

GESTIÓN DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO BÁSICA DEL BANCO DE
NEUMÁTICA DEL LABORATORIO GM - 105 DE LA SEDE DE VILLA DEL
ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.

HENRY ARMANDO MORANTES PAEZ

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS Y ARQUITECTURAS
INGENIERIA MECATRÓNICA
CÚCUTA
2022

GESTIÓN DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO BÁSICA DEL BANCO DE
NEUMÁTICA DEL LABORATORIO GM - 105 DE LA SEDE DE VILLA DEL
ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

HENRY ARMANDO MORANTES PAEZ

MONOGRAFIA PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA

Director
INGENIERO MECANICO
JORGE LEONARDO FUENTES FUENTES

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS Y ARQUITECTURAS
INGENIERIA MECATRÓNICA
CÚCUTA
2022

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cúcuta 21/12/2022

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	17
3.2 JUSTIFICACIÓN	18
4. MARCO TEÓRICO.....	19
4.1. Neumatica.....	19
4.2 TRIBOLOGIA.....	23
4.2.1 Mecánica de sólidos	23
4.2.2 Mecánica de fluidos	23
4.2.3 Ciencia de los materiales	23
4.2.4 Química.....	24
4.3 definición y Origen del mantenimiento industrial.....	24
4.3.1. PILARES TECNOLÓGICOS.....	24
4.4 evolución del mantenimiento	26
4.4.1 primera generación del mantenimiento.....	26
4.4.2 segunda generación del mantenimiento	27
4.4.3 tercera generación del mantenimiento.....	27
4.4.4 CUARTA GENERACIÓN del mantenimiento	27
4.5 tipos de mantenimiento	27
4.5.1 mantenimiento de conservación.....	28
4.6 AMEF	29
4.6.1 Tipos de AMEF.....	29
4.6.2 AMEF de Sistema (SFMEA)	29
4.6.3 AMEF de Diseño (DFMEA).....	30

4.6.4 AMEF de Proceso (PFMEA)	30
4.7 CRITICIDAD	31
4.7.1 CALCULO DE CRITICIDAD	32
4.7.2 CALCULO DE NPR	32
4.8 gestión del mantenimiento.....	36
4.8.1 metodo kaizen	36
4.8.2 las 5´s.....	37
4.8.3 just in time.....	38
4.9 mantenimiento productivo total (TPM).....	39
4.9.1 CURVA DE LA BAÑERA	39
4.9.2 ETAPAS DE LA CURVA DE LA BAÑERA	40
5. MATERIALES Y MÉTODOS	42
5.1. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.	42
5.2 ANALISIS DE CAUSA RAIZ	43
6. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	44
6.1.1 CLASIFICACION DE COMPONENTES	45
6.2 LEVANTAMIENTO DE HOJA DE VIDA.....	49
6.2.1 modo de operación	50
6.2.2 SOPORTE FABRICANTES	50
6.3 protocolo de mantenimiento	51
6.3.1 Criterio de criticidad	51
.....	51
6.4 PLAN DE MANTENIMIENTO	53
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	33
Tabla 2.	34
Tabla 3.	35
Tabla 4.	36
Tabla 5.	51
Tabla 6.	51
Tabla 7.	52
Tabla 8.	53
Tabla 9.	53

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1.....	28
Gráfica 2.....	40
Gráfica 3.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1..... 20

Figura 2..... 20

Figura 3..... 21

Figura 4..... 22

Figura 5..... 22

Figura 6..... 26

Figura 7..... 31

Figura 8..... 43

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a toda mi familia y amigos que siempre han estado junto a mí en este largo camino de instruirme en el arte de la ingeniería. Especialmente a mi Beatriz Adela Paez Sarmiento y a Henry Morantes Garzón quienes son mis padres y siempre serán mi motor para poder seguir adelante en cada compromiso y meta que me proponga, con el fin de siempre hacerlos sentir orgullosos de mi proceso de formación.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres Henry Morantes Garzón y a Beatriz Adela Paez Sarmiento por siempre creer en mí y por ayudarme a cumplir todas mis metas. Ante todo, por guiarme de la manera correcta para ser una persona íntegra y ética. De la misma manera quiero agradecer a Laura Daniela Cetares Zarate, por siempre estar a mi lado e impulsarme en esos momentos clave donde más lo he necesitado, pues ella ha logrado motivarme en los momentos más difíciles. A mis profesores por siempre tender una mano amiga y darme una bocanada de lo que es la vida laboral durante mi formación. Gracias.

GLOSARIO

ACCIÓN CORRECTIVA: Acción tomada para eliminar las causas de una no conformidad, defecto o cualquier situación indeseable existente, para evitar su repetición.

ACCIÓN PREVENTIVA: Acción tomada para eliminar las causas de una no conformidad, defecto o cualquier situación indeseable potencial, con el fin de evitar que se produzca

CICLO DE VIDA: Plazo de tiempo durante el cual un Ítem conserva su capacidad de utilización. El periodo va desde su compra hasta que es substituido o es objeto de restauración.

CIERRE/PARADA (SHUTDOWN/STOPPAGE): Un evento que toma una máquina fuera de servicio. La Parada puede ser programada o no programada e incluye todos los tipos de mantenimiento y actividades de reparación excepto: detenciones lubricación, combustible y ejecución inspecciones durante la lubricación y relleno combustible.

CONFIABILIDAD: Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. Relación entre productor y máquina. La confiabilidad es una medida que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un elemento y ayuda en el momento de seleccionar un equipo entre varias opciones.

CRITICIDAD: Metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas

DEFECTO: Evento en los equipos que no impiden su funcionamiento, pero que a corto o largo plazo pueden provocar su indisponibilidad.

DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO: También se conoce como Diagrama de Espinas de Pescado. Herramienta para analizar la fluctuación de un proceso, desarrollada por Kaoru Ishikawa. El diagrama ilustra las causas y subcausas que afectan a un proceso determinado y que producen un efecto (Síntoma). Es una de las Siete Herramientas de la Calidad.

EQUIPO: Elemento que constituye el todo o parte de una máquina o instalación que, por sus características, tiene datos, historial y programas de reparación propios.

FALLA: Se dice que un producto/servicio o un proceso falla, cuando no lleva a cabo, de forma satisfactoria, la prestación que de él se espera (su función). En términos específicos, una falla funcional, se define como la inhabilidad de un activo para desempeñar una función conforme al estándar de rendimiento aceptable para el usuario.

FALLA POTENCIAL: Condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir un fallo funcional o que está en el proceso de ocurrir.

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: El mantenimiento industrial es el proceso por el cual se revisan a detalle todas las instalaciones, maquinaria, equipo y cualquier elemento de un proceso industrial para detectar fallas y mejoras con el fin de repararlos a tiempo.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: El mantenimiento preventivo constituye una acción, o serie de acciones necesarias, para alargar la vida útil del equipo e instalaciones y prevenir la suspensión de las actividades laborales por imprevistos

MANTENIMIENTO CORRECTIVO: Se denomina mantenimiento correctivo, aquel que corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos para corregirlos o repararlos

NEUMÁTICA: Estudia el comportamiento del aire comprimido y su uso. El aire comprimido es aire normal que se ha introducido a presión en un recipiente para poder utilizar, con posterioridad, la energía acumulada en él y convertirla en energía útil

TPM: Termino que se le da al Mantenimiento productivo total.

TRIBOLOGÍA: Ciencia y tecnología de los fenómenos que hacen referencia y suceden cuando dos solidos están en contacto, de esta manera se estudia la lubricación, fricción y desgaste de materiales

RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad el desarrollo e implementación de un protocolo de mantenimiento para el Banco de Neumática ubicado en el Laboratorio de Mecatrónica GM 105 en la Universidad de Pamplona sede Villa del Rosario, que permita un desempeño óptimo en el proceso de aprendizaje y experiencia Industrial por parte de los estudiantes. Dado a que el sistema actual carece de un protocolo de mantenimiento se pretende instaurar medidas de mantenimiento basándonos en las condiciones de uso de fábrica. Esto con el fin de implementar nuevamente actividades de uso académico en las instalaciones. Para esto, se debe realizar un estado del arte y a su vez la investigación y manipulación de la información actualmente relacionada a su uso en dicho laboratorio, al comportamiento histórico de los componentes del Banco de Neumática, tales como su actual compresor, actuadores, terminales, controladores y demás componentes que serán enmarcados teóricamente para generar un contexto sólido sobre el proyecto y así proceder a desarrollar e implementar el protocolo de mantenimiento industrial ya mencionado de dicho sistema.

Con este proyecto se pretende extender la vida útil de los implementos de manera individual y a su vez como un sistema completo que garanticen el continuo uso adecuado y controlado de los activos ya mencionados a tratar en el proyecto.

Palabras clave: Protocolo, Mantenimiento Industrial, Neumática, Compresores, pistones,

ABSTRACT

The purpose of this project is the development and implementation of a maintenance protocol for the Pneumatics Bench located in the GM 105 Mechatronics Laboratory at the University of Pamplona, Villa del Rosario, which allows optimal performance in the learning process and Industrial experience. by the students. Given that the current system lacks a maintenance protocol, it is intended to establish maintenance measures based on the factory conditions of use. This in order to once again implement activities for academic use in the facilities. For this, a state of the art must be carried out and, in turn, the investigation and manipulation of the information currently related to its use in said laboratory, to the historical behavior of the components of the Pneumatics Bank, such as its current compressor, actuators, terminals, controllers and other components that will be theoretically framed to generate a solid context about the project and thus proceed to develop and implement the aforementioned industrial maintenance protocol of said system. With this project it is intended to extend the useful life of the implements individually and in turn as a complete system that guarantees the continuous adequate and controlled use of the aforementioned assets to be treated in the project.

1. INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los días se hace más y más común la idea del mantenimiento como un inciso de gran importancia a tratar en las empresas, puesto que el concepto de mantener los equipos en óptimas condiciones es algo que no se debe pasar por alto. Las empresas han logrado evidenciar gran alza en productividad y disminución de riesgos en el trabajo y por ello es más fácil escuchar hablar del mantenimiento industrial en la gran mayoría de compañías.

El mantenimiento está enmarcado en procesos tales como predicción, monitorización y toma de acciones, donde en cada uno de ellos dependerá del estado de la maquinaria de determinada empresa. A medida que pasa el tiempo, el mantenimiento se ha hecho un instrumento clave que, a pesar de no ser considerado relevante en el pasado, sus resultados han hecho que llame la atención la idea de su implementación. Tanto así que su crecimiento apunta hacia la industria 4.0.

En la medida en que hablamos de mantenimiento industrial, nos vamos adentrando en la temática de generar mejores ambientes laborales, mayor productividad, mayor eficacia y reducción de tiempos de caída. A su vez la industria 4.0 con sus novedades hace más exigentes los requerimientos enfocados con temas más a la vanguardia cada día.

Por esto en la Universidad de Pamplona existe la necesidad de gestionar y hacer ver la importancia del crecimiento de este arte que a su vez impulsará al estudiantado en temáticas que los hará más competentes al estar más en contacto con prácticas de esta índole.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar la Gestión de ingeniería de mantenimiento básica del Banco de Neumática del laboratorio GM-105 de la sede de Villa del Rosario de la Universidad de Pamplona.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar del Banco de Neumática de laboratorio del laboratorio GM -105 de la sede de Villa del Rosario de la Universidad de Pamplona.
2. Realizar los inventarios, levantamiento de hoja de vida y recopilar la información soporte de fabricante y proveedores (fichas técnicas, manuales de usuario y de mantenimiento; entre otros)
3. Analizar la información recopilada para fines de proponer un cronograma de mantenimiento, frecuencia y lineamientos de mantenimiento.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido a que la Universidad De Pamplona implementó bancos de control con fines de estudio y pruebas académicas, se consideró que estos a su vez para preservar de manera adecuada sus componentes, es necesaria la implementación de dicho estudio y el desarrollo de un protocolo de mantenimiento, en este caso uno enfocado en Neumática a escala industrial, para realizar pruebas académicas a cargo de los estudiantes.

El banco carece de una trazabilidad de cuidados en donde el mantenimiento ha sido nulo, por ello para poder contar con la activación de este banco de pruebas es necesario hacer la gestión de ingeniería de mantenimiento de dicho banco.

Se analizó el actual comportamiento y funcionamiento de dicho banco de control y se concluyó que su estado es de bastante deterioro, incluyendo piezas faltantes. La pérdida de utilidad es un hecho que se debe considerar, dado a que esto afecta tanto al estudiantado y al profesorado de manera que disminuye la practicidad y aprovechamiento de los elementos en el inventario de la Universidad de Pamplona.

3.2 JUSTIFICACIÓN

Por ello, se determinó que para reactivar su uso es imperante el estudio de un protocolo de mantenimiento, donde se especifiquen causas, fallas, posibles condiciones de uso, entre otras, que den luz al estudiantado sobre que esperar en la vida laboral al momento de ejercer cargos como Ingenieros egresados de la Universidad de Pamplona.

Día a día, los estudiantes de cualquier ciencia aplicada se enfrentan a numerosas situaciones en donde según el grado de criticidad de los procesos, se llevan pesos de responsabilidad.

Frente a esta situación de manera sincrónica el sistema de Neumática requiere un análisis a fondo que determine el estado a escala Industrial, que vaya ligado a los lineamientos que hoy en día se rigen en las pequeñas y grandes empresas del país. Así mismo hacer ver a los estudiantes que en el ámbito laboral cada reto que se afronten debe ser tomado con calma y responsabilidad industrial.

Un banco de prácticas aplicado a un proceso específico, con un sistema de mantenimiento bien gestionado, generará gran impacto en el desarrollo académico del estudiantado y así mismo un mayor impacto en la escena industrial para la Universidad de Pamplona.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. NEUMÁTICA

En el campo de la Neumática nos encontramos con terminologías asociadas a la compresibilidad, elasticidad, expansibilidad, entre otras; que nos dejan generar un contexto en el campo de la Neumática como una ciencia en la que el aire comprimido es nuestro protagonista. "Por las razones mencionadas, se puede llegar a la conclusión de que el hombre dominará y podrá elevarse sobre el aire mediante grandes alas construidas por él, contra la resistencia de la gravedad" Esta frase mencionada en el libro *"Tecnología Neumática Industrial, Por Parker Hannifin Corporation"* es una frase acotada por Leonardo Da Vinci en donde expresa la gran utilidad de la Neumática desde los días de su entendimiento. Pues es solo hasta después del siglo XIX donde se evidencia un alza en la importancia de esta ciencia como factor influyente en el desarrollo de procesos.

Así mismo, para poder enmarcar de manera correcta y generar un concepto claro sobre esto, la física se ha encargado de darnos una bocanada de lo que es el análisis del fenómeno a nivel del comportamiento en nuestro día a día

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Formula (1)

donde a través de los años nos ha dado un sin número de leyes que enmarcan los procesos futuros que se basan en lo que es esta disciplina.

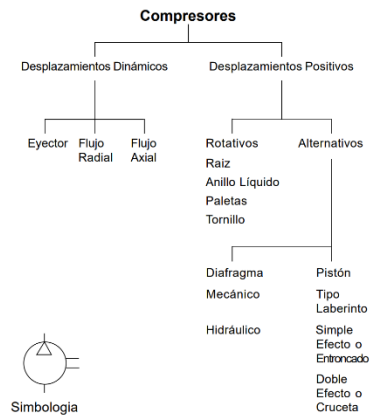


Figura 1.

Fuente: https://www.parker.com/literature/Brazil/M1001_BR_Neumatica.pdf

Como podemos apreciar en la figura (1) nos podemos dar cuenta que existen variedad de tipos de compresores tales como el compresor dinámico de flujo radial, compresor de tornillo, eyector, de tipo entroncado, entre otros. En nuestro caso, el compresor ubicado en el laboratorio es el de tipo Embolo o pistón.

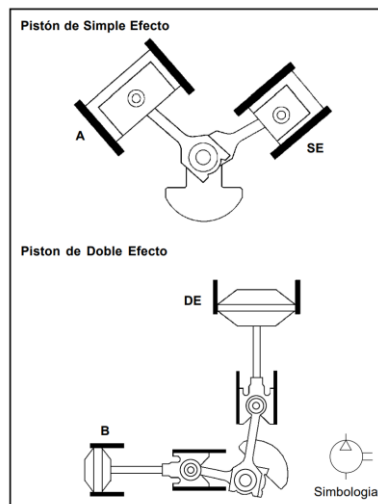


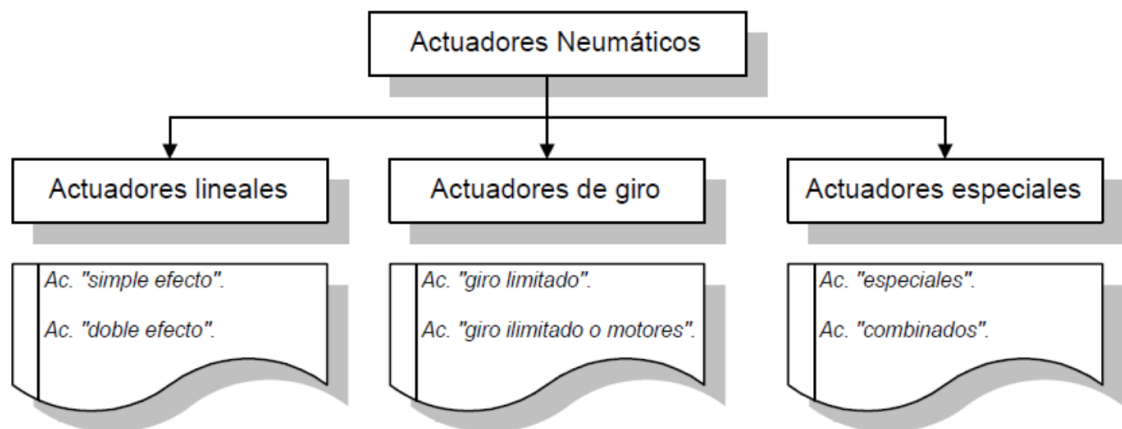
Figura 2.

Fuente: https://www.parker.com/literature/Brazil/M1001_BR_Neumatica.pdf

Su formato varía de acuerdo con la articulación existente entre el pistón y la biela. “Para este tipo de compresores se tiene que el pie de biela se articula directamente sobre el pistón y de esta manera al subir provoca el desplazamiento y empuje sobre la pared del cilindro contenedor. El empuje lateral es soportado por la cruceta y el pistón es rígidamente preso al vástago.”

“Tecnología Neumática Industrial, Por Parker Hannifin Corporation”

Esta pieza al ser un elemento que a simple vista demuestra ser un elemento de alta criticidad es el que se encarga de generar el fenómeno a tratar con nuestro banco de Neumática.



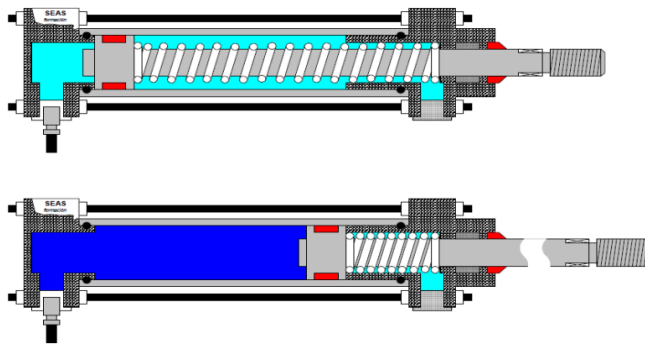
BANCO DE PRUEBAS DE NEUMATICA

Figura 3.

