cuales se han desarrollado programas de MP.
- **Ejecución del MP:** el porcentaje de rutinas del MP que han sido terminadas según programa.
- **Trabajos generados por las repeticiones del MP:** el número de acciones de mantenimiento que han sido solicitadas y tiene como origen rutinas del MP.

Y además presenta las fases para la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo [6]:

- **La planificación:** (se especifica las actividades por desarrollar, con qué personal se va a trabajar, equipos y herramientas por utilizar, tiempo aproximado de trabajo).
- **La programación:** (se define el día, la hora, lugar dónde se van a desarrollar, las actividades previamente planificadas).
- **La ejecución:** (realización de los trabajos, previamente definidos).
- **El control:** (verificación y validación de los trabajos ejecutados).

2.4.3 Mantenimiento predictivo

Este mantenimiento se puede definir como el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo de un sistema o, dicho de otra manera, de la monitorización de un sistema, con la finalidad de generar una intervención correctora de efecto inmediato debido a la detección de algún síntoma de fallo [9]. Esto principalmente basado, en la idea de que el fallo en la mayoría de los casos, se produce lenta y previamente, arrojando indicios de un posible fallo, ya sea por monitorización o que se pueda deducir a simple vista, basado en parámetros como:

- La temperatura
- La presión
- La velocidad lineal
- La velocidad angular
- La resistencia eléctrica
- Los ruidos
- Vibraciones
- Rigidez dieléctrica
- La viscosidad
- Contenido de humedad,
- Impurezas y cenizas en aceites aislantes
- Espesor de chapas
- Nivel de un fluido

Queriendo decir en pocas palabras, que, con este método, se trata de seguir la evolución de los futuros fallos, logrando un seguimiento que permite poseer un registro de la historia característica en análisis detallados muy útiles para fallos repetitivos, permitiendo la programación de la reparación en algunas ocasiones junto con la parada del activo, reduciendo la intervención del equipo de mantenimiento.

Del mismo modo Iribarren, define este método como, “El que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal

estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos” [13].

Por otra parte, existen diferentes connotaciones para definir el mantenimiento predictivo, entre las cuales se puede interpretar como la relación de parámetros físicos con el estado del activo. En este tipo de mantenimiento se prioriza o se fundamenta, en la medición, el seguimiento y el monitoreo de parámetros, como también las circunstancias de operatividad o instalación, de tal manera que se gestión incluso en resultados de pre-alarma [6].

Este mantenimiento en muchas ocasiones se considera como un método o técnica que predice la falla en un punto futuro, como también el de anomalía, rotura o avería de un elemento, teniendo presente, que dicho elemento sea reemplazado a reparado mediante un plan de mantenimiento antes de que falle; permitiendo la disminución de la parada del activo y prologando la vida útil del mismo.

Se compone de una serie de actividades no destructivas, ejecutada mediante el seguimiento de los signos que presentan los equipos durante su operabilidad de advertencia que generan las partes que no se encuentran trabajando de forma correcta. Los sistemas de medición de equipos proporcionan datos que son más útiles para fines predictivos. Esto incluye tendencias de seguimiento de equipos, así como acceso a cálculos utilizados para predecir fallas en los equipos. El mantenimiento predictivo ofrece muchos beneficios en comparación con otros métodos. Una de las más importantes es que no requiere desmontar completamente la máquina ni pausar su funcionamiento. También funciona mejor cuando se realiza en momentos o intervalos específicos [6].

Las técnicas que se aplican en este método, según Rondón son de “carácter no invasivas normalmente” [6]. Más, sin embargo, una vez culminada la inspección se detecta algo irregular, se programa una intervención para dicho problema. La finalidad, siempre será evitar o prever el fallo desastroso de un componente o activo,

logrando así, generar una ventaja adicional: la compra de repuestos se realiza cuando se necesita, eliminando pues stocks (capital quieto sin trabajar o lucro cesante).

Algunas de las aplicaciones predictivas más comunes en el entorno industrial son las siguientes:

2.4.3.1 Análisis de vibraciones

Mora dice que “Las vibraciones se pueden definir como el movimiento de una masa desde un punto de reposo a lo largo de todas las posiciones y de regreso al punto de reposo, en donde está lista la máquina para repetir el ciclo” [10]. Y que el establecer patrones en condiciones normales de operación permitirá conocer situaciones fuera de lo habitual o estándar, lo cual se logra con este análisis en cuestión, siendo esta técnica una de las mejores y más certeras en el diagnóstico y monitoreo de activos.

Detecta defectos internos como desalineaciones de rodamientos y poleas, desequilibrios dinámicos, desgastes de engranajes, sobrecargas, ejes defectuosos, entre otros. Siendo bastante utilizada en elementos de equipos de rotación.

Entre los parámetros relevantes de vibraciones están:

- Severidad de la vibración
- Espectros
- Situaciones de movimiento
- Velocidades pico
- Banda octava
- Desviaciones en las frecuencias de vibraciones
- Aceleración pico
- Espectros de frecuencias

- Ángulos de fase
- Bandas amplias y estrechas

Mora, también presenta, que la ejecución de un sistema de vigilancia en vibraciones se puede realizar en tres fases [10]:

- Medición de los niveles de vibración con un sistema de medición portátil o con sonido, cuyo propósito es determinar varios valores iniciales (análisis de signatura, definición de los puntos por muestrear y registro de resultados previos).
- Análisis del comportamiento de frecuencia mediante filtración de banda para erradicar incidentes no deseados o parásitos.
- Vigilancia permanente con la aplicación de sistema de análisis integral y monitoreo en tiempo real.

Rondón, se extiende un poco más y agrega que existen dos tipos de vibraciones, las cuales serían [6]:

- **Vibración libre:** generada por un sistema que oscila debido a una excitación momentánea.
- **Vibración forzada:** provocada por un sistema que oscila debido a una excitación continua.

Y por último este mismo, relaciona los aciertos más comunes, por los que un activo llega a vibrar:

- Vibraciones debido a que las máquinas que giran ocasionan desequilibrio.
- Vibración ocasionada por falta de una buena alineación.
- Vibración generada por la excentricidad de los ejes de acople en equipos rotativos.
- Vibración causada por la falla de cojinetes o rodamientos.

- Vibración creada por problemas de los engranajes, correas de transmisión, tolerancias, holguras, deficiente lubricación, contacto o roce entre piezas metálicas, etc.

2.4.3.2 Termografía

Esta es una técnica que permite medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar, mediante la captación de la intensidad de radiación infrarroja que emiten los cuerpos. Utilizando cámaras termográficas podemos convertir la energía radiada, invisible al ojo humano, en una imagen visible formada a partir de la temperatura superficial de los objetos captados por la cámara, actuando como un escáner termográfico sobre la superficie de un objeto, mostrando en cada uno de sus puntos información de la temperatura del objeto [14].

Mora, por otra parte, comenta que, con esta herramienta avanzada, la temperatura de la superficie se puede medir estimando la radiación infrarroja. Es ampliamente utilizado en diversos equipos y sistemas, como cableado, calderas, refractarios, turbinas, etc. Funciona midiendo los cambios de gradiente de temperatura en la máquina y los componentes bajo prueba, y puede funcionar en blanco y negro o en color. Gracias a las interpretaciones gráficas y numéricas, se dispone de análisis importantes para respaldar las decisiones de mantenimiento [10].

Y según Rondón, “esta tecnología se ha convertido en una herramienta muy valiosa del diagnóstico para el mantenimiento predictivo” [6].

Al aplicar termografía se pueden determinar u observar posibles puntos de falla que serían imposibles de ver con el ojo humano, permitiendo facilitar actividades correctoras necesarias para evitar que se produzcan estas fallas que ocasionan altos costos en los procesos productivos industriales.

Las cámaras termográficas son herramientas muy importantes para determinar cuándo y dónde se requiere trabajo de mantenimiento, ya que los dispositivos

eléctricos y mecánicos a menudo se calientan antes de fallar. Al detectar estos puntos críticos con una cámara termográfica, se pueden tomar medidas preventivas. Es así como el objetivo es evitar que las fallas incurran en altos costos de reparación, o peor aún, que estos daños provoquen incendios, cuyas consecuencias pueden ser catastróficas [6].

Los usos esenciales de esta técnica:

- La medición de los espesores y también identificar las discontinuidades en aquellos productos aislantes, refractarios y térmicos.
- El monitoreo por inspección de ductos.
- La revisión de las soldaduras.
- Detectar puntos calientes.
- La posición de componentes y anomalías en circuitos eléctricos.
- También se utiliza para usos en seguridad, defensa y en áreas de la salud.
- Para prevenir y detectar posibles incendios.
- En el monitoreo en tanques de almacenamiento.
- Para el control de calidad en todos aquellos procesos industriales de producción.

Destacando que generalmente, este se realice en instalaciones eléctricas debido al alto grado de riesgo que presentan los procesos ejecutados allí.

2.4.3.3 Boroscopia

Según RENOVETEC, la boroscopia son “son inspecciones visuales en lugares inaccesibles para el ojo humano con la ayuda de un equipo óptico, el boroscopio” [15].

Un boroscopio es sin duda otra herramienta esencial para realizar trabajos de inspección en los componentes internos de ciertas máquinas sin un desmontaje

mayor. Por lo tanto, es ampliamente utilizado para observar las partes internas de los motores térmicos (motores alternativos de combustión interna, turbinas de gas y turbinas de vapor) y para observar ciertas partes de las calderas, como haces de tubos o cúpulas según estos mismos.

Su uso no se limita en tareas de solo de mantenimiento predictivo, sino también en auditorías técnicas, para determinar el estado interno de los equipos, evaluar a la empresa contratista o realizar una ampliación o actualizar el estado de instalación de los equipos previo a las operaciones de compra.

Entre las ventajas de este tipo de inspecciones están la facilidad para llevarla a cabo sin apenas tener que desmontar nada y la posibilidad de guardar las imágenes, para su consulta posterior [15].

Por otra parte, Rondón la define como una técnica de monitoreo o inspección no destructivo para la superficie, utilizado normalmente en soldaduras, para corroborar que la integridad del activo en su parte mecánica cumpla con las normas y estándares establecidos. Pero también se puede aplicar a componentes, máquinas y equipos [6]. Estas inspecciones pueden ser:

- **Inspección visual directa:** se realiza lo más cerca posible del objeto de investigación, componente, máquina, aprovechando al máximo las capacidades visuales máximas del ser humano. Los dispositivos que se pueden usar son lupas, microscopios, lámparas o linternas, y los dispositivos de medición, como calibradores, micrómetros y calibres, a menudo se usan para cuantificar y clasificar los hallazgos.
- **Inspección visual remota:** Se aplica cuando no se tiene acceso directo al objeto, componente o máquina en estudio. Es comúnmente utilizado en motores alternativos, turbinas estacionarias, compresores, cañerías de calderas, cañerías, intercambiadores, soldaduras internas, tanques, válvulas, entre otros.

2.4.3.4 Análisis en aceites

Mora, presenta, que el análisis habitual de los aceites permite determinar la composición química de estos, trayendo consigo la deducción de los parámetros de funcionamiento, materiales extraños y sus anomalías. La ferrografía y la detección de partículas, verifican el aceite en busca de partículas de desgaste de materiales ferrosos en movimiento para monitorear y diagnosticar las piezas móviles [10].

El análisis espectroscópico mide la presencia y cantidad de contaminantes en el aceite; Estas pruebas utilizan espectrómetros de emisión o absorción atómica para detectar la presencia de metales ferrosos y no ferrosos, así como partículas no metálicas. La cromatografía evalúa los cambios en las propiedades del lubricante, como el pH, la presencia de agua, la viscosidad, el punto de inflamación, la fracción insoluble en agua, etc., utilizando absorbancia y análisis específicos.

Rondón, también afirma que, los métodos de investigación y prueba para estos aceites y lubricantes son importantes para detectar la degradación de los lubricantes o aceites, que a menudo es causada por la entrada de contaminantes que aceleran su degradación y la presencia de partículas que causan desgaste. La contaminación y la mala calidad del aceite pueden provocar un mayor desgaste de los componentes o elementos, lo que eventualmente hará que la unidad falle [6].

El análisis del aceite tiene muchas ventajas, ya que midiendo algunas propiedades físico-químicas se obtienen los siguientes datos:

- El estado del lubricante (su viscosidad, partículas contaminantes - limpieza).
- Deterioro de la máquina.
- Nos permite instaurar un buen programa de lubricación basado en condición.

Además, identificar la fuente del desgaste del metal requiere comprender la metalurgia de las piezas móviles que entran en contacto con el lubricante. La

contaminación es la razón principal que reduce la vida útil del aceite y, por lo tanto, aumenta el daño o la avería de la máquina. Para la mayoría de las máquinas, la contaminación sólida es la principal causa de daños o fallas por uso y desgaste [6]. Los efectos o consecuencias que originan los diferentes tipos de contaminantes en el aceite se pueden evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 5. Efectos de los contaminantes sobre la superficie de la maquinaria.

TIPOS DE CONTAMINANTE	IMPACTOS SOBRE LA SUPERFICIE DE LA MAQUINARIA
Partículas	Genera desgaste superficial por abrasión y fatiga. Agua Se produce la herrumbre y el rayado.
Combustible	Aumenta el desgaste por pérdidas de resistencia de la película del lubricante.
Anticongelante	También se forma la herrumbre y corrosión. Aumento del desgaste por pérdidas de resistencia de la película del lubricante.
Aire	Genera la cavitación.
Calor	Creación de barniz. Aumento del desgaste por pérdida de resistencia de la película del lubricante

Fuente: F. A. P. Rondón, 2021, p 57.

Debido a su uso y uso, los aceites envejecen naturalmente con el tiempo, cambiando sus propiedades físicas: densidad, viscosidad y propiedades químicas, reduciendo su vida útil a través de los siguientes mecanismos:

- La oxidación.
- La polimerización.
- La ruptura.
- La evaporación.

2.5 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Mora comenta sobre tácticas o estrategias de mantenimiento industrial o nivel de empresa, las cuales vendrían siendo [10]:

2.5.1 Mantenimiento Productivo Total

Después de la Segunda Guerra Mundial, la industria japonesa determinó que para competir efectivamente en el mercado internacional, necesitaba mejorar la calidad de sus productos; de esta manera, se importaron tecnologías de producción y gestión del continente americano para adaptarse rápidamente a su sistema industrial; el concepto que se introdujo fue el de mantenimiento preventivo y posteriormente incluye otros conceptos como: mantenimiento productivo, mantenimiento preventivo, ingeniería de confiabilidad, entre otros; está tratando de cambiar fundamentalmente el entorno industrial japonés para ajustarse al llamado TPM (Mantenimiento Productivo Total), a veces definido como todos los empleados Mantenimiento productivo de equipos sobre la base de que todos los empleados de la organización de la empresa, desde los operadores hasta la parte superior, deben participar en la mejora de los equipos para la gestión.

2.5.2 Mantenimiento centrado en confiabilidad

RCM nació a principios de la década de 1960. Fue desarrollado originalmente por la industria de aviación civil de América del Norte; La ATA (Asociación de Transporte Aéreo) emitió su primer esfuerzo serio en Washington (EE.UU.) en 1968, denominado informe MSG1; luego actuó por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y, por encargo de F. Stanley Nolan y Howard Keel, escribió por primera vez su trabajo en 1978 bajo el título "Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad" (publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, United Airlines) para optimizar mantenimiento de los factores humanos y de producción. El estudio original de MSG2 y la publicación de MSG3 en 1980 llevaron al descubrimiento de este método. Según Moubray "El RCM se puede definir como un proceso usado para determinar lo que debe hacerse para asegurar que cualquier recurso físico continúe realizando lo que sus usuarios desean que realice en su producción normal actual" [16].

2.5.3 Mantenimiento combinado TPM & RCM

La combinación de RCM y TPM tiene la ventaja de mejorar los procesos para facilitar el trabajo en equipo entre las funciones de mantenimiento y producción, mejorar la confiabilidad del equipo y reducir los costos operativos. Las dos estrategias son exclusivas y complementarias, ya que TPM aumenta la productividad y RCM aumenta la confiabilidad y la competitividad. El uso combinado de ambas estrategias permite una gestión intensiva y exitosa de las herramientas básicas y avanzadas de mantenimiento, especialmente de recursos humanos (TPM) y técnicos (RCM), comenzando gradualmente con TPM para superar los recursos humanos, seguido de RCM técnicos y logísticos. permite un uso extensivo de los dos niveles de mantenimiento inicial. La combinación ideal es implementar TPM y una vez que tenga éxito en pasar a RCM, pasar a una estrategia proactiva.

2.5.4 Mantenimiento proactivo

Es una estrategia de mantenimiento cuyo objetivo principal es detectar y eliminar las causas del desgaste de la máquina. Una vez identificada la causa del desgaste, no se debe permitir que permanezcan en la máquina, de lo contrario se reducirá su vida útil y rendimiento. La vida útil de los componentes del sistema depende de que las fallas mantengan los parámetros dentro de los límites aceptables a través de prácticas que detecten y corrijan las desviaciones de acuerdo con procedimientos proactivos. Los límites aceptables significan que los parámetros de la causa de la falla están dentro del rango de gravedad operativa, lo que da como resultado una vida útil aceptable del componente.

2.5.5 Mantenimiento orientado a resultados

La estrategia de mantenimiento orientada a resultados se basa en la intuición y el sentido común para resolver problemas recurrentes; por lo tanto, es muy utilizado por quienes tienen mayores habilidades en la empresa. La contribución de cada departamento a este proyecto se puede medir mediante la siguiente fórmula:

Táctica hacia resultados

$$R = A * Q \quad (1)$$

Donde Q es la calidad de la idea y A es el nivel de aceptación. La esencia de esta estrategia es ver el mantenimiento como una actividad productiva con mejora continua.

2.6 MANTENIMIENTO: FIABILIDAD

Se define como la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo según otros autores referenciados por él; por lo tanto, si no hay fallas, el activo es 100% confiable, determinando así, que, si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del activo es aceptable, del mismo modo, si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable. Equipo con muy buen diseño, bonito set y lo suficientemente probado en el campo y mantenido adecuadamente nunca debería fallar (según la teoría), pero la experiencia muestra que incluso, si los equipos con mejor diseño, montaje y mantenimiento tendrán errores [10]. Por otro lado, Abella, utiliza el termino de fiabilidad y la define como “la probabilidad de que un bien funcione adecuadamente durante un período determinado bajo condiciones operativas específicas (por ejemplo, condiciones de presión, temperatura, velocidad, tensión o forma de una onda eléctrica, nivel de vibraciones, etc.)” [9].

la matemática utilizada, definen la variable aleatoria T como la vida del bien o componente, en donde esta tiene una función $F(t)$ de distribución acumulada expresada como:

Función de distribución acumulada

$$F(t) = P(T \leq t) \quad (2)$$

Junto a esta, la función $f(t)$ de densidad de probabilidades expresadas por:

Función de densidad de probabilidades

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3)$$

Donde la función de fiabilidad, definida también como función de supervivencia, se define como:

Función de confianza

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F(t) \quad (4)$$

En donde $R(t)$ es la probabilidad de que un componente nuevo sobreviva más del tiempo t . De este modo, $F(t)$ es la probabilidad de que un componente nuevo no sobreviva más del tiempo t . Así mismo, la probabilidad de que un componente nuevo falle entre t y $t + s$ (s es un incremento de tiempo respecto a t) es igual a:

Función de probabilidad de fallo de un componente

$$P\{t < T \leq t + s \mid T > t\} = \frac{P\{t < T \leq t + s\}}{P\{T > t\}} = \frac{F(t+s) - F(t)}{R(t)} \quad (5)$$

De lo anterior, si se divide entre s y haciendo que s tienda a cero:

Función de tasa de fallos

$$\lambda(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} \frac{F(t+s) - F(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (6)$$

$\lambda(t)$ es la función de tasa de fallos o función de riesgo o tasa instantánea de fallos, y esta misma es una característica presente de la fiabilidad del producto.

Sin embargo, los valores de la función de tasa de error no tienen una interpretación física directa. Una t suficientemente pequeña se puede definir como la probabilidad de falla de un componente en un tiempo infinitesimal dt válido en el tiempo t .

2.6.1 Curva de bañera o de Deivis

Las diferentes acciones decididas según las tareas a realizar para el mantenimiento (y producción) dependen de parámetros como la curva de baño o la curva de Davis, donde la evolución temporal está relacionada con la tasa de fallo $\lambda(t)$ y la forma Beta del parámetro de valor del equipo evaluado. Dependiendo del valor del equipo en ese momento, elija si la tarea de mantenimiento debe ser correctiva, correctiva, preventiva o predictiva según la fase del componente o sistema. De acuerdo con la curva de Davis, se define el mantenimiento operativo de nivel II [10].

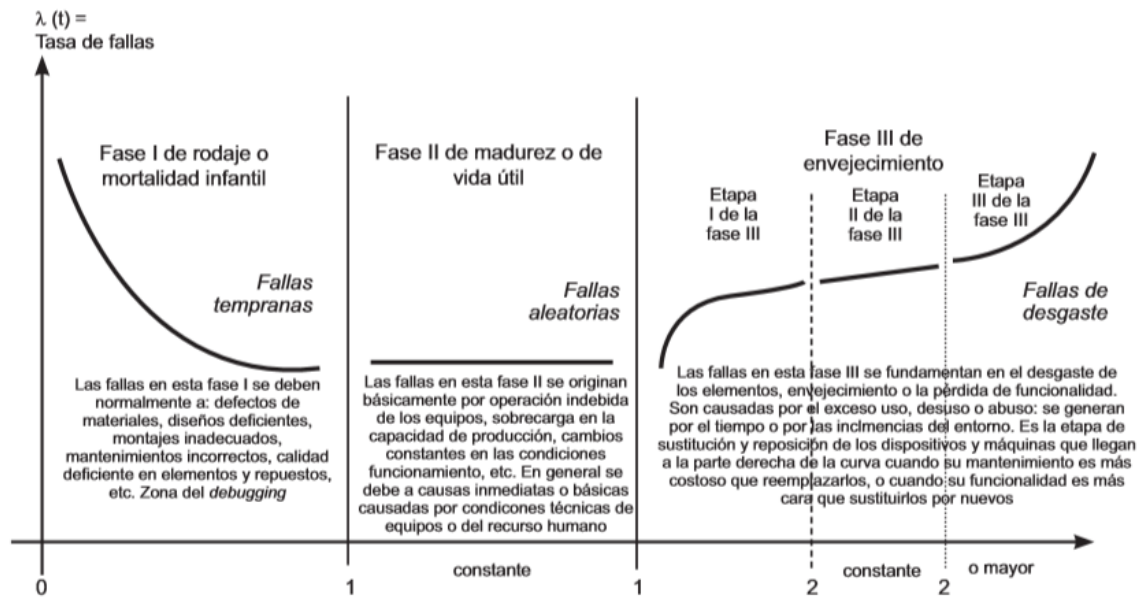
La duración de un equipo se puede dividir en tres fases diferentes, en donde la primera fase, las acciones correctivas son muy útiles en el proceso FMECA. Las operaciones de modificación permiten que la primera o la segunda etapa corrijan cualquier defecto de diseño o montaje, calidad del material, métodos de mantenimiento inadecuados u otros defectos inherentes. La segunda etapa suele caracterizarse por errores de origen tecnológico, ya sean programas humanos o equipos. Las actividades de modificación son las más adecuadas para esta fase, ya que si surgen de un uso (equipo o personal) fuera del estándar, estos activos o procesos deben cambiarse dentro del nuevo estándar, modificando la tecnología si la falla es esporádica, o recurrente; para fallas persistentes, use FMECA y cambie

las operaciones. Por último, en la tercera etapa, la tasa de falla aumenta gradualmente a medida que aumenta el tiempo hacia la derecha (Figura 1). Los errores que ocurren son conocidos, las personas comienzan a adquirir experiencia y conocimiento de los mismos, y esto es efecto del uso, abuso o desgaste con el paso del tiempo. En esta etapa ya se dispone de las medidas preventivas previstas porque se conocen los errores y se conoce su control; esta es la etapa donde la ingeniería de confiabilidad comienza a dominar el sistema.

Del mismo, Abella, define estas fases como periodos, de la siguiente manera [9]:

- **Juventud. Zona de mortandad infantil:** el fallo se produce inmediatamente o al cabo de muy poco tiempo de la puesta en funcionamiento, como consecuencia de:
 - Errores de diseño
 - Defectos de fabricación o montaje
 - Ajuste difícil, que es preciso revisar en las condiciones reales de funcionamiento hasta dar con la puesta a punto deseada.
- **Madurez. Periodo de vida útil:** periodo de vida útil en el que se producen fallos de carácter aleatorio. Es el periodo de mayor duración, en el que se suelen estudiar los sistemas, ya que se supone que se reemplazan antes de que alcancen el periodo de envejecimiento.
- **Envejecimiento:** corresponde al agotamiento, al cabo de un cierto tiempo, de algún elemento que se consume o deteriora constantemente durante el funcionamiento.

Figura 1. Curva de la bañera o de Davies



Fuente: L. Mora, 2009, p 108.

2.6.2 Tiempo medio entre fallos (MTBF)

En ámbito laboral, la fiabilidad se mide como el tiempo medio entre ciclos de mantenimiento o el tiempo promedio entre fallos (Mean Time Between Failures, por sus siglas en inglés MTBF). En donde, por ejemplo, se tiene un activo con N componentes ejecutándose durante un período de tiempo T , donde se asume que fallan varios componentes (algunos, varias veces), en cuyo caso el i -ésimo componente habrá tenido n_i fallos, entonces, el promedio de fallas del activo es:

Numero promedio de fallos

$$\bar{n} = \sum_{i=0}^N \frac{n_i}{N} \quad (7)$$

Siendo el MTBF el cociente entre T y $\bar{n}$:

MTBF (Tiempo medio entre fallos)

$$MTBF = \frac{T}{\bar{n}} \quad (8)$$

2.6.3 Tiempo promedio hasta la falla (MTTF)

El tiempo promedio hasta la falla (Mean Time To Failure; por sus siglas en inglés MTTF), es otro de los parámetros utilizados, junto con la tasa de fallos $\lambda(t)$ para determinar la calidad de un componente de un activo. Si se practican N elementos idénticos desde el instante $t = 0$, y se miden los tiempos de operatividad de cada uno hasta que se genere alguna falla. Entonces el MTTF será la media de los tiempos t_i medidos:

MTTF (Tiempo promedio hasta la falla)

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (9)$$

2.7 MANTENIMIENTO: MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad es una característica inherente del diseño y se relaciona con la capacidad de restablecer el servicio cuando se lleva a cabo el mantenimiento requerido según lo especificado [9].

Por lo tanto, la mantenibilidad se puede cuantificar por el tiempo T utilizado para realizar las tareas de mantenimiento especificadas en el elemento bajo consideración con los recursos de soporte especificados. El cumplimiento de estas tareas implica tres factores:

- **Factores personales:** habilidad, motivación, experiencia, capacidad física, etc.
- **Factores condicionales:** representan la influencia del entorno operativo y las consecuencias que ha producido el fallo en la condición física, geometría y forma del elemento en recuperación.
- **El entorno:** temperatura, humedad, ruido, iluminación, vibración, momento del día, viento, etc.

Del mismo modo la mantenibilidad está relacionada con la facilidad con la que un componente o equipo puede restaurarse a su estado funcional previsto, lo que significa tener en cuenta todas las características y eventos pasados antes de que alcanzan su estado normal, por ejemplo: diseño, ensamblaje, operación, operador, habilidades de los operarios, cambios realizados, reparaciones previas, rendimiento, confiabilidad, mantenimiento realizado a lo largo de la vida del equipo, medio ambiente, legislación pertinente, calidad de los repuestos, limpieza, su impacto en el medio ambiente, entre otros, que afectan directamente el grado de mantenimiento del equipo [10].

En general, la forma más precisa de definir el mantenimiento es el tiempo requerido para restaurar, reparar o realizar las diversas tareas de mantenimiento necesarias para devolver un componente o equipo a su función y condición normal. La mantenibilidad se refiere a la capacidad del equipo para volver a su condición original cuando se le da servicio. El mantenimiento incluye acciones específicas tomadas para mejorar el mantenimiento que determinan cómo se realiza el mantenimiento [10].