Fuente: https://www.parker.com/literature/Brazil/M1001_BR_Neumatica.pdf

- **Actuadores lineales:**

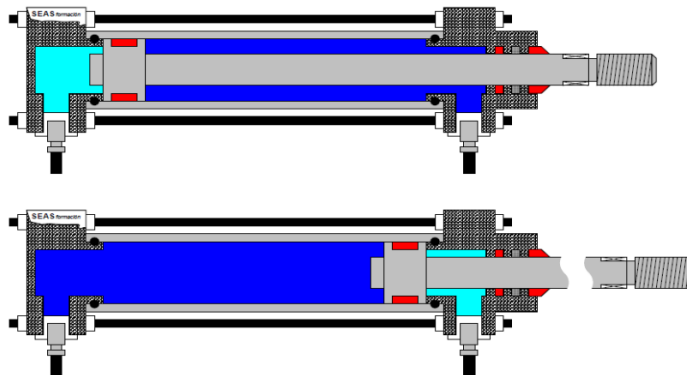
Los cilindros neumáticos independientemente de su forma constructiva representan los actuadores más comunes del campo, entre ellos están los cilindros de simple efecto (con una entrada de aire) y los cilindros de doble efecto (los cuales cuentan con dos entradas de aire para generar efecto de salida y retroceso).



Cilindro de Simple efecto

Figura 4.

Fuente: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/64702.pdf>



Cilindro de Doble efecto.

Figura 5.

Fuente: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/64702.pdf>

De manera que el mantenimiento es un proceso que conlleva grandes responsabilidades, en el mantenimiento Industrial se deben de integrar cantidad de elementos como lo son las leyes o estatutos estandarizados de implementación, objetivos y tipos de servicios a prestar, como el modo de operación y normas que rigen sus lineamientos. Gran sin número de disciplinas requieren de esta temática de mantenimiento industrial. La planeación es uno de los puntos de partida hacia la creación de empresas donde en ello se pueden estipular costos que a su vez con una buena implementación de distribución de activos y su cuidado pertinente hacen que el crecimiento de una empresa sea un hecho plausible.

Rojas Beltrán, M. (2015). Creación de una Empresa de mantenimiento Mecánico Hidráulico y Neumático para Maquinaria Industrial en Bogotá, Colombia. Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central.

Por ello las buenas prácticas en la implementación de un plan de mantenimiento son indispensables para dar claridad a las situaciones de cada proceso en específico, no solo en el campo de los procesos científicos sino en la estandarización e implementación de procesos burocráticos. Cada paso que se da debe estar ligado a una estandarización por ello no es de extrañar que el mantenimiento industrial es de alta importancia en la implementación de procesos a nivel de industria.

4.2 TRIBOLOGIA

La palabra tribología deriva del griego “τριβος” (tribos) que significa “frotamiento”. La tribología es la ciencia y tecnología de los fenómenos que hacen referencia y suceden cuando dos sólidos están en contacto, de esta manera se estudia la lubricación, fricción y desgaste de materiales.

Entre estos estudios podemos encontrar diferentes disciplinas, tales como:

4.2.1 MECÁNICA DE SÓLIDOS

La cual está centrada en las matemáticas, física del contacto (presiones, cargas) y las temperaturas de las superficies de los materiales en contacto y su debido deslizamiento o roce.

4.2.2 MECÁNICA DE FLUIDOS

Estudia el comportamiento de los lubricantes líquidos para distintas superficies con propiedades deslizantes. Este tipo de disciplina es la que más se centra en analizar a fondo lo que sucede entre las superficies. También ha estudiado la influencia de la temperatura, rugosidad y reología de las películas finas de cada material.

4.2.3 CIENCIA DE LOS MATERIALES

Se estudian los mecanismos a nivel atómico y microescala de la degradación de la superficie, es decir el comportamiento y física de fricción a nivel atómico. Los resultados de estos estudios solo se muestran con microfotografías, espectros de energía eléctrica y de rayos X.

4.2.4 QUÍMICA

En química se estudia la reactividad entre lubricantes y superficies. La química del contacto en la región donde se evidencia el deslizamiento.

4.3 DEFINICIÓN Y ORIGEN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Fue a finales del siglo XVIII y a principios del siglo XIX que mientras en la revolución industrial se daban los primeros pasos para generar así una generación de producción masiva, que con las primeras maquinas se empezó a hacer efectivo el análisis de la reparación de la maquinaria. Consigo se trajo al frente conceptos como competitividad y costo, de esta manera se ideó una forma en que las grandes empresas tras la preocupación de costos y perdidas por mal funcionamiento dio una luz a la disminución de estas mismas. Con estos estudios fue que concebir la idea del mantenimiento fue más fácil, pues en los años 20 ya se estaba haciendo análisis de estadística para así identificar fallas en motores y en los equipos relacionados a la aviación. Linares Depestre, L. O. (2012). Del Mantenimiento Correctivo al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. *Revista Centro Azúcar*, 39(3).

4.3.1. PILARES TECNOLÓGICOS

4.3.1.1. SISTEMAS DE INTEGRACIÓN

Los sistemas de integración son sistemas que se complementan en procesos con otras máquinas. Al conectar maquinas con máquinas los procesos industriales se hacen más y más automatizados en donde cada proceso es relevado así por un proceso determinado y específico. Esto está inmerso en lo que hoy en día se conoce como TIC's. De esta manera también se puede poner en contacto a los proveedores y transportistas con los clientes finales.

4.3.1.2. SISTEMAS AUTONOMOS (ROBOTS)

Los robots sin duda alguna son una revolución en los procesos de mecánicos ya que nos han permitido lograr automatizar procesos de alto riesgo o de mucho esfuerzo haciendo que este mismo se minimice de manera significativa. Por medio de sensores direccionados hacia determinado proceso el cual es leído por medio de señales eléctricas escalables, de esta manera cada fenómeno es captado e intervenido por actuadores finales.

4.3.1.3. INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

El enlace de diferentes maquinas mediante el internet logra direccionar de manera concisa los procesos y avances considerables en las empresas. El internet de las cosas es sin duda alguna una herramienta invaluable en los procesos tecnológicos. Sensores y actuadores son los principales protagonistas en esta sección y mas aun los procesos de lectura y análisis de datos. Una de las principales características son la lectura de procesos y los procesos completamente automatizados.

4.3.1.4 MANUFACTURA ADITIVA

Así mismo en una etapa de resultados en el mantenimiento, si es necesario aplicar un mantenimiento correctivo, podríamos optar por una manufactura aditiva. Como bien se sabe, la industria de la CAD/CAM ha crecido considerablemente y de esta manera al tener los modelos ya precargados digitalmente al existir un fallo o falla se podría generar un modelo impreso.

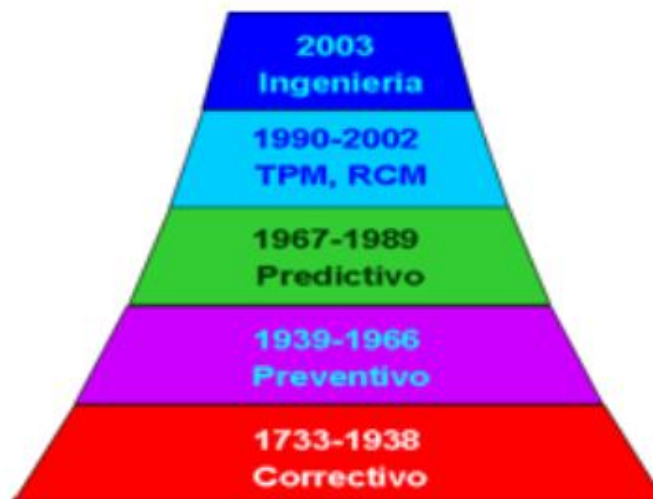
4.3.1.5 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Con la lectura de datos y análisis de estos mismos el proceso siguiente es la toma de decisiones, por lo cual la inteligencia artificial aparece como un protagonista de peso, el cual por medio de procesos de análisis y comportamiento leído por monitorización nos permite tener una imagen amplia sobre el camino en que se debe direccionar la toma de decisiones.

4.3.1.6 CIBERSEGURIDAD

La protección de la información, para poder evitar accesos no autorizados. Al ir empresas. Esto obliga a desarrollar mecanismos de ciberseguridad que protejan la computación en la nube avanzando hacia una industria inteligente y personalizada, muchos actores se van uniendo al proceso y monitoreo de las actividades comerciales.

4.4 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO



Resumen de la Evolución Histórica del Mantenimiento

Figura 6.

Fuente:

4.4.1 PRIMERA GENERACIÓN DEL MANTENIMIENTO

La primera generación cubre el período hasta la Segunda Guerra Mundial. En ese momento, la industria no estaba muy automatizada, por lo que el tiempo de inactividad no afectó mucho. Las máquinas son muy simples y en la mayoría de los casos están diseñadas para un propósito específico. Esto lo hace confiable y fácil de reparar. Por tanto, no es necesario realizar ningún mantenimiento en el sistema. La complejidad y demanda de personal calificado era menor que en la actualidad.

4.4.2 SEGUNDA GENERACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Después de la segunda guerra mundial hacia 1950 se construyeron máquinas de toda clase y a su vez más complicadas. El tiempo de inactividad de máquinas que fallaban fue algo que no se pudo pasar desapercibido. Esto llevó a la idea de que el mal funcionamiento de las máquinas debía evitarse, dando lugar al concepto de mantenimiento preventivo. Los costos de mantenimiento comienzan a aumentar. De esta manera, la planificación de los sistemas de mantenimiento y control se hace un tema bastante imperante a tratar.