Por lo tanto, la naturaleza del parámetro T de la tarea de mantenimiento también depende de la variabilidad de estos parámetros:

Tiempo para realizar una tarea especificada

$$T = f(\text{factores personales, condicionales y ambientales}) \quad (10)$$

Ante esta situación, el único enfoque posible para el análisis de mantenimiento es utilizar la teoría de la probabilidad. Existen algunas similitudes entre el estudio estadístico de fiabilidad y mantenibilidad:

- La variable aleatoria en el tiempo es “la duración de la intervención”
- La densidad de probabilidad del tiempo de reparación se llama $g(t)$
- La función Mantenibilidad $M(t)$ es la probabilidad de reparación de una duración $T < t$

Función de mantenibilidad

$$M(t) = P(T \leq t) \quad (11)$$

Donde $M(t)$ es una función de mantenimiento o reparación que aumenta con el tiempo t . La curva de mantenibilidad aumenta con el aumento del tiempo de finalización y alcanza su punto máximo en tiempos más largos o infinitos, lo que indica que a medida que se asigna un tiempo T mayor y máximo para realizar el mantenimiento, aumenta la probabilidad de éxito para completar el mantenimiento en el tiempo t . T es el tiempo máximo o límite superior total, y t es el tiempo para determinar la acción de reparación; esta expresión indica que el tiempo total T es siempre menor o igual al tiempo de evaluación t del estudio de reparación, o sea, la reparación siempre se completa en un tiempo T menor que t realizado.

2.7.1 Tiempo medio para reparar (MTTR)

En la práctica la tasa de reparación se puede medir a través de la Media de los tiempos técnicos de reparación (Mean Time To Repair, por sus siglas en inglés MTTR), expresado de la siguiente manera

MTTR (Tiempo medio para reparar)

$$MTTR = \frac{T}{n} \quad (12)$$

Donde n es el número de intervenciones.

2.8 MANTENIMIENTO: DISPONIBILIDAD

La disponibilidad es la probabilidad de que un sistema esté operativo o listo para funcionar en el momento o momento requerido. Para estar disponible en todo momento, el sistema no debe estar defectuoso o, si está dañado, debe repararse en menos tiempo que el tiempo máximo permitido para el mantenimiento. Suponiendo que la tasa de fallas y la tasa de reparación son constantes:

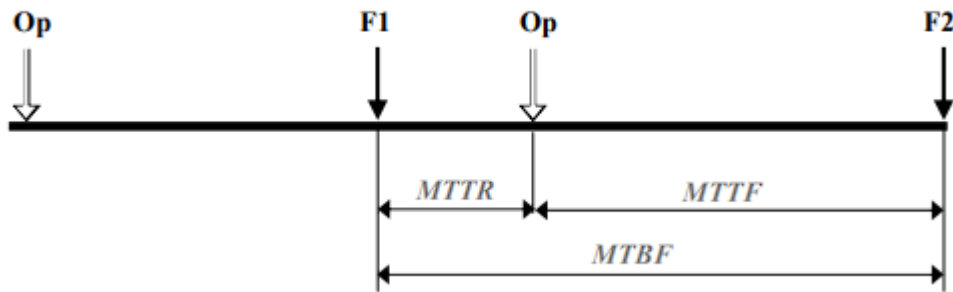
- Tasa de fallos = $\lambda(t) = \lambda$
- Tasa de reparación = $\mu(t) = \mu$

Entonces

- **MTBF** = $\frac{1}{\lambda}$ (Tiempo medio entre fallos)
- **MTTR** = $\frac{1}{\mu}$ (Tiempo medio de reparación)

- **D**: disponibilidad del sistema

Figura 2. Relación entre el tiempo medio de reparación (MTTR), tiempo medio hasta la avería (MTTF)



Fuente: M.B. Abella, p 18.

En la Figura 2 se muestra un ciclo de operación, "Op" indica el instante en que el elemento, producto o sistema comienza a estar operativo. F1 y F2 muestran los instantes en que se producen los fallos 1 y 2 respectivamente. Luego, de acuerdo a la Figura 2 podemos expresar la disponibilidad (D) así:

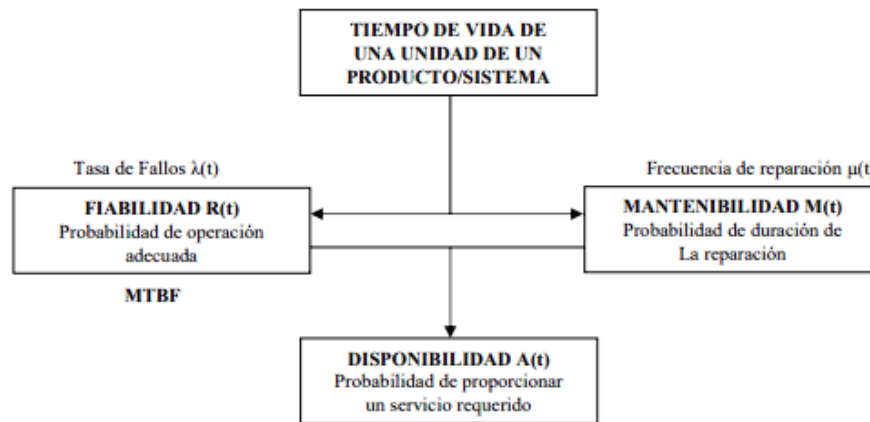
D (Disponibilidad)

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100\% \quad (13)$$

Donde

- **D** = disponibilidad
- **MTBF** = tiempo medio entre fallas
- **MTTR** = tiempo medio para reparar

Figura 3. Relación entre disponibilidad, mantenibilidad y fiabilidad.



Fuente: M.B. Abella, p 19.

La disponibilidad del producto durante un periodo de utilización prefijado, llamada calidad de funcionamiento, está en función de la fiabilidad y de la mantenibilidad del mismo. Actualmente, es política común de los ingenieros de diseño, incluir en el diseño del producto innovaciones constantes que generen un aumento tanto de la fiabilidad como de la mantenibilidad, con la finalidad de generar ahorros para los futuros Costes de Post-Venta (como en el servicio de mantenimiento) [9].

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 INTERNACIONAL

A medida que se avanza en la industria, y se diseñan estrategias de mantenimiento optimas de funcionamiento, centrándose principalmente en la elaboración de una metodología acertada, que cumpla con unos parámetros esperados; y si bien cada proceso o máquina, requiere un mantenimiento en específico, también es necesario conocer la finalidad de la estrategia de mantenimiento planteada; un claro ejemplo de esto es la tesis previa a la obtención del título en ingeniera de mantenimiento, Johanna Lorena Caiza Chango, "Mantenimiento mejorativo de un banco de neumática para el laboratorio de automatización y manipulación automática,

escuela de ingeniería de mantenimiento” del año 2019, en donde se realiza un mantenimiento con la finalidad de mejorar un módulo de neumática, debido a que los cilindros de simple y doble efecto solo funcionaban, únicamente con la activación y desactivación de elementos eléctricos y electroneumáticos [17].

Por otra parte, es importante tener en cuenta, que para que exista una buena estrategia de mantenimiento, se debe contar con una buena gestión del mismo, pues estos dos siempre van de la mano, y de esta manera podemos hablar del trabajo realizado por Santiago García Garrido, en su libro “Manual del jefe de mantenimiento. Guía práctica para la gestión del mantenimiento de instalaciones” del año 2020, donde mediante una serie de capítulos se plantean los objetivos del mantenimiento teniendo presente el riesgo laboral, el riesgo medioambiental, disponibilidad, el objetivo de fiabilidad, la vida útil de la planta, el cumplimiento del presupuesto, como también la mentalidad de mantenimiento a corto plazo, así mismo como la organización del personal, las normas que se trabajan, y otros muchos factores de los cuales podemos destacar las estrategias de mantenimiento de acuerdo al tipo de tareas de mantenimiento presente y también el organigrama de mantenimiento en cuanto a los recursos humanos [18].

Ahora en cuanto a la elaboración de un plan de mantenimiento, podemos tomar como referencia la tesis de Roberto Alonso Anaguano Lamiña, titulada “Modelo de un plan de mantenimiento basado en procesos para el área de Preparación Hilatura Caso: Empresa Vicunha Ecuador” del año 2018, nos presenta un plan de mantenimiento basado en procesos para el área de preparación hilatura, con el la finalidad de integrar y relacionar de conceptos administrativos con los de mantenimiento industrial, evaluando distintos modelos de mantenimiento con el objetivo de establecer el que mejor se adapte al estudio [19].

3.2 NACIONAL

En el mundo tan cambiante de la industria, siempre existe la necesidad de las empresas de mejorar su tecnología y metodologías, y en cuanto al mantenimiento siempre habrá mucho por decir y mucho que revisar [20]. Bajo estas condiciones, las entidades siempre deben tener una documentación, de los procesos de

mantenimiento que estas realicen y de no tenerlos este deberá realizarse, como nos lo presenta Diego Alexander Patiño Ramírez, en su monografía “Documentación del proceso de mantenimiento según la NTC ISO9001:2015 en una empresa de servicios tecnológicos” del año 2019, donde nos presenta inicialmente con el establecimiento de un mapa de procesos con el fin de expresar gráficamente la interacción entre los procesos que intervienen en la organización, para seguidamente caracterizar los procesos de mantenimiento y de esta manera realizar un diagnóstico del proceso frente al cumplimiento de los requisitos de la NTC ISO 9001:2015, todo esto con el objetivo de determinar la información documentada del proceso de mantenimiento en la empresa Bfocus Technologies S.A.S [21].

En este punto también nos encontramos con Walter Humberto David Mesa, el cual nos presenta su trabajo que tiene por nombre “Elaboración de un protocolo de mantenimiento preventivo para las áreas de proceso y equipos de la empresa Gecolsa CAT.” del año 2020, donde nos desarrolla una propuesta de realización de un protocolo de mantenimiento preventivo, en la que como primera medida detalla los componentes electromecánicos que conforman cada espacio individualmente, para después elaborar hojas de vida, protocolos y cronogramas de mantenimiento de cada uno de los equipos considerados, con la idea de generar un alargamiento de la vida útil de los componentes de cada equipo, para de esta manera reducir los contratiempos durante los procesos de producción y reparación [22]. Siguiendo esta misma línea de protocolos para áreas de procesamiento, nos encontramos a Evelyn Sandrid Herazo Montes de Oca, con su trabajo, “Diseño de un protocolo de mantenimiento preventivo para el área de procesamiento de agua utilizada en máquinas de hemodiálisis” del año 2021, donde se muestra el diseño de un protocolo de mantenimiento preventivo que abarca una rutina escrita completa de mantenimiento preventivo, lavado, desinfección y mantenimiento predictivo en todos los componentes de un área de procesamiento de agua utilizada en máquinas de hemodiálisis, preservando la seguridad del personal encargado y la salud del paciente [23].

3.3 DEPARTAMENTAL

Así como avanza las tecnologías y las metodologías en las empresas, también lo hacen los centros de enseñanza, con el propósito de brindar un acercamiento

simulado al estudiante de procesos industriales, de allí la creación de bancos de prácticas y los protocolos de mantenimiento que estos requieren, en donde encontramos el trabajo realizado por Jeisson Harvey Martínez Flórez y Michael Steven Molina Daza, en la tesis “Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los talleres de soldadura, automatismos mecánicos, hidráulica y refrigeración del centro CIES del Sena de Cúcuta, norte de Santander” del año 2018, donde nos presentan un caso de estudio sobre el mantenimiento preventivo, con el cual diseñan un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los talleres de soldadura, mecánica, hidráulica y refrigeración del centro CIES del SENA Cúcuta, con el objetivo principal de determinar actividades de gestión de mantenimiento, que requirieren los equipos que poseen un alto grado de criticidad y necesidad de cada formación [24].

Si bien las condiciones de trabajo, se relaciona de manera directa con el desgaste, fallos, averías o bajos rendimientos que presentan las máquinas, si lo enfocamos de manera general, esto se traduce también por: uso, mala operación, errores de diseño, fallas en el montaje, sobrecargas, mala selección de materiales, condiciones ambientales adversas, entre otras. Aquí es donde el mantenimiento juega un papel importante, alargar su vida útil de la mejor manera posible, para que dichas máquinas en ese tiempo sean eficientes [6]. Ahora, tras lo antes mencionado, el cumplimiento de estándares legales, como políticas de seguridad del estado, también influye en la creación de protocolos de mantenimiento, como nos lo muestra Leidy Katherine Quintero Rodríguez, su tesis, “Protocolos de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos biomédicos básicos de las salas quirúrgicas de la E.S.E. Hospital universitario Erasmo Meoz.” del año 2018, donde de este proyecto es la elaboración de los protocolos de mantenimientos preventivo y correctivo para los equipos biomédicos básicos de las salas de cirugía, basado en las instrucciones del fabricante en cumplimiento al decreto nacional 4725 de 2005 y la resolución 2003 de 2014 emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social, tomando en cuenta la información dada por técnicos e ingenieros en el cuidado y supervisión del buen funcionamiento de los equipos [25].

Por último, para ampliar el estado del arte actual se agrega un normograma con tesis investigadas durante la realización del proyecto, en donde se pueden evidenciar las principales normas en las que se basan los autores para la realización de sus trabajos, refiérase al anexo [Normograma](#).

4. DESARROLLO DEL PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO

4.1 DATA HISTÓRICA, INGENIERIL Y OPERACIONAL DEL BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO

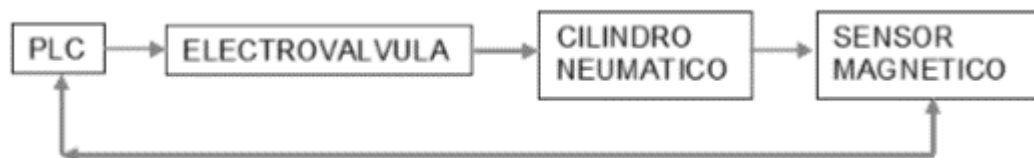
En el laboratorio de mecatrónica de la Universidad, solo se encuentran documentos realizados por Pérez y García, autores del diseño y construcción del banco electroneumático, de modo que estos serán usados como base para la realización del protocolo y es lo que observarán a continuación [26].

4.1.1 Esquemas banco de prácticas electroneumático

4.1.1.1 Diagrama en bloque funcionamiento básico

En la Figura 4 está representado en un diagrama de bloques el funcionamiento básico que tiene el banco de prácticas electroneumático. Donde el bloque PLC representa el PLC Spartan con su algoritmo de control, electroválvula es el elemento utilizado para el control de posición del cilindro, el cilindro es el actuador, el sensor magnético es el que indica en qué posición que está el émbolo del cilindro, realizado por los autores.

Figura 4. Diagrama en bloque del funcionamiento.



Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 61.

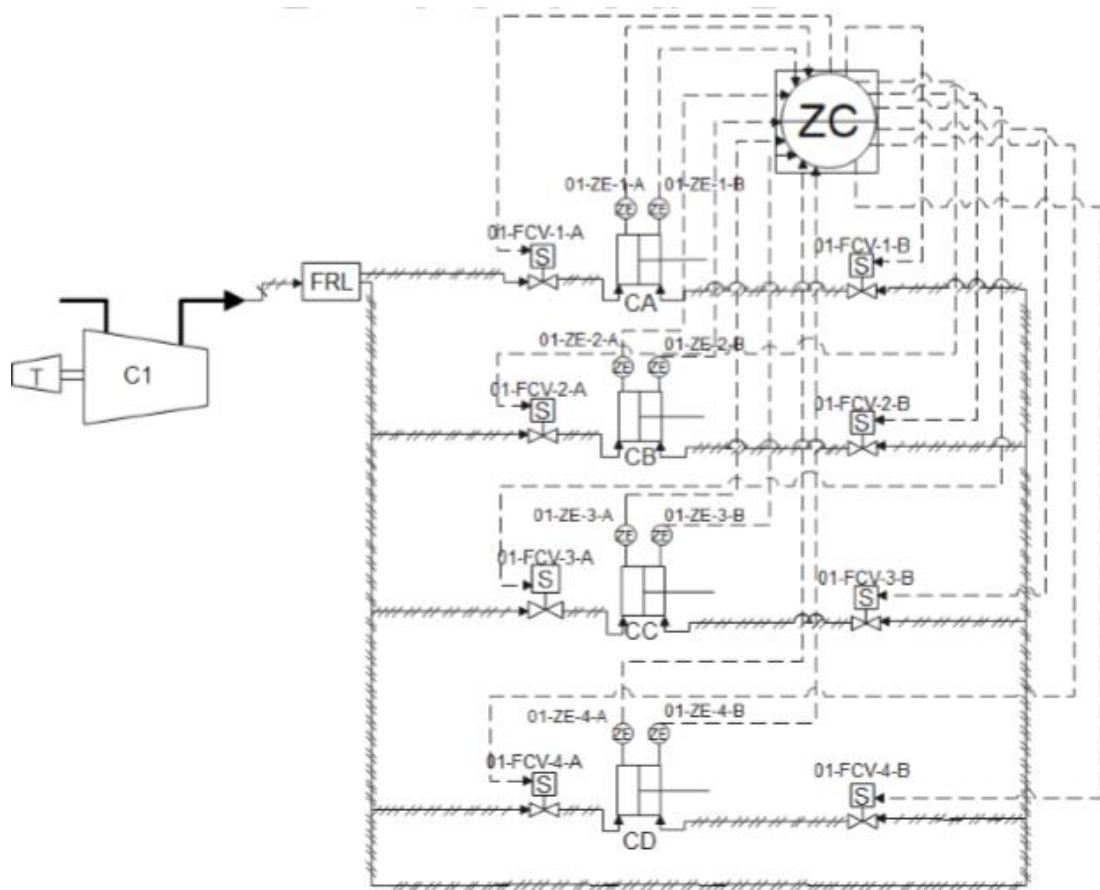
4.1.1.2 Diagrama general

En la Figura 5, se representa un diagrama general del banco de prácticas.

- Donde C1 es el compresor que trabaja de 2 a 8 Bar, FRL es la unidad de mantenimiento que filtra-regula-lubrica el aire comprimido.
- 01-FCV-1-A y 01-FCV-1-B Representa la Electro-válvula A (5/2), la cual 01FCV-1-A empuja el embolo del Cilindro A, desplazando el vástago al lado derecho y 01-FCV-1-B empuja el embolo desplazando el vástago al lado izquierdo.
- 01-FCV-2-A y 01-FCV-2-B Representa la Electro-válvula B (5/2), la cual 01FCV-2-A empuja el embolo del Cilindro B hace avanzar el vástago hasta el final del recorrido del cilindro y 01-FCV-2-B empuja el embolo para entrar el vástago.
- 01-FCV-3-A y 01-FCV-3-B Representa la Electro-válvula C (5/2), la cual 01FCV-3-A empuja el embolo del Cilindro C hace avanzar el vástago hasta el final del recorrido del cilindro, y 01-FCV-3-B empuja el embolo para entrar el vástago.
- 01-FCV-4-A y 01-FCV-4-B Representa la Electro-válvula D (5/2), la cual 01FCV-4-A empuja el embolo del Cilindro D hace avanzar el vástago hasta el final del recorrido del cilindro y 01-FCV-4-B empuja el embolo para entrar el vástago.
- 01-ZE-1-A Representa un sensor: cuando está activo el embolo está en la posición A1 el (vástago a la izquierda) y 01-ZE-1-B Representa un sensor cuando está activo el embolo está en la posición A2 (vástago en la derecha).
- 01-ZE-2-A Representa un sensor que indica si el embolo está en la posición B1 (vástago escondido) y 01-ZE-2-B Representa un sensor si se encuentra activo da a entender que el embolo permanece en la posición B2 (vástago salido).
- 01-ZE-3-A Representa un sensor que indica si el embolo está en la posición C1 (vástago escondido) y 01-ZE-3-B Representa un sensor si se encuentra activo da a entender que el embolo permanece en la posición C2 (vástago salido).
- 01-ZE-4-A Representa un sensor que indica si el embolo está en la posición D1 (vástago escondido) y 01-ZE-4-B Representa un sensor si se encuentra activo da a entender que el embolo permanece en la posición D2 (vástago salido).

- CA es el cilindro neumático de movimiento lineal A doble efecto doble vástago, CB es el Cilindro neumático de movimiento lineal B doble efecto, CC es el Cilindro neumático de movimiento lineal C doble efecto, CD es el Cilindro neumático de movimiento lineal D doble efecto.
- ZC Es el módulo de control SPARTAN PLC Arduino 16DA con el algoritmo de control.

Figura 5. Diagrama general.



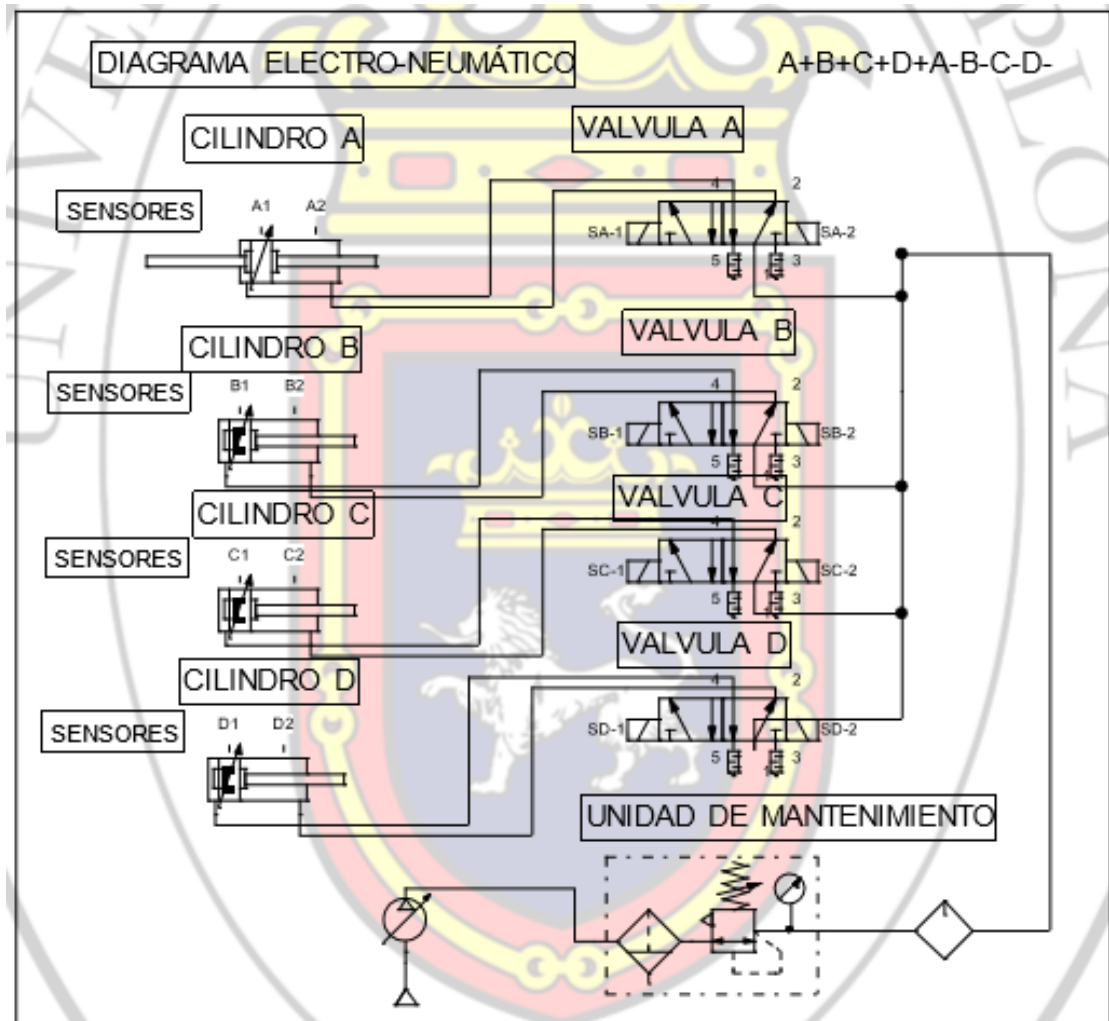
Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 63.

4.1.1.3 Diagrama FluidSIM

En la Figura 6 y en Figura 7 se aprecia los esquemas del banco de prácticas electroneumático en los diagramas de control (lógica cableada) son para la

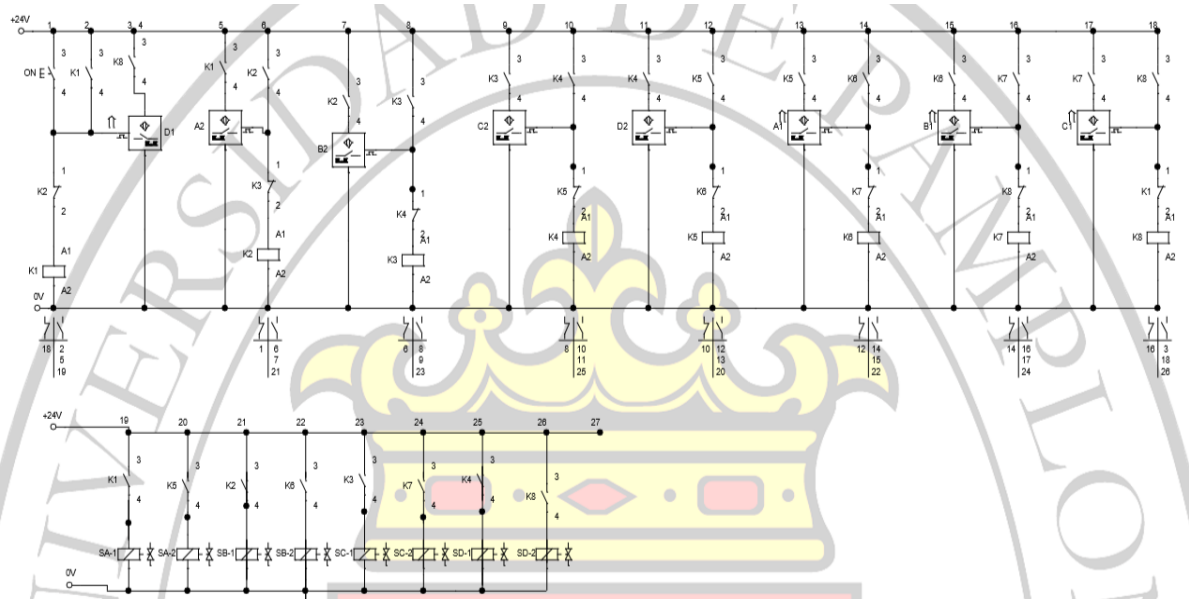
activación de las electroválvulas. Donde los autores especifican que solo para fines de simulación y observar el funcionamiento de este.

Figura 6. Diagrama funcional.



Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 64.

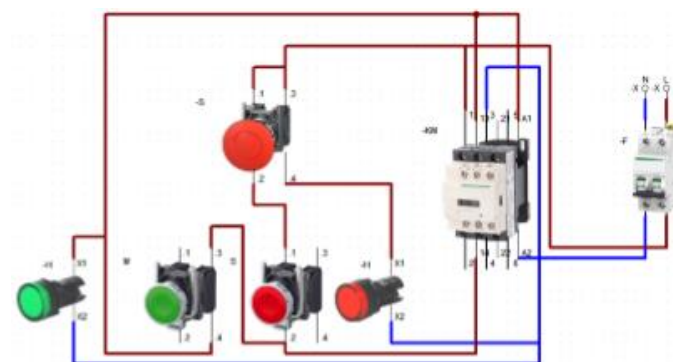
Figura 7. Control de electroválvulas.



Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz Garcia, 2020, p 65.

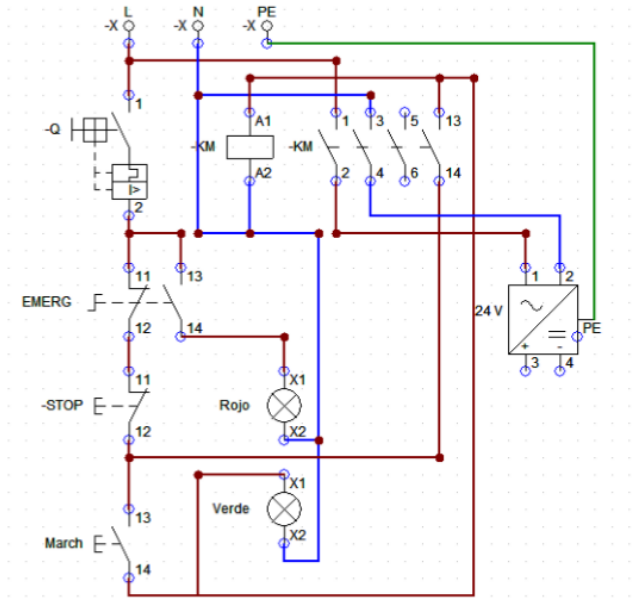
En la Figura 8 y Figura 9 se encuentra el diagrama pictórico y esquemático de cómo está conectado internamente el panel de control la puesta en marcha, la parada y parada de emergencia, el contactor y el breaker del banco electroneumático, según los autores del proyecto del banco de prácticas.