4.4.3 TERCERA GENERACIÓN DEL MANTENIMIENTO

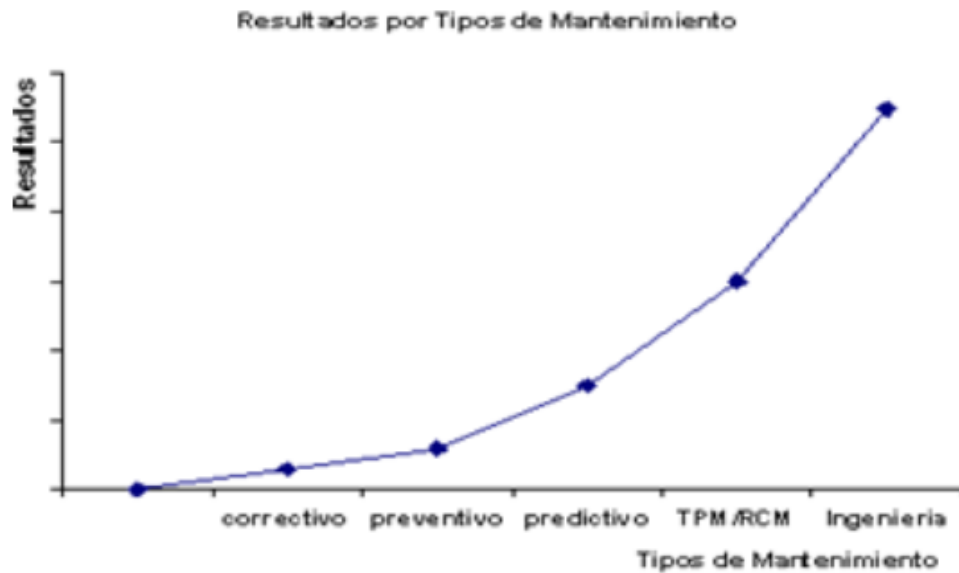
Desde mediados de la década de 1970, el proceso de cambio en la industria se ha acelerado aún más. Los cambios se pueden categorizar bajo nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas tecnologías.

4.4.4 CUARTA GENERACIÓN DEL MANTENIMIENTO

En la cuarta generación de la industria, nos encontramos con que el mantenimiento está enfocado a evitar las pérdidas a una escala mínima, esto gracias a los avances de la tecnología los cuales permiten que haya intervención no precisamente en contacto directo con los componentes sino más bien por monitorización de datos y por la puesta en marcha de programas de inteligencia artificial.

Con el crecimiento de procesos mecanizados se logra que el tiempo de inactividad tenga un mayor impacto en la producción, los costos y con el servicio al cliente. La relación máquina y calidad de producto siguen siendo los puntos críticos en lo que respecta a la automatización de un proceso, de la misma manera elevar los estándares de calidad siguen siendo más exigentes.

4.5 TIPOS DE MANTENIMIENTO



Resultados por Tipos de Mantenimiento
Gráfica 1.

Fuente: Kardec, A., Nascif, J., 2002

4.5.1 MANTENIMIENTO DE CONSERVACIÓN

Está determinado a compensar los daños sufridos por el material durante su uso, de acuerdo con las condiciones físicas y químicas a las que está expuesto el material. En este tipo de mantenimiento se puede desglosar en tres tipos de mantenimiento, los cuales son: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo.

4.5.1.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Se trata de un conjunto de tareas con el fin de corregir errores que aparecen en diferentes partes del activo.

4.5.1.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Este tipo de mantenimiento cumple la función de mantener un cierto nivel de servicio en el dispositivo, programando intervenciones para puntos vulnerables en el

momento más adecuado. En general, es sistémico, lo que significa que interfiere, incluso si el dispositivo no muestra signos de problema.

4.5.1.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Es el tipo de mantenimiento que busca conocer y dar un cálculo permanente del estado y operatividad de los escenarios conociendo los valores generados de alguna variable, y a su vez representar este estado y operatividad. Es por esto, que este mantenimiento identifica variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuyos cambios indican problemas que pueden existir en el dispositivo. Este es el tipo de mantenimiento más técnico, ya que requiere de equipos sofisticados.

4.6 AMEF

Análisis del modo y efecto de fallas por sus siglas, en idioma inglés FMEA (failure mode and effects analysis) se entiende como un proceso en el que se direccionan los riesgos mediante el análisis de fallas potenciales que permitan evitar una falla en un procedimiento.

- **Análisis:** Revisión detallada de los elementos de un proceso, producto o sistema.
- **Modo:** La forma en que se genera la falla.
- **Efecto:** La consecuencia de la falla.
- **Falla:** El error o imperfección que genera un resultado no deseado.

4.6.1 TIPOS DE AMEF

existen diferentes tipos de AMEF según el enfoque que se pretenda en determinado proyecto. Ya que la metodología AMEF se puede aplicar sobre un proceso, producto o sistema cualquiera.

4.6.2 AMEF DE SISTEMA (SFMEA)

Software Failure Mode and Effect Analysis. Es el análisis que busca prevenir posibles fallas en el desarrollo de un software asegurándose así que sus componentes (funciones, interfaz de usuario, mantenimiento, etc) sean compatibles y funcionen de manera correcta.

4.6.3 AMEF DE DISEÑO (DFMEA)

Design Failure Mode and Effects Analysis o Tambien llamado AMEF de producto. Es un análisis que está dirigido a encontrar los riesgos en un diseño nuevo o en la aplicación de una modificación de cierto producto.

4.6.4 AMEF DE PROCESO (PFMEA)

Process Failure Mode and Effects Analysis. En donde se busca que en cada etapa de un proceso se identifiquen los riesgos y fallos dependiendo a las diferentes fuentes, las más comunes, las famosas M (Mano de obra, materiales, maquinaria, medición, medio ambiente)

4.6.4.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

- Aumenta y optimiza los procesos con menos recursos.
- Reducción de costos de mantenimiento.
- Satisfacción del cliente evitando que reciba servicios que no cumplen sus requisitos.
- Mantiene la información de la empresa actualizada al hacer documentación.

Se expresan ciertas ventajas que al ser analizadas nos representan gran peso en lo que es el proceso de desarrollo del mismo, por ello son consideradas importantes. Cabe resaltar que este concepto se encuentra en lo que son los procesos de continuidad de negocio (ISO 22301) o en sistemas de gestión de calidad (ISO 9001).

A su vez basándonos en lo que son algunos estudios, como por ejemplo el libro de Hu-Chen donde menciona algunas de las siguientes que en él se consideran desventajas:

- En el proceso del cálculo del NPR se encuentra que algunas clasificaciones como los factores de severidad, ocurrencia y detección tienen una misma ponderación, por lo que puede conllevar a que un modo de fallo tenga un NPR más bajo, aunque presente alta severidad.
- Su éxito se basa en la experiencia y conocimiento que tengan los miembros sobre el sistema a analizar.

4.7 CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componente, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento. Lamentablemente, difícilmente se disponen de recursos ilimitados, tanto económicos como humanos, para poder mejorar al mismo tiempo, estos cuatro aspectos en todas las áreas de una empresa



<https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-operacional#:~:text=Los%20criterios%20para%20realizar%20un,puntuaci%C3%B3n%20para%20cada%20elemento%20evaluado.>

Figura 7.

Como puede verse en la figura 7, una planta compleja tiene asociada muchas unidades de proceso, y cada unidad de proceso podría contar con muchos sistemas, al tiempo que cada sistema tendría varios paquetes de equipos, y así sucesivamente. A medida que descendamos por la jerarquía, crecerá el número de elementos a ser considerados.

4.7.1 CALCULO DE CRITICIDAD

- **Criterio determinístico**

$$Cr = ((Fi * Cs) + Co + Im) * R$$

Formula 2

Donde:

- Cr: Criticidad Operacional
- FI: Flexibilidad
- Cs: Consecuencia
- Co: Costo de reparación del equipo
- Im: Impacto (Ambiente, Social, Salud)
- R: Fiabilidad

Para este concepto es necesario asignar valores que van de (1 – 10) a cada uno de estos incisos. Estos mismos valores al ser aplicados a la formula (2) expresada anteriormente y realizar las operaciones matemáticas debidas, obtendremos como producto un valor de entre (1 – 200).

De esta manera, al obtener la criticidad jerarquizada será posible determinar que equipos merecen mayor atención, los equipos que representan mayor riesgo.

4.7.2 CALCULO DE NPR

El NPR es un numero que nos ayuda a jerarquizar los niveles de las fallas a través de conceptos señalados dependiendo a su valor. Es el producto de la multiplicación de los grados de Severidad, Ocurrencia y Detección de un modo o efecto de falla.

$$\text{NPR} = \text{O} * \text{G} * \text{D}$$

Formula (2)

Donde:

- O = Ocurrencia
- G: Gravedad
- D: Detección

4.7.2.1 TABLA DE SEVERIDAD

Severidad		
ASQ (American Society for Quality)		
Clasificación	Efecto	Criterio: Severidad de Efecto Definido (proceso)
10	Crítico Peligroso: Sin Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afectan la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá SIN AVISO.
9	Crítico Peligroso: Con Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá CON AVISO.
8	Muy Alto	Interrupción mayor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea desechado. Ítem inoperable, pérdida de su función primaria. Cliente muy insatisfecho.
7	Alto	Interrupción menor a la línea de producción. Producto probablemente deba ser clasificada y una porción (menor al 100%) desechada. Ítem operable, pero a un nivel reducido de rendimiento. Cliente insatisfecho.
6	Moderado	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) probablemente deba ser desechada (no clasificada). Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia inoperables. Clientes experimentan incomodidad.
5	Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea retrabajado. Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia operables a un nivel reducido de rendimiento. Cliente experimenta alguna insatisfacción.
4	Muy Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. El producto probablemente deba ser clasificado y una porción (menor al 100%) retrabajada. Defecto percibido por la mayoría de los clientes.
3	Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en línea pero fuera de la estación de trabajo. Defecto es percibido por el cliente promedio.
2	Muy Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en la línea y en la estación de trabajo. Defecto es percibido solo por clientes expertos.
1	Ninguno	Ningún efecto.

<https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>
Tabla 1.

4.7.2.2 TABLA DE OCURRENCIA

Ocurrencia (Probabilidad de que pase)				
ASQ (American Society for Quality)				
Clasificación	Ocurrencia	Descripción	Frecuencia	Cpk (índice de capacidad real)
10	Muy Alta	La falla del proceso es casi inevitable	1 en 2	0.33
9			1 en 3	0.51
8	Alta	Procesos similares han presentado fallas	1 en 8	0.67
7			1 en 20	
6	Moderada	Muy pocas fallas ocasionales asociadas a procesos similares	1 en 80	0.83
5			1 en 400	1.00
4			1 en 2,000	1.17
3	Baja	Pocas fallas asociadas con procesos similares	1 en 15,000	1.33
2			1 en 150,000	1.5
1	Remota	Falla es improbable. Fallas nunca asociadas con procesos casi idénticos	< 1 en 1,500,000	> 1.67

<https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>
Tabla 2.

4.7.2.3 TABLA DE DETECCIÓN

Detección			
ASQ (American Society for Quality)			
Clasificación	Probabilidad de detección	Oportunidad de detección	Criterio: Probabilidad de detección por control de procesos
10	Casi Imposible	Sin oportunidad de detección	no hay controles en el proceso capaz de detectar o prevenir la causa potencial de falla
9	Muy Remota	Es probable que no se detecte en ninguna etapa del proceso	Hay una probabilidad muy remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
8	Remota	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
7	Muy Baja	Detección de problemas en la fuente	Hay una probabilidad muy Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
6	Baja	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
5	Moderada	Detección de problemas en la fuente	Hay probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
4	Altamente Moderada	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad muy moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
3	Moderada	Detección de problemas en la fuente	Hay una probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
2	Muy Alta	Detección de errores y/o prevención de problemas	Hay muy alta probabilidad de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
1	Casi Seguro	Proceso a prueba de errores	Es casi seguro que el control de proceso es capaz de detectar o de prevenir la causa potencial del modo de falla

<https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>

Tabla 3.

4.7.2.4 TABLA DE CODIGO DE CALOR

ATRIBUTO DE PRIORIDAD	Nivel NPR	CODIGO CALOR
Riesgo de falla ALTO	500 – 1000	
Riesgo de falla MEDIO	125 – 499	
Riesgo de falla BAJO	1 – 124	
No existe riesgo de falla	0	

<https://www.youtube.com/watch?v=O5P3qpIVF3o>

Tabla 4.

4.8 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Desde los días de la primera revolución industrial hasta la actualidad, las empresas más innovadoras han creado una amplia variedad de tecnologías, procesos y actividades que han ayudado a construir y comprender el mantenimiento.

De todas las técnicas de mantenimiento, existen algunas las cuales son catalogadas como las más comunes o aquellas que se aplican de manera general a la generación más reciente de mantenimiento, las cuales son: método kaizen, las 5'S y just in time.

4.8.1 METODO KAIZEN

Tras su derrota durante la segunda guerra mundial, Japón se enfrentaba a una situación bastante complicada, dado al resultado de la guerra. Japón bombardeado y estados unidos al ocupar con sus fuerzas armadas trajeron consigo métodos de control de calidad para los procesos estadísticos, inmerso en ello el concepto de entrenamiento TWI (Training Within Industry). En este programa, se contenían conceptos como control de calidad y también el Shewhart Cycle.

En esencia este concepto se basa en “buscar un proceso que necesita mejorarse, organizar y planificar cómo se puede solucionar el problema, proceder con lo planificado, estudiar si el proceso ha mejorado o empeorado y las causas de ello, y otra vez a empezar.”

De esta manera es como se mezcló la inteligencia emocional de los orientales y la inteligencia racional de los occidentales, dando así lugar a lo que hoy se conoce como la estrategia de mejora de la calidad Kaizen. Esto ayudo a que este país se posicionara como una fuerte economía y estar entre las primeras del mundo.

Por ello aparece el nombre del método Kaizen, que intenta eliminar tareas que suman costo pero que no aportan valor, buscando la armonía en la empresa, al igual que aprender haciendo las tareas, estandarización de procesos y entre otros.

4.8.2 LAS 5'S

- **Seiri**

Separar/clasificar (*sort*). Conservar lo necesario para realizar tareas y mantener en el área de trabajo solo los elementos que sean útiles para cumplir con el objetivo.

- **Seiton**

Poner en orden (*Set in order*). Mantener las herramientas de trabajo y equipos en condiciones de optimo aprovechamiento. Esta práctica permite disponer de un lugar adecuado para cada parte involucrada del trabajo.

- **Seiso**

Limpiar/ "Brilla de limpio" (*Shiny Clean*). Conservar limpias las áreas de trabajo, las herramientas y los equipos, para asi poder ir identificando los lugares que con mayor frecuencia se puede encontrar suciedad.

Mantener limpio un espacio de trabajar es signo de trabajar cómoda y adecuadamente.

- **Seiketsu**

"Limpieza estandarizada" (*Standardized Cleanup*). Son operaciones estandarizadas que pueden mantener resultados que se han obtenido al haber aplicado las tres primeras "S" así es que se logra mejorar el bienestar del personal y de esta manera, sincrónicamente se crea el hábito de mantener en todo momento el área de trabajo impecable.

- **Shitsuke**

Autodisciplina/” Sustentar” (*Sustain* o “Disciplina Sostenida”). Respetando las normas de las 5´S L a disciplina al momento de empezar y terminar una tarea es a lo que se refiere esta técnica con el Shitsuke, de manera que todos los miembros de la organización estén satisfechos con el desempeño individual y el propósito grupal. Esta idea sirve para llevarnos a la filosofía Kaizen o concepto de mejora continua, que significa un entorno de cultura en el autocontrol dentro de la organización Y del desempeño individual sin que se pierda el tiempo en la capacitación de estos procesos que muchas veces se pasan por alto y son de alto impacto en la productividad.

Aplicando las “5S” nos cercioramos que al estar en un ambiente o zona de trabajo ordenad, se empleará menos tiempo para realizar diferentes procesos. Cada grupo de trabajo es responsable y se cerciora de su implantación para realizar las tareas desde la (1ra. “S”) cómo se ordena y consecuentemente (2da. “S”) al mantener limpios y en buenas condiciones de uso los lugares de trabajo. Así mismo la (3ra. “S”), donde la limpieza y orden son imperativos para un perfecto desarrollo de las actividades. De esta manera todo el personal estará inmerso en un lugar de trabajo limpio y ordenado, todos serán conscientes de mantenerlo así y las tareas para lograr un objetivo serán más fáciles. Los resultados se miden en productividad, en satisfacción del personal y de la misma manera con la entrega del proceso o producto. La aplicación de las 5S puede ser uno de los primeros pasos del cambio hacia el desarrollo sostenible y productivo y tiene su impacto en medida de un largo plazo, para lograr esto se requiere de un alto grado de disciplina, de la misma manera el esfuerzo y generar conciencia y apropiamiento con las herramientas existentes en la empresa. Es decir, sentirse identificado con los objetivos del proceso.

4.8.3 JUST IN TIME

Es una filosofía que define la forma en que debería optimizarse un sistema de producción. Se trata en la entrega de materias primas o componentes a cada línea de fabricación de forma que lleguen como su título lo menciona “justo a tiempo” en la medida en que son necesarios.

4.9 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

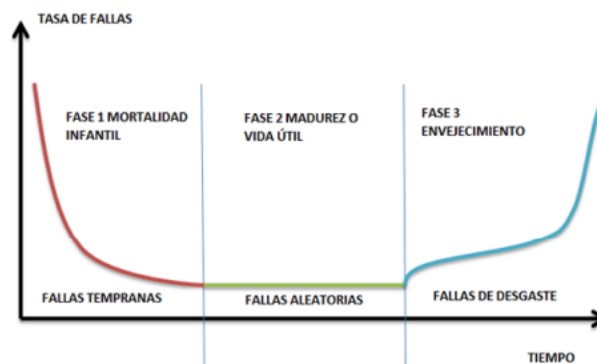
Tuvo su origen en la empresa automotriz Toyota y por tal razón es conocida mundialmente como Sistema de Producción Toyota. Dicho sistema se orienta a la eliminación de todo tipo de actividades que no agregan valor, y al logro de un sistema de producción ágil y suficientemente flexible que dé cabida a las fluctuaciones en los pedidos de los clientes.

Cada uno de los elementos presenciales en una empresa hasta incluso el personal es responsable de que este mismo funcione. La capacitación y los buenos hábitos de trabajo son el pilar de este tipo de mantenimiento. La filosofía de un constante mantenimiento nace de la idea de la disciplina japonesa.

Se evita cualquier tipo de pérdida y maximiza la eficiencia de las empresas. Evitando así que se hagan presentes fallas o mal usos de la maquinaria presente, cada elemento presente es encargado de una productividad que se encuentre en los estándares más altos posibles.

Esto quiere decir, que nadie mejor que el operador para conocer el funcionamiento del equipo ya que vive y trabaja a diario con la(s) máquina(s) la comprende muy profundamente.

4.9.1 CURVA DE LA BAÑERA



https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/5319/JorgeAmayaCata%C3%B1o_2014.pdf?sequence=2

Gráfica 2.