Figura 8. Diagrama pictórico de potencia.



Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz Garcia, 2020, p 65.

Figura 9. Diagrama esquemático de potencia.



Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 66.

4.1.2 Manual operacional

Tabla 6. Manual de operación del banco Electroneumático.

MANUAL DE OPERACIÓN BANCO ELECTRONEUMÁTICO		
Introducción	Manual de pautas de operación e instrucciones de uso del banco Electroneumático	
Descripción del banco Electroneumático		Página 1/3
El equipo consta de un base estructural principalmente de hierro para ser baste robusta, el cual permite que pueda ser adecuado para adaptación de más elementos y o desarrollo de algunas mejoras, panel de control, conta de botón PLC botone de marcha, parada, parada emergencia, suiches para iluminación e indicadores de luz, el sistema neumático conta de compresor de 1.5 Hp, con un tanque de 20 litros y una presión de funcionamiento nominal de 2 a 8 bares, 1 unidad de mantenimiento que filtra regula y lubrica el aire comprimido, 3 cilindros neumáticos de doble efecto, un cilindro neumático de doble efecto doble vástago, 4 electroválvulas 5/2 accionadas por solenoide (24 v) y para detectar la posición del cilindro (adentro o fuera) 8 sensores magnéticos conectados al cilindro (2 por cilindro).		

MANUAL DE OPERACIÓN BANCO ELECTRONEUMÁTICO	
Elementos del banco Electroneumático	 Página 2/3
1. Compresor: el compresor es de marca Pretul funciona a 120v 60Hz, con una potencia de 1.5 HP, con una presión de trabajo de 8 bares su labor es generar el aire comprimido que alimenta a todo el sistema neumático 2. Unidad de mantenimiento: funciona a una presión de 0.5 a 8.5 Bares, su labor es filtrar con la trampa de agua de 40um las impurezas del aire comprimido (partículas de agua), regular la cantidad de aire comprimido con la que se alimenta el sistema, y con el aceite que se encuentra en uno de sus vasos lubricar el sistema, al finalizar el uso del equipo libera (purga) el aire comprimido que queda en las mangueras 3. Electroválvula: es de marca STNC funciona a una presión de 1.5 a 8 Bares, su labor es permitir y liberar el paso de aire comprimido a los cilindros neumáticos 4. Mangueras: está compuesta de poliuretano, tiene 6mm de diámetro exterior y un diámetro interior de 4 mm con un grosor de 1mm es ligera (poco peso) y es el elemento encargado de transportar el fluido de un lado a otro del sistema	
Elementos de mando del banco Electroneumático	
1. Breaker: es un BKN C 32 A de 230/400 V AC con una frecuencia de 50/60Hz IEC /EN 60898-1. 2. Pulsadores de Marcha y Parada: el botón de marcha (Verde NO) este activa un contactor el cual permite el paso de la energía al sistema, el botón de parada (rojo NC) desenclava el contactor cortando el paso de energía al sistema. 3. Parada de Emergencia: es un interruptor normalmente cerrado con enclavamiento el cual al accionarse abre el circuito el cual impide el paso de energía al todo el sistema. 4. PLC: es un controlador de industrial Shields, el cual se programa con la IDE de Arduino que es un software libre y de fácil manejo para que el estudiante pueda programar la secuencia de activación de los cilindros.	
Puesta en marcha	Indicadores
1. Conexión de Mangueras. Conecte y asegúrese de que todas las mangueras estén conectadas en los cilindros y en las válvulas correspondientes de manera correcta. 2. Manejo de PLC. Abra el entorno de Arduino Cargue y ejecute el código siguiendo los pasos de “guía número dos” el cual se encuentra en la parte guías. 3. Puesta en marcha y parada del banco Electroneumático. Conecte a un toma corriente el enchufe del equipo y Active el breaker (subir) para energizar el sistema. Para poner en marcha el sistema presione el botón de Marcha (verde) y baje el switch del compresor espere hasta que el compresor se cargue a una presión igual a ocho bares. Para detener el sistema Presione el botón de parada (Rojo) y este se detendrá recuerde bajar el switch del compresor y despresurizar el sistema.	Sistema en Marcha se ilumina el indicador verde Sistema parado por botón de emergencia, se enciende el indicador rojo Sistema de luces led se enciende con el suiche.

MANUAL DE OPERACIÓN BANCO ELECTRONEUMÁTICO	
Puesta en marcha	
4. Configuración de Caudal. Cuando el compresor se allá llenado abra el regulador del compresor hasta alcanzar una presión de 5 a 6 Bares y luego habrá poco a poco el paso de presión de la unidad de mantenimiento. Si quiere que los cilindro salgan más rápido o más lento varié la salida de aire de los silenciadores. 5. Descarga de la máquina. Para descargar o apagar la maquina oprima el botón de parada Rojo, después cierre los reguladores de presión del compresor y libere el aire comprimido del sistema por medio del drenado de la unidad de mantenimiento. Para liberar la presión que queda en el compresor abra la válvula de liberación de presión que trae el compresor hasta que este vacío (manómetro en cero) o no se escuche la salida de aire	
ADVERTENCIAS 1. Fallos en las siguientes instrucciones puede ocasionar lesiones y daños del equipo. 2. No maneje el equipo en ambientes explosivos, como en presencia de líquido gas o polvos inflamables. 3. No exponga el equipo a la lluvia o condiciones de humedad. 4. No fuerce el cable. Nunca use el cable para transportar levantar o desconectar la máquina. 5. Mantenga el cable lejos del calor aceite orillas afiladas o piezas en movimiento. 6. Esté alerta, vigile lo que está haciendo, use el sentido común cuando maneje el equipo o alguna de sus partes, no la opere si está cansado o bajo influencia de drogas, alcohol o medicamentos. 7. Use los elementos de seguridad. Procure siempre usar protección para los ojos. 8. Vista adecuadamente. No vista sopa suelta o joya. Mantenga su pelo, su ropa y guantes alejados de las piezas en movimiento. 9. No fuerce las partes del equipo. 10. No use el equipo si los interruptores no funcionan. 11. Desconecte el equipo si va a realizar algún cambio de sus accesorio o partes. 12. No opere el equipo si se encuentra algún daño, apague y haga su respectiva reparación o cambio. 13. No permita el manejo por parte de personas no familiarizadas o sin supervisión.	

Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 77-84.

4.1.3 Manual de mantenimiento

Pérez y García, desarrollan un manual de mantenimiento programado; teniendo presente las fichas que se muestran a continuación [26]:

- Ficha técnica: contiene toda la información técnica que el operador necesita saber para el manejo de la máquina correctamente. (Tabla 7)
- Acciones y códigos de mantenimiento: son instrucciones que se realizan para preservar la vida del dispositivo. (Tabla 8)
- Instrucciones técnicas: esta pestaña describe las acciones de mantenimiento que se realizarán en el elemento del banco; quién es responsable de llevar a cabo las actividades anteriores e indica cuándo y con qué frecuencia deben llevarse a cabo. (Tabla 9)
- Procedimientos básicos de las operaciones de mantenimiento: describe de manera simplificada las instrucciones para realizar las actividades de mantenimiento y los equipos o materiales utilizados para realizar las actividades de mantenimiento. (Tabla 10)
- Cronograma de mantenimiento: está definido para un año. Asigna unidades de tiempo de una semana para realizar actividades de mantenimiento en los elementos del banco electroneumático. (Tabla 11)

Tabla 7. Ficha técnica

FICHA TÉCNICA BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO											
Datos técnicos											
Fabricante	Universidad de Pamplona										
Modelo	2020										
Año de fabricación	2020										
Potencia	1125	W									
Voltaje	120	V/ AC									
Amperaje	9,30	A									
Frecuencia	60	Hz									
Características físicas											
Frente	200	Cm									
Ancho	83	Cm									
Alto	190	Cm									
N° actuadores	4	Unidades									
Peso	250	Kg									
											
						Componentes neumáticos					
						Cilindros de Doble Efecto			Cilindros de Doble Efecto Doble Vástago		
						Fabricante	PNEUTEC		Fabricante	ART	
						Modelo	DNC 63X300mm		Modelo	CACP32200	
						Diámetro del cilindro	63	mm	Diámetro del cilindro	32	mm
						Diámetro del Vástago	20	mm	Diámetro del Vástago	12	mm
						Presión de trabajo	1 a 10	Bar	Presión de trabajo	1 a 10	Bar
						Temperatura de trabajo	-5 ~ 70	°C	Temperatura de trabajo	-20 ~ 80	°C
						Electroválvula			Unidad de mantenimiento		
						Fabricante	STNC		Fabricante	SNS	
						Modelo	TG2522-08		Modelo	AF 3000	
						Presión	1.5 a 8	Bar	Presión	0.5 a 8.5	Bar
						Voltaje	24	V/ DC	Filtro	40	uM
						Potencia	4	W	Regulador	0.5 a 8.5	Bar
						Tipo	5 vías 2 posiciones		Lubricación	ISOVG32	
						Accionamiento	Doble solenoide		Manómetro	0 a 10	
Componentes eléctricos											
Sensores			Compresor Monofásico								
Tipo	Magnético		Marca	PRETUL							
Marca	AirTAC		Modelo	COMP-20LP							
Modelo	CS1-M		Potencia	1.5	Hp						
Voltaje	5 a 240	DC/AC	Presión	0 a 8	Bar						
Amperaje	100	mA	Caudal	90.6	L/min						
Potencia	10	W	Capacidad	20	L						
Fuente de Alimentación											
Voltaje de entrada	110 o 220	V/ AC	Voltaje de salida	24	V/ DC						
Frecuencia	50 o 60	Hz	Corriente	20	A						
Funcionamiento											
Periodo de funcionamiento	Esporádico		Horas	5							

Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 87.

Tabla 8. Acciones y códigos de mantenimiento.

ACCIONES DE MANTENIMIENTO BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO		
Acciones de Mantenimiento Mecánicas		
Código	Acción	
AM01	Limpieza	
AM02	Revisión de fugas	
AM03	Revisión de silenciadores	
AM04	Revisión de manómetros	
AM05	Revisar el nivel de aceite	
AM06	Cambio de racores	
AM07	Cambio de silenciadores	
AM08	Cambio de trampa del filtro	
AM09	Cambio de sellos del cilindro	
AM10	Extracción de agua del deposito	
AM11	Inspección completa de todo el sistema de líneas	
AM12	Inspección de uniones, curvas, tes, codos, entre otros.	
AM13	Cambio de uniones, curvas, tes, codos, entre otros.	
AL01	Llenado de aceite	
AL02	Cambio de aceite	
Acciones de Mantenimeinto Eléctrico		
Código	Acción	
AE01	Limpieza y ajuste de conexiones	
AE02	Inspección del circuito de mando.	
AE03	Inspeccion del solenoide y su parámetro eléctrico	

Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 88.

Tabla 9. Instrucciones técnicas.

INSTRUCCIONES TÉCNICAS BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO				
Elemento	Acciones de mantenimiento	Personal	Frecuencia	Tiempo estimado
Cilindro A	AM01	Operario	Diario	10 minutos
	AM02	Operario	Diario	30 minutos
	AM06	T. Mecánico	Semestral	20 minutos
	AM09	T. Mecánico	Anual	30 minutos
Cilindros B, C, D	AM01	Operario	Diario	10 minutos
	AM02	Operario	Diario	30 minutos
	AM06	T. Mecánico	Semestral	20 minutos
	AM09	T. Mecánico	Anual	30 minutos
Válvulas A, B, C, D	AM01	Operario	Diario	10 minutos
	AM02	Operario	Diario	30 minutos
	AM03	Operario	Diario	10 minutos
	AM06	T. Mecánico	Semestral	20 minutos
	AM07	T. Mecánico	Semestral	20 minutos
	AE03	T. Eléctrico	Anual	30 minutos
Unidad de Mantenimiento	AM01	Operario	Diario	10 minutos
	AM04	Operario	Diario	5 minutos
	AM06	T. Mecánico	Anual	20 minutos
	AM08	T. Mecánico	Semestral	20 minutos
	AL01	T. Mecánico	Diario	10 minutos
Compresor	AM01	Operario	Diario	20 minutos
	AM02	Operario	Diario	10 minutos
	AM04	Operario	Diario	20 minutos
	AM05	Operario	Diario	10 minutos
	AM08	T. Mecánico	Semestral	5 minutos
	AM10	T. Mecánico	Semestral	5 minutos
	AL02	T. Mecánico	Semestral	1 Hora
Panel de Control	AE01	T. Eléctrico	Anual	30 minutos
	AE02	T. Eléctrico	Anual	1 Hora
General	AM11	T. Mecánico	Anual	2 Hora
	AM12	T. Mecánico	Anual	15 minutos
	AM13	T. Mecánico	Anual	1 Hora

Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 89.

Tabla 10. Procedimientos básicos de operación de mantenimiento.

ACCIONES DE MANTENIMIENTO BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO			 Página 1/5
Elemento	Acción de mantenimiento	Descripción	Equipos, materiales y repuestos necesarios
Cilindro A	AM01	La limpieza con un paño limpio, remover o quitar la suciedad de los cilindro.	Paño limpio, se recomienda blanco.
	AM02	La revisión encender el sistema y si este hace un ruido de escape de aire hay fugas en el cilindro.	Gafas de seguridad.
	AM06	Para el cambio de racores desconectar la manguera manualmente, después retirar el racor (usado). Colocar el teflón (Max 2 vueltas) al racor nuevo y por último colocar el racor en el cilindro nuevamente.	Juego de llaves, racores nuevos de 1/8 y teflón.
	AM09	Para el cambio de sellos desmontar el cilindro, aflojar los tornillos, se retiran los sellos del vástago y del pistón y se colocan los del kit.	Juego de llaves, kit de reparación, juego de destornilladores.
Cilindros B, C, D	AM01	La limpieza con un paño limpio, remover o quitar la suciedad de los cilindro.	Paño limpio, se recomienda blanco.
	AM02	La revisión encender el sistema y si este hace un ruido de escape de aire hay fugas en el cilindro.	Gafas de seguridad.
	AM06	Para el cambio de racores desconectar la manguera manualmente, después retirar el racor (usado). Colocar el teflón (Max 2 vueltas) al racor nuevo y por último colocar el racor en el cilindro nuevamente.	Juego de llaves, racores nuevos de 1/8 y teflón.
	AM09	Para el cambio de sellos desmontar el cilindro, aflojar los tornillos, se retiran los sellos del vástago y del pistón y se colocan los del kit.	Juego de llaves, kit de reparación, juego de destornilladores.

Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 90.

ACCIONES DE MANTENIMIENTO BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO			
			Página 2/5
Elemento	Acción de mantenimiento	Descripción	Equipos, materiales y repuestos necesarios
Válvulas A, B, C, D	AM01	La limpieza con un paño limpio, remover o quitar la suciedad de los cilindro.	Paño limpio, se recomienda blanco.
	AM02	La revisión encender el sistema y si este hace un ruido de escape de aire hay fugas en el cilindro.	Gafas de seguridad.
	AM03	La revisión consiste en observar y escuchar si se encuentra obstruido.	Gafas de seguridad.
	AM06	Para el cambio de racores desconectar la manguera manualmente, después retirar el racor (usado). Colocar el teflón (Max 2 vueltas) al racor nuevo y por último colocar el racor en el cilindro nuevamente.	Juego de llaves, racores nuevos de 1/4 y teflón.
	AM07	Para el cambio de racores consisten en desconectar la manguera manualmente, después retirar el racor. El nuevo racor colocarle teflón (Max 2 vueltas) y por último colocar el racor en el cilindro nuevamente	Juego de llaves, silenciadores nuevos de 1/8 y teflón.
	AE03	La inspección consiste en revisar si se acciona el solenoide y medir su voltaje de activación	Gafas de seguridad, guantes, multímetro.
Unidad De Mantenimiento	AM01	La limpieza con un paño limpio, remover o quitar la suciedad de los cilindro.	Paño limpio, se recomienda blanco.
	AM04	La inspección consiste en revisar si el manómetro está marcando el valor real.	Gafas de seguridad.
	AM06	Para el cambio de racores desconectar la manguera manualmente después retirar el racor (usado). Colocar Teflón (Max 2 vueltas) al racor nuevo y por último colocar el racor en el cilindro nuevamente.	Juego de llaves, racores nuevos de 1/4 y teflón.
	AM08	Se remueve el vaso del filtro, luego se retira la trampa y se reemplaza por la nueva y se coloca el vaso de nuevo.	Trampa 40uM

Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 91.

ACCIONES DE MANTENIMIENTO BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO			 Página 3/5
Elemento	Acción de mantenimiento	Descripción	Equipos, materiales y repuestos necesarios
	AL01	Se remueve el vaso del filtro, luego se retira la trampa y se reemplaza por la nueva	Aceite ISO VG 32
Compresor	AM01	La limpieza con un paño limpio, remover o quitar la suciedad de los cilindro.	Paño limpio, se recomienda blanco.
	AM02	La revisión encender el sistema y si este hace un ruido de escape de aire hay fugas en el cilindro.	Gafas de seguridad.
	AM04	La inspección consiste en revisar si el manómetro está marcando el valor real.	Gafas de seguridad.
	AM05	La revisión consiste en revisar la parte trasera del compresor y observar si el nivel de aceite es el óptimo (dentro del círculo rojo).	Gafas de seguridad.
	AM08	Para el cambio de la trampa del filtro se retira la tapa luego se saca la trampa usada y se coloca nueva o puede cambiar el filtro completo asegúrese que el roscado sea el mismo (NPT ½).	Trampa o filtro nuevos y juego de llaves.
	AM10	Para vaciar el depósito, desconecte la fuente de poder, afloje las tuercas que sostiene el compresor al banco Electroneumático, coloque una vasija vacía y afloje la perilla que está en la parte inferior del depósito, para que caiga el agua del depósito, espere hasta que se vacíe, cuando vea que cae poca agua hacer una pequeña sacudida y por ultimo coloque la perilla en su sitio, acomode el compresor en el banco nuevamente y vuelva a conectar la fuente de poder	Juego de llaves, vasija.

Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 91-92.

ACCIONES DE MANTENIMIENTO BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO			 Página 4/5
Elemento	Acción de mantenimiento	Descripción	Equipos, materiales y repuestos necesarios
	AL02	Para cambiar el aceite, desconecte la fuente de poder, retire el tornillo que se encuentra debajo del medidor de aceite; deje que el aceite caiga en una vasija, espere hasta que este vacío, coloque de nuevo el tornillo en su lugar ajuste, para colocar el aceite nuevo retire el tapón que se encuentra en la parte superior del medidor de aceite y con un embudo llene de nuevo el compresor hasta alcanzar el nivel óptimo (en el círculo rojo).	Juego de llaves, vasija, embudo.
Panel De Control	AE01	La limpieza se hace con una brocha, limpie cualquier suciedad; después con el multímetro mida si está en buenas condiciones, de no ser así reemplace el cableado por uno nuevo.	Gafas de seguridad, multímetro, cable nuevo.
	AE02	La inspección consiste en observar que las acciones de mando están en funcionamiento.	Gafas y guantes de seguridad.
General	AM11	Para la inspección de las líneas, revisar que esté libre de fugas, dando marcha el sistema buscando algún escape de aire, otra forma seria cubrir la superficie (por fuera) las mangueras con jabón para cuando se encienda el sistema detectar donde están las fugas; sí hay fugas reemplazar las mangueras.	Gafas de seguridad, jabón, manguera 6mm, pinzas de corte.
	AM12	Inspección de codos consisten en observar el estado de las uniones presenta algún desgaste de ser así reemplazar (para manguera de 6mm).	Gafas de seguridad.

Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 92-93.

ACCIONES DE MANTENIMIENTO BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO			
			Página 5/5
Elemento	Acción de mantenimiento	Descripción	Equipos, materiales y repuestos necesarios
	AM13	Para cambiar las uniones, codos, tes, Etc. Desconecte las mangueras, luego con un destornillador retire las uniones, codos, tes, Etc. (usados) y coloque los nuevos con el destornillador, luego conecte las mangueras.	Gafas de seguridad, juego de destornilladores y uniones, codos, tes, Etc. Nuevos.

Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 92-93.

Tabla 11. Cronograma de mantenimiento.

PROGRAMACIÓN SEMANAL DEL MANTENIMIENTO BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO																									
Página 1/2																									
Elemento	Acción De Mantenimiento	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Cilindro A	AM01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM06	x																							
	AM09	Una vez al año																							
Cilindros B, C, D	AM01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM06	x																							
	AM09	Una vez al año																							
Válvulas A, B, C, D	AM01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM06	x																							
	AM07	x																							
	AE03	Una vez al año																							
Unidad de mantenimiento	AM01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM06																								
	AM08	x																							
	AL01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Compresor	AM01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM05	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM08	x																							
	AM10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AL02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Panel De Control	AE01	Una vez al año																							
	AE02	Una vez al año																							
General	AM11	Una vez al año																							
	AM12	Una vez al año																							
	AM13	Una vez al año																							

Fuente: Fornes Pérez y J. E. Orduz García, 2020, p 94.

PROGRAMACIÓN SEMANAL DEL MANTENIMIENTO BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO																									
Página 2/2																									
Elemento	Acción De Mantenimiento	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Cilindro A	AM01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM06	x																							
	AM09	Una vez al año																							
Cilindros B, C, D	AM01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM06	x																							
	AM09	Una vez al año																							
Válvulas A, B, C, D	AM01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM06	x																							
	AM07	x																							
	AE03	Una vez al año																							
Unidad de mantenimiento	AM01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM06																								
	AM08	x																							
	AL01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Compresor	AM01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM05	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AM08	x																							
	AM10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AL02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Panel De Control	AE01	Una vez al año																							
	AE02	Una vez al año																							
General	AM11	Una vez al año																							
	AM12	Una vez al año																							
	AM13	Una vez al año																							

Fuente: Fornes Pérez y J. E. Ordúz García, 2020, p 95.

4.2 ESTADO ACTUAL DE LOS COMPONENTES DEL BANCO ELECTRONEUMÁTICO

El banco de prácticas electroneumático a la fecha en que se realiza este trabajo de estudio, mediante una práctica realizada, donde se tuvo como finalidad evaluar la operatividad de los componentes y demás elementos, se realiza la siguiente tabla

Tabla 12. Estado de los componentes del banco electroneumático.

ESTADO ACTUAL DE LOS COMPONENTES BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO			
Elemento	Cantidad	Descripción y observación	
Válvula electroneumática STNC TG2522-08	4	Permiten la regulación de aire correctamente hacia los actuadores, como también permite su manipulación tanto manual como automática de manera satisfactoria	
Sensor magnético AirTAC CS1-M	8	Correspondientes de cada actuador (2 por cada actuador), emiten señal al sensor la posición del vástago de los actuadores indicándolo mediante el encendido de una luz led en su parte superior. Se denota que la instalación de estos es muy endeble puesto que a la mínima manipulación o roce con algún agente o factor externo, estos se podrían soltar.	
Cilindro de doble efecto PNEUTEC DNC 63X300mm y doble efecto doble vástago ART CACP32200	1 de doble efecto doble vástago 3 de doble efecto	Realizan de manera continua su recorrido sin ninguna perturbación o anomalía. Se denota suciedad en la parte externa de cada uno.	
Compresor de aire PRETUL COMP-20LP	1	Opera de manera normal. Se denota suciedad en la parte externa.	
Unidad de mantenimiento	1	Opera de manera normal, pero se necesita entender como funciona el diafragma para que permite el paso de flujo constante, ya que no se bloquea por lo que bloquea el paso del aire comprimido.	
Conexiones eléctricas y elementos eléctricos	-----	Se encuentra conectadas y configuradas de manera correcta, cada elemento eléctrico, se encuentra alimentado según el fabricante. Se denota suciedad en la parte exterior de cada uno.	
Conexiones neumáticas	-----	Se encuentran conectadas y ajustadas de manera correcta, no existen fugas. Se denota suciedad en la parte externa.	

Fuente: Autor.

4.3 ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS COMPONENTES DEL BANCO ELECTRONEUMÁTICO- AMF

El análisis de falla del banco de prácticas electroneumático se efectúa en cuatro componentes, siendo estos los que se muestra a continuación:

- Válvula electroneumática STNC TG2522-08
- Sensor magnético AirTAC CS1-M
- Cilindro de doble efecto PNEUTEC DNC 63X300mm y doble efecto doble vástago ART CACP32200
- Compresor de aire PRETUL COMP-20LP

Para el primer componente; es decir, la electroválvula se presentan 8 modos de fallas funcionales, en un análisis realizado de tipo Mecánico / Neumático / Eléctrico, refierase al anexo 1 ([Análisis amf de la válvula electroneumática STNC TG2522-08](#)). Del sensor magnético se establecen 4 modos de fallas funcionales, en un Análisis de tipo Eléctrico, refierase al anexo 2 ([Análisis amf del sensor magnético AirTAC CS1-M](#)). De los cilindros neumáticos, se hace un análisis general para los dos debido a que presentan la misma naturaleza funcional, siendo establecidos 3 modos de fallas funcionales de tipo Mecánico / Neumático, refierase al anexo 3 ([Análisis amf de los actuadores neumáticos PNEUTEC DNC 63X300mm y ART CACP32200](#)) y por ultimo se hace un análisis en el compresor de aire estableciendo 11 modos de fallas funcionales de tipo Mecánico / Neumático / Eléctrico, refierase al anexo 4 ([Análisis amf del compresor PRETUL COMP-20LP](#)). En cada apartado (anexos antes mencionados), se evidencia los modos de falla asociados a las posibles fallas funcionales que se pueden presentar en cada elemento, teniendo presente, las causas que pueden generar la falla y las acciones actuales a realizar al momento de presentarse la falla, como también las acciones recomendadas una vez ejecutadas las acciones actuales, por ultimo, se encuentra para cada modo de falla la probabilidad de ocurrencia, la severidad y la probabilidad de detección, valores asignados de acuerdo al criterio del autor consultados en fuentes veridicas. Se aclara, que todos los modos de fallos fueron consultados en fuentes de información veridicas y del mismo fabricante, e interpretados con la Oreda².

². Desarrollo y evaluación de métodos para el análisis de datos, estudio de beneficio en costos como estándar ISO (Organización Internacional para la Estandarización).

Una vez realizado los posibles fallos que pueden presentarse en los componentes previamente mencionados, se procede a realizar los siguientes analisis

- Análisis de criticidad
- Análisis de fiabilidad
- Análisis de disponibilidad
- Análisis de mantenibilidad

4.3.1 Análisis de criticidad

Tomando en cuenta la Oreda, en sus modos de fallas, fallas cada millón de horas y tiempo de reparación se obtienen las siguientes tablas:

Tabla 13. Modos de falla de la válvula electroneumática.

VÁLVULA ELECTRONEUMÁTICA		
Modo de falla	Tasa de fallo (por 10 ⁶ Horas)	Tiempo de Reparación (Hombre/Hora)
Desconocida	38.05	36.00
Fuga externa – Medio de utilidad	38.05	5.00
Salida alta	38.05	9.00

Fuente: Autor.

Tabla 14. Modos de falla del sensor magnético.

SENSOR MAGNÉTICO		
Modo de falla	Tasa de fallo (por 10 ⁶ Horas)	Tiempo de Reparación (Hombre/Hora)
Parada esporádica	2.90	2.00
Otros	2.90	2.00
Problemas menores en el servicio	2.90	2.00

Fuente: Autor.

Tabla 15. Modos de falla de los actuadores neumáticos.

ACTUADOR NEUMÁTICO		
Modo de falla	Tasa de fallo (por 10 ⁶ Horas)	Tiempo de Reparación (Hombre/Hora)
Fuga de la válvula en posición dosificada	1.12	6.00
Fuga externa - Medio de utilidad	4.48	7.80
No se puede cerrar bajo demanda	2.24	10.50

Fuente: Autor.

Tabla 16. Modos de falla del compresor de aire.

COMPRESOR DE AIRE		
Modo de falla	Tasa de fallo (por 10 ⁶ Horas)	Tiempo de Reparación (Hombre/Hora)
Parada esporádica	37.34	32.00
Vibración	3.14	29.70
Sobrecalentamiento	17.03	15.20
Desviación de parámetros	12.26	20.50
No se puede empezar bajo demanda	22.45	37.30

Fuente: Autor.

Teniendo presente la tasa de fallos y el tiempo de reparación de cada componente se generalizan todas las tasas de fallos y tiempos de reparación, de tal manera:

Tabla 17. Tasas de fallos y tiempo de reparación de los componentes del banco electroneumático.