La curva de la bañera es un elemento de gran utilidad en el análisis de fallos o fallas de determinado sistema. El comprender su información registrada nos permite tanto determinar la vida útil de un activo como su fiabilidad y de esta manera así, tener bajo control cierto proceso. Su principal ventaja es poder planificar mejor el cómo y el cuándo realizar el mantenimiento.

Utilidades:

- Prolongar la vida útil de los sistemas o componentes.
- Aumentar su disponibilidad
- No intervención
- Prevención de fallas

4.9.2 ETAPAS DE LA CURVA DE LA BAÑERA

4.9.2.1 MORTALIDAD INFANTIL

En un principio los equipos son propensos a fallar, a esto se le llama mortalidad infantil. Durante este periodo el crecimiento de la probabilidad de falla es en sentido negativo.

Para poder evitar esta etapa o al menos minimizarla, se obtienen las siguientes estrategias, según INFRASPEAK en su blog: blog.infraspeak.com/es/la-curva-de-la-banera/

- **Depuración:**
Pruebas antes de, con tecnologías automatizadas y sensores.
- **Pruebas de aceptación y fiabilidad:**
Los equipos son evaluados siempre que haya cambios en el diseño, cambio de piezas, en las herramientas o en los procesos.

- **Control de calidad:**
Se usan técnicas de detección temprana a los fallos, como puede ser el análisis de vibraciones, con el fin de detectar problemas.
- **Pruebas aceleradas y pruebas de burn-in**
Sobreexposición del equipo a condiciones de uso más altas que las habituales, para cerciorarse del índice de capacidad de funcionamiento.

4.9.2.2 VIDA ÚTIL DEL ACTIVO

En esta segunda etapa el sistema ya es maduro, la tasa de fallos se estabiliza y entra en fase para lo que sería o fue diseñado. Los operarios están familiarizados con la manipulación del equipo y los errores de fabricación se corrigen.

En este momento, los fallos empiezan a ser aleatorios y se producen en gran mayoría por errores humanos, por fallos naturales, uso excesivo o sobrecarga y daños accidentales.

El mantenimiento preventivo o el predictivo son los más adecuados para aplicar cuando el activo se encuentra en esta zona.

4.9.2.3 DESGASTE Y ENVEJECIMIENTO

En esta etapa, como se ha mencionado el equipo ya se encuentra en fase de vejez. Los fallos cada vez se van presentando más y más de manera progresiva y el gráfico de la curva de la bañera tiene una pendiente positiva. No todos los activos llegan a esta fase, esto depende de algunos factores, pero en su mayoría es debido al mal uso de este mismo o en ciertas ocasiones debido a los factores de criticidad evaluados en cada empresa independientemente.

El desgaste progresivo de los componentes, mantenimiento deficiente o revisiones incorrectas son causas raíz de estos escenarios.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Durante una gestión de proyecto es indispensable el manejo de la información. El análisis de la información marca pautas sobre como generar propuestas para una correcta gestión de un protocolo de mantenimiento. Para este desarrollo la búsqueda de información en bases de datos de peso tales como, artículos, libros, publicaciones, blogs y videos han sido herramientas de gran valor. El libro de la OREDA, es un material estratégico en cual basarse en casos donde la información es incompleta o nula. Por medio de estos, es posible el análisis de características, significados e importancias relacionadas a los temas.

5.1. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.

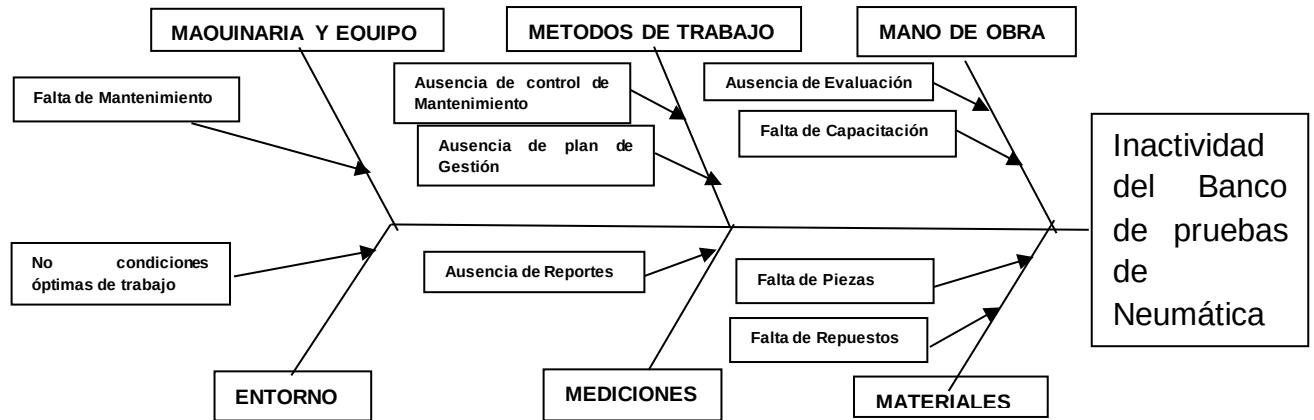
Básicamente en la gestión de un mantenimiento industrial es indispensable conocer de manera completa el sistema a tratar, por ello la realización de una caracterización del banco de Neumática es en primera instancia el más importante de los pasos a tratar. Tipos de fenómenos y finalidad del proceso, son los principales temas para que de esta manera sea mucho más fácil familiarizarnos con esta maquinaria.

De esta manera, haciendo el inventario de cada uno de los componentes podremos conocer más a fondo la utilidad y la criticidad de cada uno de ellos en el sistema. Para recolectar información, fue de vital importancia basarse en fuentes de datos de peso o certificadas en donde se pueda dar aval de su procedencia y de esa manera evitar desinformar el estado del arte de la temática. De esta manera se informó sobre la procedencia de los datos y la evolución desde los orígenes de la temática.

Consecuentemente, Una vez la información fue recopilada, se evaluó la dirección del tema y para dar cabalidad con los objetivos se usaron los artículos mejor enfocados para así proponer un protocolo de mantenimiento estructurado para el banco de Neumática de la Universidad de Pamplona.

El ACR o Análisis de Causa Raíz, es un modelo muy óptimo para poder dar claridad sobre el porqué de las fallas. Para poder hallar las causas de las fallas, el método Ishikawa se usó para poder dar claridad sobre las causas.

5.2 ANALISIS DE CAUSA RAIZ



Análisis de Causa Raíz
Autoría Propia
Figura 8.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

El banco de Neumática ubicado en el Laboratorio GM – 105 se encuentra enmarcado en su utilidad y sus componentes. De tal manera que se encuentra caracterizado por la estandarización de un proceso industrial inducido a la simulación de un proceso a tal escala, en donde el estudiantado es permitido a realizar pruebas de funcionamiento y manipulación.

El banco esta caracterizado por ser un sistema compuesto por componentes Neumáticos. El aire comprimido que es emitido por el compresor (Fuente) es conectado al sistema por medio de mangueras direccionadas a recorrer determinado camino para llevar a cabo la tarea principal que se especifica como accionar actuadores (fenómeno) los cuales dependiendo a la configuración tendrán un orden de funcionamiento para simular procesos industriales.

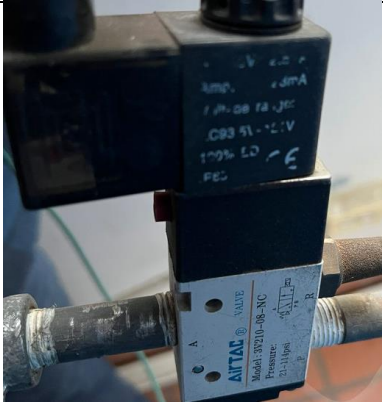


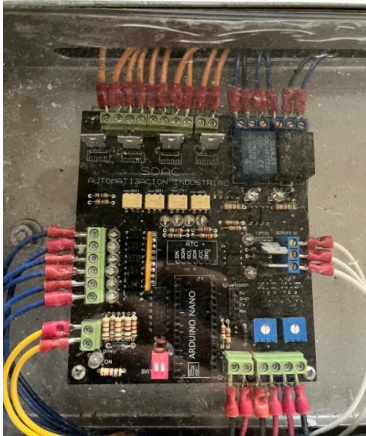
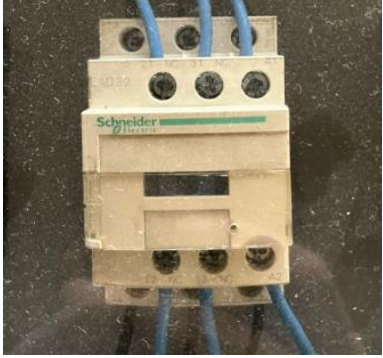
Al realizar la debida inspección visual del sistema, se encuentra que variedad de componentes no son posibles de localizar según su estado inicial.

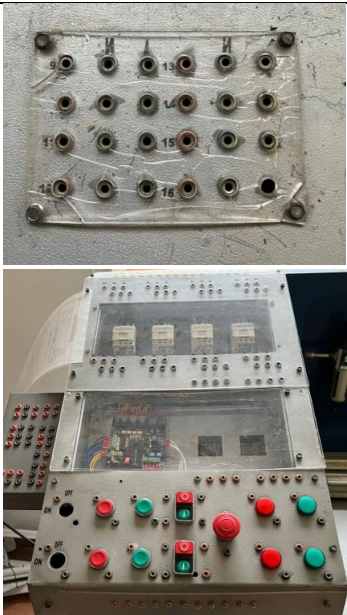
6.1 INVENTARIO

6.1.1 CLASIFICACION DE COMPONENTES

INVENTARIO			
COMPONENTE	REFERENCIA	CARACTERISTICAS	FOTO
Interruptores		Indicadores led y botones de encendido.	
Actuadores pistones – pistones		Pistones de simple efecto.	

Compresor		Compresor de 7.0 PSI de presión. Simple efecto	
Válvulas	3V-210-08-NC	Electroválvulas. Sistema híbrido.	
Mangueras		No inventariado	 manguera-neumatica-12mm.html https://industrialesandes.co/neumatica/372-

Arduino nano		No inventariado.	 https://innovatronics.com.co/store/index.php?id_product=396&controller=product&id_lang=1
Controladora		Tarjeta de control para p	
Contactores	jisc8201-4-1		

Borneras			
Medidores de presión			
Motor	IR38234	Bifásico	

6.2 LEVANTAMIENTO DE HOJA DE VIDA

El banco de Neumática permite el desarrollo de actividades didácticas, esta capacitado para elaborar dos tipos de accionamientos, los cuales son Neumáticos y Electro Neumáticos, para poder trabajar en conjunto o separado cuenta con electroválvulas, actuadores cilíndricos simples o de doble efecto, contactores y otros tipos de componentes para mejor visualización y control también se puede utilizar lógica cableada con principios neumáticos, los cuales tienen una variedad de circuitos.

CARACTERISTICAS	TÉCNICAS
ELECTRICA	Disyuntor REF:GV2ME16 Voltaje: 110/690 AC con 14 A. Fusible con resistencia 9 A. Selectores 2 estados VLT: 110/220 AC. Pilotos REF: EBCHQ1523 VLT: 110/220 ac. Paro de emergencia normalmente cerrado (N/C) 3 Contactores Schneider electric VLT: 24/600 25 a. ref: jisc8201-4-1 1 Contactor telemecanique REF: JISC8201-5-1 VLT: 24/600AC 25 A. Bomberos dieléctricas Temporizadores REF: ATE-105 VLT:110/220 AC. Motor bifásico REF: IR38234 VLT:110/220 AC RPM: 1740 5.50 ^a .
NEUMÁTICA	Unidad de mantenimiento Airtac REF: GFR 300-10 PSI: 130 Filtro y regulador Artac REF: GFR 300-8 PSI: 130 Actuador cilíndrico Simple Actuador cilíndrico Doble Compresor AGROFARBEF REF: A32XL CFM: 7.0 PSI 120
ELECTRONEUMATICA	Electroválvula simple PSI: 215 REF: 3V-210-08-NC VLT: 110/220 24AC 24/12 DC Electroválvula Doble PSI: 215 REF: 3V-210-10-NC VLT: 110/220 24AC 24/12 DC

RECOMENDACIONES
No consumir alimentos en el espacio de trabajo. Utilizar guantes de protección dieléctricos. Verificación del voltaje de los componentes de uso.

6.2.1 MODO DE OPERACIÓN

Los pasos de apagado son los contrarios al de encendido.

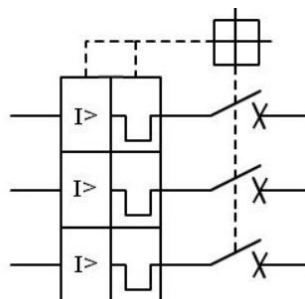
- Girar los selectores para des-energizar las electroválvulas que permiten el paso del aire comprimido de la unidad de mantenimiento.
- Quitar los acoples de las salidas de aire de presión
- Desacoplar mangueras, codos, válvulas, pulsadores y otros dispositivos usados.
- Girar el selector para des-energizar el compresor.
- Girar la llave del interruptor para des-energizar el tablero de control
- Oprimir el botón de stop del disyuntor para completar la des-energización del tablero de control.
- Desconectar el cable de alimentación eléctrica del banco Electroneumático.

El tablero de control nos permite tener flexibilidad en la forma de uso de selección del modo neumático o electroneumático, permitiéndonos la opción de usarlas juntas o separadas dependiendo de la función que se desea realizar. El banco cuenta con varios dispositivos de protección como gran cantidad de válvulas, actuadores y electroválvulas. El banco nos permite realizar lógica cableada gracias a que cuenta con borneras a la salida de cada dispositivo anexo al banco. La estructura del banco otorga facilidad y lo hace ser un sistema compacto.

6.2.2 SOPORTE FABRICANTES

Disyuntor guardamotor trifásico para protección de motores eléctricos. La regulación del disyuntor guardamotor está comprendida entre 9 y 14 A. La instalación de un disyuntor guardamotor permite prevenir la avería de motores eléctricos, tanto monofásicos como trifásicos, por sobrecarga, por fallo de una fase o cortocircuito.

Referencia: **GV2ME16**



Gráfica 3.

6.3 PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO

6.3.1 CRITERIO DE CRITICIDAD

	MATRIZ DE CRITICIDAD			
	Peso	Bajo	Medio	Alto
Cr	8			X
Fl	4	X		
Cs	8			X
Co	7			X
Im	5		X	
R	6		X	

Tabla 5.

AMEF ANALISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS POTENCIALES						
Nombre del proceso		Fecha de fabricación				
Producto						
Fecha Inicio						
Modo de fallo	Efecto Potencial del fallo	Causa Potencial del fallo	Condiciones Existentes			
			Controles Actuales	O	G	D
Actuadores no accionan	Mangueras con fugas,	Desacoplamiento de mangueras	Ninguno	7	6	8
	Filtros saturados	Suciedad en los filtros	Ninguno	5	4	4
No encendido al presionar disyuntor	Desconexión del cableado	Disyuntor falla	Ninguno	2	6	9
	Fusible fundido	Sobreenergizamiento	Ninguno	4	8	8
	Controladora no ordena	Corto	Ninguno	3	10	10
No comunicación bornas	No contacto en bornas	Terminales sulfatadas	Ninguno	5	6	2

Tabla AMEF
Autoría Propia
Tabla 6.

Nombre y Firma					
Supervisor					
Fecha Final					
		Resultados			
Estado y Acción recomendada	Acción Correctora	O	G	D	
Reemplazar					
Limpieza / Reemplazar					
Reemplazar					
Reemplazar					
Inspección / Reemplazar					
Limpieza					

Tabla AMEF Continuación
Autoría Propia
Tabla 7.

Donde:

- O = Ocurrencia
- G = Gravedad o Severidad
- D = Detección

6.4 PLAN DE MANTENIMIENTO

Componente	Actividad	Ocurrencia	Inicio (Semana)	Enero			Febrero		
Disyuntor REF: GV2ME16	Limpiar contacto	Baja						x	
Fusible con resistencia 9 A	Cambio	Muy Baja							
Selectores 2 estados	Limpiar contacto	Media						x	
Paro de emergencia normalmente cerrado	Verificacion de estado	Alta			x			x	
Contactores Schneider electric	Contacto de bornes	Baja						x	
Contactor telemecanique REF: JISC8201-5-1	Limpiar contacto	Baja							
Bomberas dieléctricas	Verificar Filtraciones	Media					x		
Temporizadores REF: ATE-105	Cambio	Baja							
Motor bifásico REF: IR38234	Verificar rodamientos	Media						x	
Unidad de mantenimiento Airtac	Limpiar filtros	Media			x				
Filtro y regulador Artac REF: GFR 300-8	Limpiar filtros	Baja							
Actuador cilíndrico Simple	Engrasar	Media						x	
Actuador cilíndrico Doble	Engrasar	Media						x	
Compresor AGROFARBEF REF: A32XL	Verificar fugas	Alta		x			x		
Electroválvula simple PSI: 215 REF	Limpieza	Alta			x			x	
Electroválvula Doble	Limpieza	Alta			x			x	

Tabla Protocolo de Mantenimiento
Autoría Propia
Tabla 8.

[illegible]

Tabla Protocolo de Mantenimiento
Autoría Propia
Tabla 9.

CONCLUSIONES

- Al observar el análisis realizado en la [figura \(8\)](#) relacionada al método Ishikawa para encontrar las causas raíces, es evidente la falta de mantenimiento y de atención que se le ha prestado al banco de prácticas Industriales de Neumática. Por ello se concluye que el banco no se encuentra en calidad de operación. Debido a la comparativa con los procesos normalmente implementados es posible concluir la necesidad de implementar un protocolo de mantenimiento.
- Para poder continuar con el funcionamiento del banco de Neumática es necesario completar las piezas faltantes especificadas en el inventario. De lo contrario el banco no va a cumplir con el propósito por el cual fue construido.
- Al realizar la debida investigación del estado del arte y hacer una comparativa con las normativas, cada empresa se muestra libre de hacer de su proyección en el mantenimiento como propio, por ello no existe un modelo como tal a seguir en la estructuración de esta implementación en la industria.
- El mantenimiento se muestra con una cara dura, donde las empresas tratan de prescindir de la implementación de este mismo. Sin embargo, esta herramienta se hace primordial en el momento de analizar eventos trazables, es decir, la implementación de un buen mantenimiento nos da luz en el sentido de analizar posibles causas y la generación de menos paradas de máquinas.

RECOMENDACIONES

- Como principal opción, la implementación de hojas de inventario en físico, para de esta manera poder tener un inventario (stock) de partes del sistema listas en caso tal sea necesario el reemplazo de determinada pieza.
- Implementar protocolos de mantenimiento guiados por docentes para la realización de prácticas industriales en las instalaciones del laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

Artículos

Aboelmaged, M., 2015. E-maintenance research: a multifaceted perspective. *J. Manuf. Technol. Manag.* 26 (5), 606–631.

Agustiady, T., Cudney, E., 2018. Total, productive maintenance. *Total, Qual. Manag. Bus. Excel.* 1–8. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1438843> (forthcoming).

Ahuja, I., Khamba, J., 2008a. Justification of total productive maintenance initiatives in Indian manufacturing industry for achieving core competitiveness. *J. Manuf. Technol. Manag.* 19 (5), 645–669.