BANCO ELECTRONEUMÁTICO				
Subsistema	Tasa de fallo (10 ⁶ Horas)	Frecuencia de fallas (Fallas/año)	Tiempo de Reparación (Hombre/Horas)	Tiempo de Reparación (Hombres/año)
Válvula electroneumática	114.15	0.999954	50	34.6848274
Sensor magnético	8.7	0.076212	6	4.16217929
Actuadores neumáticos	7.84	0.0686784	24.30	0.16856826
Compresor de aire	92.22	0.8078472	134.70	93.440925

Fuente: Autor.

Para los valores de la Tabla 13 refiérase al anexo [Modos de falla para la válvula electroneumática](#), para los valores de la Tabla 14 refiérase al anexo [Modos de falla para el sensor magnético](#), para los valores de Tabla 15 refiérase al anexo [Modos de falla para los actuadores neumáticos](#), para los valores Tabla 16 refiérase al anexo [Modos de falla para el compresor](#), allí se encuentran señalados los valores utilizados para las tablas correspondientes. De lo anteriores se permite generar la tabla de criticidad del banco electroneumático, siendo esta:

Tabla 18. Análisis de criticidad del banco electroneumático.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD BANCO ELECTRONEUMÁTICO						
Fecha: 1/11/2022	Principales componentes	Crítico		Semi crítico		No Crítico
Subsistema	Frecuencias de fallo (FF)	Efecto				CTR
		IO	FO	CM	ISHA	
Válvula electroneumática	2	5	2	1	3	28
Sensor magnético	1	1	1	1	1	3
Actuadores neumáticos	1	3	4	1	3	16
Compresor de aire	2	10	4	1	3	88

Fuente: Autor.

A continuación, se muestra el cálculo de los parámetros observados en la Tabla 18:

CRT (Criticidad total por riesgo)

$$CTR = FF \times C \text{ (14)}$$

Donde:

- **CTR:** criticidad total por Riesgo.
- **FF:** frecuencia de fallos.
- **C:** consecuencias de los eventos de fallos.

Además, el valor de las consecuencias (**C**), se obtiene a partir de la siguiente expresión:

C (Consecuencias)

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA \text{ (15)}$$

Siendo:

- **IO:** Factor de Impacto en la Producción.
- **FO:** Factor de Flexibilidad Operacional.
- **CM:** Factor de Costes de Mantenimiento.
- **SHA:** Factor de impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente.

La expresión final del modelo de priorización de CTR será la siguiente:

Modelo de priorización CTR

$$CTR = FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA) \text{ (16)}$$

Para poder aplicar esta fórmula se toma en cuenta los siguientes criterios:

- **Factor de Frecuencia (FF: Escala del 1 – 4)**
 - 4: Frecuente: mayor a 2 eventos al año.
 - 3: Promedio: 1 y 2 eventos al año.

2: Bueno: entre 0,5 y un 1 evento al año.

1: Excelente: menos de 0,5 eventos al año.

- **Impacto Operacional (IO: Escala del 1 – 10)**

10: Pérdidas de producción superiores al 75%.

7: Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%.

5: Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%.

3: Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%.

1: Pérdidas de producción menor al 10%.

- **Impacto por Flexibilidad Operacional (FO: Escala del 1 – 4)**

4: No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes.

2: Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios.

1: Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños.

- **Impacto en Costos de Mantenimiento (CM: Escala del 1 – 2)**

2: Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 dólares.

1: Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 dólares.

- **Impacto en la Seguridad, Higiene, Medio Ambiente (SHM: Escala 1 – 8)**

8: Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos.

6: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración.

3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el

corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas.

1: No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños Ambientales.

4.3.2 Análisis de fiabilidad

Con la Tabla 17 se permite generar la tabla de fiabilidad del banco electroneumático, siendo esta:

Tabla 19. Análisis de fiabilidad del banco electroneumático.

ANÁLISIS DE FIABILIDAD BANCO ELECTRONEUMÁTICO					
Fecha: 1/11/2022	Principales componentes				
Subsistema	Frecuencias de fallos (10^6)	Frecuencia de falla	Tiempo de estudio	Fiabilidad	Fiabilidad total
		λ	t (años)	R	Rt %
Válvula electroneumática	114.15	0.999954	1	0.36789636	36.78963639
Sensor magnético	8.7	0.076212	1	0.92661974	92.66197423
Actuadores neumáticos	7.84	0.0686784	1	0.93362689	93.3626886
Compresor de aire	92.22	0.8078472	1	0.44581679	44.58167881

Fuente: Autor.

Como se menciona anteriormente la fiabilidad puede definirse como la probabilidad de que un sistema se mantenga operativo durante un determinado periodo de tiempo bajo condiciones ambientales normales, y para los cálculos de la Tabla 19 tomando en cuenta la siguiente ecuación

R (Fiabilidad)

$$R = e^{-\lambda t} \quad (17)$$

Donde:

- **R** = Fiabilidad
- λ = Frecuencia de falla
- **t** = Tiempo de estudio (1año)

4.3.3 Análisis de disponibilidad

Con la Tabla 17 se permite generar la tabla de disponibilidad del banco electroneumático, siendo esta:

Tabla 20. Análisis de disponibilidad del banco electroneumático.

ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD BANCO ELECTRONEUMÁTICO						
Fecha: 1/11/2022	Principales componentes					
Subsistema	Frecuencias de fallos (10 ⁶)	Tiempo de estudio 1 año (Horas)	Tiempo total de mantenimiento (Hombre/hora)	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Válvula electroneumática	114.15	8760	50	76.30311	0.4380201	99.42
Sensor magnético	8.7	8760	6	1006.207	0.6896551	99.93
Actuadores neumáticos	7.84	8760	24.3	1114.247	3.09948979	99.726027
Compresor de aire	92.22	8760	134	93.52960	1.4606376	98.46

Fuente: Autor.

Para los cálculos de la Tabla 20, se tuvieron en cuenta la ecuación 13. Así mismo la ecuación 8 y la ecuación 12

4.3.4 Análisis de mantenibilidad

Con la Tabla 17 se permite generar la tabla de mantenibilidad del banco electroneumático, siendo esta:

Tabla 21. Análisis de mantenibilidad del banco electroneumático.

ANALISIS DE MANTENIBILIDAD BANCO ELECTRONEUMÁTICO			
Fecha: 1/11/2022	Principales componentes		
Subsistema	Mantenimiento total (Hombres/Hora)	MTTR	Mantenibilidad %
Válvula electroneumática	114.15	0.438020149	1
Sensor magnético	8.7	0.689655172	0.999996678
Actuadores neumáticos	7.84	3.09948979	0.92029704
Compresor de aire	92.22	1.460637606	1

Fuente: Autor.

Para los cálculos de la Tabla 21 se tuvieron en cuenta las ecuaciones:

M (Mantenibilidad)

$$M = 1 - e^{\left(-\frac{T}{MTTR}\right)} \quad (18)$$

Donde:

- **M** = mantenibilidad
- **T** = tiempo de reparación
- **MTTR** = tiempo medio para reparar

Así mismo como la ecuación 12.

4.4 PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO Y CRONOGRAMA DE INTERVENCIÓN DE LOS COMPONENTES

Antes de presentar los protocolos de mantenimiento diseñados para el banco de electroneumático, es necesario recalcar, que independientemente del cronograma de actividades e intervención de los componentes del banco, al momento de encender el banco ya sea por cualquier motivo, se tiene que realizar una inspección general del mismo, realizando todas las acciones que se muestran en la Tabla 8, con la finalidad de prevenir cualquier posible falla.

Por otra parte, las frecuencias de intervención de los equipos se hacen tomando en cuenta las fechas del calendario académico proveniente de las materias prácticas del programa de ingeniería mecatrónica, además de esto, se tiene en cuenta los análisis de criticidad y de disponibilidad provenientes de la Tabla 18 y de la Tabla 20 respectivamente, además de las consultas de planes de mantenimiento e información de los fabricantes, se determinó, que los equipos semi-críticos se han intervenidos una vez por semana y que los equipos no críticos se han intervenidos una vez cada dos semanas.

En cuanto al tiempo de intervención del equipo para cada posible modo de falla, se presenta, basada en los tiempos promedios de reparación de la Tabla 20 y del criterio del autor, estos tiempos se toman de manera general a la hora de realizar la intervención del equipo y se encuentran estipulados en los protocolos de mantenimiento de cada componente.

De este modo teniendo como bases las tablas de criticidad, fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad se plantean los siguientes protocolos de mantenimiento para cada componente del banco electroneumático, donde este se compone del propósito, alcance, equipos y herramientas, tiempo estimado de mantenimiento, competencias requeridas y acciones, basado en las normativas presentes.

- [Protocolo de mantenimiento de la válvula electroneumática STNC TG2522-08.](#)
- [Protocolo de mantenimiento del sensor magnético AirTAC CS1-M.](#)
- [Protocolo de mantenimiento de los actuadores neumáticos PNEUTEC DNC 63X300mm y ART CACP32200.](#)
- [Protocolo de mantenimiento del compresor de aire PRETUL COMP-20LP.](#)

Cada protocolo a su vez remite al operario de mantenimiento al procedimiento que debe realizar según el modo de falla que presenta el equipo en función de la falla funcional mediante una serie de acciones a seguir para la solución de la avería o falla presente. Estos procedimientos ya se encuentran referenciados en cada protocolo, pero de igual manera se dejan estipulados acá:

- [Procedimiento de mantenimiento de la válvula electroneumática STNC TG2522-08.](#)
- [Procedimiento de mantenimiento del sensor magnético AirTAC CS1-M.](#)
- [Procedimiento de mantenimiento de los actuadores neumáticos PNEUTEC DNC 63X300mm y ART CACP32200.](#)
- [Procedimiento de mantenimiento del compresor de aire PRETUL COMP-20LP.](#)

Siguiendo con esta misma línea, se replantea el cronograma de actividades propuesto por los autores del banco electroneumático, teniendo presente el calendario académico y la frecuencia de intervención del equipo agregando el ítem de **IT**, refiriéndose a la intervención del equipo.

Tabla 22. Cronograma de mantenimiento actualizado.

PROGRAMACIÓN SEMANAL DEL MANTENIMIENTO E INTERVENCIÓN BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO																											
Página 1/2																											
Elemento	Acción De Mantenime nto	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio					
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Cilindro A	AM01										X	X			X	X			X	X			X	X			
	AM02										X	X			X	X			X	X			X	X			
	AM06									X																	
	IT									X			X			X			X				X			X	
	AM09	Una vez al año																									
Cilindros B, C, D	AM01										X		X			X	X			X			X	X	X	X	
	AM02										X		X			X	X			X			X	X	X	X	
	AM06										X																
	IT										X			X			X			X				X		X	
	AM09	Una vez al año																									
Válvulas A, B, C, D	AM01										X		X	X			X	X			X	X			X	X	
	AM02										X		X	X			X	X			X	X			X	X	
	AM03										X		X	X			X	X			X	X			X	X	
	AM06										X																
	AM07																										
	IT											X				X			X				X				
	AE03	Una vez al año																									
Unidad de mantenimiento	AM01										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	AM04										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	AM06																										
	AM08										X																
	AL01										X	X			X	X			X	X			X	X			X
Compresor	AM01										X	X			X	X			X	X			X	X			X
	AM02										X	X			X	X			X	X			X	X			X
	AM04										X	X			X	X			X	X			X	X			X
	AM05										X	X			X	X			X	X			X	X			X
	AM08										X																
	AM10										X	X			X	X			X	X			X	X			X
	AL02										X	X			X	X			X	X			X	X			X
	IT												X			X			X				X			X	
Sensor magnético	IT										X			X			X			X			X			X	
Panel De Control	AE01	Una vez al año																									
	AE02	Una vez al año																									
General	AM11	Una vez al año																									
	AM12	Una vez al año																									
	AM13	Una vez al año																									

Fuente: Autor.

PROGRAMACIÓN SEMANAL DEL MANTENIMIENTO E INTERVENCIÓN BANCO DE PRÁCTICAS ELECTRONEUMÁTICO																										
Página 2/2																										
Elemento	Acción De Mantenime nto	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Cilindro A	AM01										x	x			x	x			x	x			x	x		
	AM02										x	x			x	x			x	x			x	x		
	AM06										x															
	IT										x			x			x			x			x			
	AM09	Una vez al año																								
Cilindros B, C, D	AM01										x		x			x	x			x	x			x	x	
	AM02										x		x			x	x			x	x			x	x	
	AM06										x															
	IT										x			x			x			x			x			
	AM09	Una vez al año																								
Válvulas A, B, C, D	AM01										x		x	x			x	x			x	x			x	x
	AM02										x		x	x			x	x			x	x			x	x
	AM03										x		x	x			x	x			x	x			x	x
	AM06										x															
	AM07																									
	IT											x				x			x			x			x	
	AE03	Una vez al año																								
Unidad de mantenimiento	AM01										x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	AM04										x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	AM06																									
	AM08										x															
	AL01										x	x			x	x			x	x			x	x		x
Compresor	AM01										x	x			x	x			x	x			x	x		x
	AM02										x	x			x	x			x	x			x	x		x
	AM04										x	x			x	x			x	x			x	x		x
	AM05										x	x			x	x			x	x			x	x		x
	AM08										x															
	AM10										x	x			x	x			x	x			x	x		x
	AL02										x	x			x	x			x	x			x	x		x
	IT												x			x			x			x			x	
Sensor magnético	IT										x			x			x			x			x		x	
Panel De Control	AE01	Una vez al año																								
	AE02	Una vez al año																								
General	AM11	Una vez al año																								
	AM12	Una vez al año																								
	AM13	Una vez al año																								

Fuente: Autor.

CONCLUSIONES

Se establece que el mantenimiento preventivo es la mejor técnica que se adapta a las características funcionales del banco de prácticas electroneumático, debido a los tiempos de operación del banco y el costo de reparación.

Se establece a partir del análisis de criticidad, que el elemento con prioridad de intervención para reducir posibles fallas o averías en el banco electroneumático, es el compresor de aire, por la función que este representa en el proceso. (Tabla 18).

Se establece a partir del análisis de fiabilidad, que la recurrencia de falla de los componentes del banco electroneumático, pueden ser desastrosas, ya que incide directamente con la fiabilidad que presenta el equipo independiente de la criticidad de los mismos. (Tabla 19).

Se establece que los tiempos de intervención de los componentes del banco electroneumático sean definidos a partir de la criticidad de estos, tomando como base, los tiempos arrojados por el análisis de disponibilidad, definiendo los equipos semi-críticos con una frecuencia de intervención de una vez por semana y los equipos no críticos una frecuencia de intervención dos veces por semana.

Se establece que, mediante la realización de la documentación pertinente para el banco de prácticas, como lo son los protocolos (Anexos 10, 11, 12 y 13) y procedimientos de mantenimiento (Anexos 14, 15, 16 y 17) para cada componente del mismo, se le facilite las acciones de mantenimiento al encargado u operario de dicha labor.

RECOMENDACIONES

- 1.** Se recomienda antes de operar el banco de prácticas revisar los manuales de operación y documentación generados.
- 2.** Se recomienda analizar los tiempos de intervención de los componentes del banco de prácticas con el fin de optimizar los tiempos de intervención.
- 3.** Se recomienda aplicar el cronograma de actividades de acciones de mantenimiento establecido en el banco electroneumático.
- 4.** Se recomienda actualizar los protocolos de mantenimiento de los componentes del banco de prácticas en caso de ser necesario.

BIBLIOGRAFÍA

- [1 M. A. Selles, S. Sanchez Caballero, E. Perez Bernabeu y R. Pla, «La importancia
] de los trabajos prácticos en ingeniería,» Valencia, 2012.
- [2 «MANTENIMIENTO MUNDIAL,» [En línea]. Available:
] <http://www.mantenimientomundial.com/definiciones.aspx>.
- [3 C. J. Bartodziej, «The concept industry 4.0. An empirical analysis of technologies
] and applications in production logistics.,» Springer, Berlin , 2017.
- [4 L. Didiana Velásquez, L. M. Alba López, A. S. Palencia Pérez y C. Gustavo
] Suárez, «Aspectos básicos de la industria 4.0.,» MinTIC, Colombia, 2019.
- [5 D. D. H. Álvarez, «Retos y desafíos para las empresas en la cuarta revolución
] industrial.,» Universidad de Córdoba, Montería, 2021.
- [6 F. A. P. Rondón, «Conceptos generales en la gestión del mantenimiento
] industrial.,» USTA, Bucaramanga, 2021.
- [7 A. M. S. Gómez, «Técnicas de mantenimiento predictivo. metodología de
] aplicación en las organizaciones.,» Bogotá, 2017.
- [8 M. Márquez y A. Coello, « Principios del proceso de mantenimiento.,» A. Suter-
] Westinghouse / Venezuela, 2009.
- [9 B. M. Abella, «Mantenimeinto lindustrial,» Universidadd Carlos III de Madrid,
] Madrid.
- [1 L. Mora, Mantenimiento. Planeación, ejecución y control., México : Alfaomega
0] Grupo Editor, S.A. de C.V., 2009.
- [1 R. R. Prando, Manual de gestion de mantenimiento a la medida., Guatemala :
1] Piedra Santa, 1996.
- [1 M. E. B. Guzmán, «Elaboración de un manual de mantenimiento para el
2] laboratorio de soldadura de la EPN.,» Escuela politécnica nacional, Quito, 2014.

- [1 L. S. Iribarren, «Implantación del plan de mantenimiento TPM en planta de
3] cogeneración.,» Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de
telecomunicación, Pamplona, 2010.
- [1 VisionTIR, «VisionTIR,» [En línea]. Available:
4] [https://visiontir.com/es/termografia-infrarroja-camaras-termografias-y-
termometros-infrarrojos](https://visiontir.com/es/termografia-infrarroja-camaras-termografias-y-termometros-infrarrojos). [Último acceso: 1 Noviembre 2022].
- [1 «RENOVETEC,» [En línea]. Available: [http://www.renovetec.com/265-
5\] boroscopia](http://www.renovetec.com/265-5-boroscopia). [Último acceso: 1 Noviembre 2022].
- [1 J. Moubray, «Mantenimiento centrado en confiabilidad,» Aladon, 2021.
6]
- [1 J. L. C. Chango, «Mantenimiento mejorativo de un banco de neumática para el
7] laboratorio de automatización y manipulación automática, escuela de ingeniería
de mantenimiento.,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba,
2019.
- [1 S. G. Garrido, Manual del jefe de mantenimiento. Guía práctica para la gestión
8] del mantenimiento de instalaciones, España: RENOVETEC EDITORIALES,
2020.
- [1 R. A. A. Lamiña, «Modelo de un plan de mantenimiento basado en procesos
9] para el área de Preparación Hilatura,» Quito, 2018.
- [2 P. E. S. Ardila, Confiabilidad en la práctica. Lo que un gerente de confiabilidad
0] debe saber, Barranquilla, 2009.
- [2 D. A. P. Ramírez, «Documentación del proceso de mantenimiento según la ntc
1] iso 9001:2015 en una empresa de servicios tecnológicos.,» Fundación
universidad de America, Bogotá, 2019.
- [2 W. H. D. Mesa, «Elaboración de un protocolo de mantenimiento preventivo para
2] las áreas de proceso y equipos de la empresa Gecolsa CAT.,» Medellín, 2020.
- [2 E. S. H. M. d. Oca, «Diseño de un protocolo de mantenimiento preventivo para
3] el área de procesamiento de agua utilizada en máquinas de hemodiálisis.,»
Universidad del Rosario., Bogotá, 2021.

- [2 J. H. Martinez Florez y M. S. Molina Daza, «Desarrollo de un plan de
4] mantenimiento preventivo para los equipos de los talleres de soldadura,
automatismos mecatrónicos, hidráulica y refrigeración del centro cics del sena
de cucuta, norte de santander.,» SENA, Villa del Rosario, 2018.
- [2 L. K. Q. Rodríguez, «Protocolos de mantenimiento preventivo y correctivo de
5] equipos biomédicos básicos de las salas quirúrgicas de la e.s.e. hospital
universitario erasmo meoz.,» Universidad Francisco de Paula Santander,
Cúcuta, 2018.
- [2 F. Fornes Pérez y J. E. Orduz Garcia, «Desarrollo de un banco de prácticas
6] electro-neumaático para el aprendizaje de los estudiantes del programa de
Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Pamplona sede Villa del
Rosario.,» Universidad de Pamplona, Cúcuta, 2020.
- [2 J. Roldán, J. M. Sánchez y V. Martín, «Seguridad industrial: puesta en servicio,
7] mantenimiento e inspección de equipos e instalaciones.,» FC Editorial, 2009,
2016.
- [2 A. M. G., Mantenimiento industrial efectivo, Medellín: Coldi, 2018.
8]
- [2 «FESTO,» Diciembre 2020. [En línea]. Available:
9] https://www.festo.com/es/es/e/tendencias/mantenimiento-y-localizacion-de-averias-id_511559/#:~:text=Entre%20las%20causas%20m%C3%A1s%20frecuentes,provocadas%20por%20la%20resistencia%20que.
- [3 J. M. V. Díaz, «Linkedin,» 1 Agosto 2019. [En línea]. Available:
0] <https://es.linkedin.com/pulse/fallas-en-actuadores-neum%C3%A1ticos-lineales-jose-manuel-vel%C3%A1zquez-d%C3%ADaz.>
- [3 L. Schlichting, «CHESTERTON,» 30 Septiembre 2021. [En línea]. Available:
1] [https://www.chesterton.com.mx/elimine-las-fallas-de-los-cilindros-hidraulicos-neumaticos-seleccionando-correctamente-el-dispositivo-de-sellado/.](https://www.chesterton.com.mx/elimine-las-fallas-de-los-cilindros-hidraulicos-neumaticos-seleccionando-correctamente-el-dispositivo-de-sellado/)
- [3 F. Ebel, S. Idler, G. Prede y D. Scholz, Neumática Electroneumática, Alemania:
2] Festo Didactic GmbH & Co. KG, 2009.

- [3 J. A. Londoño García y J. F. Blandón Diez, «Acondicionamiento del banco de 3] Electroneumática del laboratorio de hidráulica y neumática del ITM.,» INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO, Medellín, 2017.
- [3 «Quimobásicos,» 16 Julio 2016. [En línea]. Available: 4] <https://blogquimobasicos.com/2016/07/26/por-que-las-fallas2/>.
- [3 «ELECTROMECHANICO,» 24 Octubre 2020. [En línea]. Available: 5] <https://www.electromecanico.co/problemas-y-fallas-en-los-compresores-de-piston/>.
- [3 «Norma internacional ISO 14224,» *Industrias de petróleo y gas natural - 6] Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos.*, 1999.
- [3 «Norma internacional ISO 55000,» *Gestión de Activos Descripción general, 7] principios y la terminología.*, 2014.
- [3 «Norma SAE JA1011,» *Criterios de Evaluación para Procesos de 8] Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.* , 1999.
- [3 «Norma internacional ISO 55001,» *Gestión de Activos Sistemas de gestión 9] requisitos.*, 2014.
- [4 «Norma SAE JA1012,» *Recomendadas para vehículos aeroespaciales y de 0] superficie.*, 2002.
- [4 «Norma NTC 3314,» *Elaboración de actas administrativas.*, 1996.
1]
- [4 «Norma NTC 1486,» *Presentación de tesis, trabajo de grado y otros trabajos de 2] investigación.* , 2008.
- [4 «Norma NTC-OHSAS 18001.,» *SISTEMAS DE GESTIÓN EN SEGURIDAD Y 3] SALUD OCUPACIONAL.*, 2007.
- [4 «Guía GTC-45,» *GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS Y LA 4] VALORACIÓN DE LOS RIESGOS EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL.*
, 2010.

- [4 «Norma NTC-ISO 9001,» *SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD.* , 2015.
5]
- [4 O. A. A. Murcia, «HYDRADVANCED,» 26 Septiembre 2019. [En línea].
6] Available: <https://www.hydradvanced.com/post/fallas-comunes-en-v%C3%A1lvulas-direccionales>.
- [4 «WUXI XINMING AUTO-CONTROL VALVES INDUSTRY CO., LTD,» 05 Julio
7] 2021. [En línea]. Available: <https://es.xmvalveactuator.com/news/attention-to-the-common-faults-of-pneumatic-co-48448766.html>.
- [4 «REFACALDERAS,» 27 Diciembre 2021. [En línea]. Available:
8] <https://refacalderas.com.mx/principales-fallas-en-valvulas-montadas-en-sistemas-hidraulicos/>.
- [4 «Shenzhen EPT Tech co., LTD,» 02 Julio 2020. [En línea]. Available:
9] <http://m.eptlevel.com/info/solutions-to-common-failures-of-float-type-wat-47684887.html>.
- [5 «Chicago Pneumatic,» 06 Marzo 2020. [En línea]. Available:
0] <https://compressors.cp.com/es-latinoamerica/expert-corner/blog/fallas-en-compresor-de-aire>.
- [5 «Atlas Canarias,» 21 Enero 2021. [En línea]. Available:
1] <https://atlascanarias.es/acciones-para-evitar-fallos-frecuentes-en-compresores-de-aire/>.
- [5 J. L. Rojas Fernández, «Diseño e Implementación de un Plan de Mantenimiento
2] Preventivo del sistema de filtrado de la Empresa Talsa (Fundo UPAO) para incrementar su productividad y reducir costos de operación.,» Universidad César Vallejo, Perú, 2019.
- [5 S. J. Estupiñan, «Diseño del plan de mantenimiento preventivo enfocado a TPM
3] para la Compañía de Montajes Diseño y Construcción C.M.D SAS,» Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Boyacá, 2017.
- [5 M. A. G. Fernández, «Implementación de un plan de gestión de mantenimiento
4] preventivo basado en TPM para aumentar la confiabilidad en las máquinas de

la empresa comercial molinera San Luis SAC,» Universidad de San Martín de Porres, Perú, 2018.

[5 C. J. C. Castillo, «Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para las
5] máquinas de la empresa Inversiones Millma Perú SAC,» Universidad Tecnológica del Perú, Perú, 2021.

[5 W. Aquino Manya y S. Atalaya Castrejon, «Diseño de un plan de mantenimiento
6] preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos de la empresa Globaltruck E.I.R.L,» Universidad Privada del Norte, Perú, 2020.

[5 C. B. Castro Miniguano y C. L. Morales Criollo, «Desarrollar un plan de
7] mantenimiento preventivo para la maquinaria de la empresa Imprenta “Morales” de la ciudad de Ambato.,» Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2019.

[5 J. S. R. Pachón, «Diseño e implementación del plan de mantenimiento
8] preventivo de los equipos de la empresa granitos y mármoles acabados SAS,» Universidad Libre, Bogotá, 2019.

[5 N. E. A. Salazar, «Implementación de un plan de mantenimiento preventivo
9] centrado en la confiabilidad de las maquinarias en la Empresa Construcciones Reyes S.R.L. para incrementar la productividad,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, 2017.

[6 J. G. M. Pérez, «Plan de mantenimiento preventivo para prolongar la
0] operatividad de las máquinas y equipos del laboratorio de mecánica de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao,» Universidad Nacional del Callao, Perú, 2019.

[6 J. P. González Lozano y J. Andrade Muñoz, «Diseño de un Plan de
1] Mantenimiento Preventivo Basado en la Metodología 5qs para los Equipos y Maquinaria de la Planta de Trituración Esgamo S.A.S,» Universidad Antonio Nariño, Ibagué, 2021.

[6 J. A. Milanés Salas y W. A. Florez Herrera, «Diseño de un plan de mantenimiento
2] preventivo en los sistemas de instrumentación y control de la empresa aguas de Cartagena E.S.P,» Universidad Antonio Nariño, Cartagena de Indias, 2020.

[6 P. A. L. Zapata, «Diseño de un plan de gestión de mantenimiento preventivo
3] para mejorar la eficiencia de las máquinas y equipos de la empresa Rocagu
S.R.L. Pacasmayo,» Universidad Señor de Sipán, Perú, 2020.

[6 K. S. Reyes Morocho y E. F. Salvatierra Avalos, «Plan de mantenimiento
4] preventivo para reducir costos operativos de los equipos de aire acondicionado
en Saga Falabella S.A.,» Universidad Nacional de Trujillo, Perú, 2021.

[6 D. S. C. Contreras, «Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la
5] maquinaria en el área de producción de la empresa industrias plásticas
probolsas s.a.s. ubicada en la ciudad de san José de Cúcuta,» Universidad
Francisco de Paula Santander, San José de Cúcuta, 2017.