Ahuja, I., Khamba, J., 2008b. Total productive maintenance: literature review and directions. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* 25 (7), 709–756.

Ali, A., 2019. Application of total productive maintenance in service organization. *International Journal of Research in Industrial Engineering* 8 (2), 176–186.

Al-Najjar, B., Algabroun, H., Jonsson, M., 2018. Maintenance 4.0 to fulfil the demands of industry 4.0 and factory of the future. *Int. J. Eng. Res. Afr.* 8 (11), 20–31.

Ashton, K., 2009. That 'internet of things' thing. *RFID Journal* 22, 97–114.

Barratt, M., Choi, T., Li, M., 2011. Qualitative case studies in operations management: trends, research outcomes, and future research implications. *J. Oper. Manag.* 29 (4), 329–342.

Bell, E., Bryman, A., Harley, B., 2018. *Business Research Methods*. Oxford University Press, London.

Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., Stahre, J., 2017. Maintenance in digitalised manufacturing: delphi-based scenarios for 2030. *Int. J. Prod. Econ.* 191, 154–169.

Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., Wuest, T., Stahre, J., 2020b. Smart Maintenance: an empirically grounded conceptualization. *Int. J. Prod. Econ.* 223, 107534.

Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., Wuest, T., Stahre, J., 2020a. Smart Maintenance: a research agenda for industrial maintenance management. *Int. J. Prod. Econ.* 224, 107547.

Bouwman, H., Van Den Hooff, B., Van den Wijngaert, L., Van Dijk, 2005. *J. Information And Communication Technology In Organizations*. Sage, London.

Brah, S.A., Chong, W.K., 2004. Relationship between total productive maintenance and performance. *Int. J. Prod. Res.* 42 (12), 2383–2401.

Brazilian National Industry Confederation, 2017. Ranking dos estados. Available at: <https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/ranking> (accessed on January 12th 2021).

Carter, N., Bryant-Lukosius, D., DiCenso, A., Blythe, J., Neville, A., 2014. The use of triangulation in qualitative research. *Oncol. Nurs. Forum* 41 (5).

Carvalho, T., Soares, F., Vita, R., Francisco, R., Basto, J., Alcalá, S., 2019. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance.

Comput. Ind. Eng. 137, 106024.

Ceruti, A., Marzocca, P., Liverani, A., Bil, C., 2019. Maintenance in aeronautics in an industry 4.0 context: the role of augmented reality and additive manufacturing. *Journal of Computational Design and Engineering* 6 (4), 516–526.

Chiarini, A., Belvedere, V., Grando, A., 2020. Industry 4.0 strategies and technological developments. An exploratory research from Italian manufacturing companies. *Prod. Plann. Contr.* 31 (16), 1385–1398.

Chukwuekwe, D., Schjoelberg, P., Roedseth, H., Stuber, A., 2016. Reliable, robust and resilient systems: towards development of a predictive maintenance concept within the industry 4.0 environment. *EFNMS Euro Maintenance Conference*.

Ciano, M., Dallasega, P., Orzes, G., Rossi, T., 2021. One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: a multiple case study. *Int. J. Prod. Res.* 59 (5), 1386–1410.

Corbin, J., Strauss, A., 2008. *Basics of Qualitative Research*. Sage, London.

Cresswell, K., Sheikh, A., 2013. Organizational issues in the implementation and adoption of health information technology innovations: an interpretative review. *Int. J. Med. Inf.* 82 (5), 73–86. Cua, K.O., McKone, K.E., Schroeder, R.G., 2001. Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance. *J. Oper. Manag.* 19 (6), 675–694.

Cusano, C., Napoletano, P., 2017. Visual recognition of aircraft mechanical parts for smart maintenance. *Comput. Ind.* 86, 26–33.

Da Silveira, G.J.C., 2001. Innovation diffusion: research agenda for developing economies. *Technovation* 21, 767–773.

Dalenogare, L., Benitez, G., Ayala, N., Frank, A., 2018. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *Int. J. Prod. Econ.* 204, 383–394.

Dalzochio, J., Kunst, R., Pignaton, E., Binotto, A., Sanyal, S., Favilla, J., Barbosa, J., 2020. Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: current status and challenges. *Comput. Ind.* 123, 103298.

De Sousa Jabbour, A.B.L., Jabbour, C.J.C., Foropon, C., Godinho Filho, M., 2018. When titans meet—Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technol. Forecast. Soc. Change* 132, 18–25.

Dooley, K.E., 1999. Towards a holistic model for the diffusion of educational technologies: an integrative review of educational innovation studies. *Educ. Technol. Soc.* 2 (4), 35–45. Dub e, L., Par e, G., 2003. Rigor in information systems positivist case research: current practices, trends and recommendations. *MIS Q.* 27 (4), 597–635.

Fatorachian, H., Kazemi, H., 2018. A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Prod. Plann. Contr.* 29 (8), 633–644.

Fettermann, D., Cavalcante, C., Almeida, T., Tortorella, G., 2018. How does Industry 4.0 contribute to operations management? *Journal of Industrial and Production Engineering* 35 (4), 255–268.

Frank, A., Dalenogare, L., Ayala, N., 2019. Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *Int. J. Prod. Econ.* 210, 15–26.

Furlan, A., Vinelli, A., Dal Pont, G., 2011. Complementarity and lean manufacturing bundles: an empirical analysis. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 31 (8), 835–850.

Ghobakhloo, M., 2018. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *J. Manuf. Technol. Manag.* 29 (6), 910–936.

Greenhalgh, T., Robert, G., Macfarlane, F., Bate, P., Kyriakidou, O., 2004. Diffusion of innovations in service organizations: systematic review and recommendations. *Milbank Q.* 82 (4), 581–629.

Guest, G., Namey, E., Taylor, J., Eley, N., McKenna, K., 2017. Comparing focus groups and individual interviews: findings from a randomized study. *Int. J. Soc. Res. Methodol.* 20 (6), 693–708.

Habidin, N., Hashim, S., Fuzi, N., Salleh, M., 2018. Total productive maintenance, kaizen event, and performance. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* 35 (9), 1853–1867.

Hermann, M., Pentek, T., Otto, B., 2016. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). IEEE, pp. 3928–3937.

Hooi, L., Leong, T.Y., 2017. Total, productive maintenance and manufacturing performance improvement. *J. Qual. Mainten. Eng.* 23 (1), 2–21.

Hopkins, J., 2021. An investigation into emerging industry 4.0 technologies as drivers of supply chain innovation in Australia. *Comput. Ind.* 125, 103323. Ç

Hsieh, H., Shannon, S., 2005. Three approaches to qualitative content analysis. *Qual. Health Res.* 15 (9), 1277–1288.

Hubl, A., Altendorfer, K., Pilstl, J., Jodlbauer, H., 2009. Equipment performance measurement in production plants based on customer demand. 2009 2nd International Symposium on Logistics and Industrial Informatics. IEEE, pp. 1–6.

<https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-operacional#:~:text=Los%20criterios%20para%20realizar%20un,puntuaci%C3%B3n%20para%20cada%20elemento%20evaluado.>

Jabbour, C.J.C., de Sousa Jabbour, A.B.L., Sarkis, J., Godinho Filho, M., 2019. Unlocking the circular economy through new business models based on large-scale data: an integrative framework and research agenda. *Technol. Forecast. Soc. Change* 144, 546–542.

Jain, A., Bhatti, R., Singh, H., 2014. Total, productive maintenance (TPM) implementation practice: a literature review and directions. *International Journal of Lean Six Sigma* 5 (3), 293–323.

Jiang, Y., Chen, M., Zhou, D., 2015. Joint optimization of preventive maintenance and inventory policies for multi-unit systems subject to deteriorating spare part inventory. *J. Manuf. Syst.* 35, 191–205.

Kagermann, H., 2015. Change through digitization—value creation in the age of Industry 4.0. *Management of Permanent Change*. Springer Gabler, Wiesbaden, pp. 23–45.

Kaminski, J., 2011. Diffusion of innovation theory. *Canadian Journal of Nursing Informatics* 6 (2), 1–6.

Kaur, M., Singh, K., Ahuja, I., Singh, P., 2015. Justification of synergistic implementation of TQM–TPM paradigms using analytical hierarchy process. *Int. J. Process Manag. Benchmark.* 5 (1), 1–18.

Ketokivi, M., Choi, T., 2014. Renaissance of case research as a scientific method. *J. Oper. Manag.* 32 (5), 232–240.

Kiwanuka, A., 2015. Acceptance process: the missing link between UTAUT and diffusion of innovation theory. *American Journal of Information Systems* 3 (2), 40–44.

Klathae, V., Ruangchoengchum, P., 2019. The predictable maintenance 4.0 by applying digital technology: a case study of heavy construction machinery. *Review of Integrative Business and Economics Research* 8, 34–46.

Konecny, P.A., Thun, J.H., 2011. Do it separately or simultaneously—an empirical analysis of a conjoint implementation of TQM and TPM on plant performance. *Int. J. Prod. Econ.* 133 (2), 496–507.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H., Feld, T., Hoffmann, M., 2014. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering* 6 (4), 239–242.

Lee, J., Wang, H., 2008. *New Technologies for Maintenance, Complex System Maintenance Handbook*. Springer, London.

Leonard, K., 2004. Critical success factors relating to healthcare's adoption of new technology: a guide to increasing the likelihood of successful implementation. *Electron. Healthc.* 2 (4), 72–81.

Linares Depestre, L. O. (2012). Del Mantenimiento Correctivo al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. *Revista Centro Azúcar*, 39(3). Recuperado a partir de http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/341

Link, T.C., Reece, B., 2021. Barriers to the adoption of technological innovations in corrections: a review and case study. *Int. J. Offender Ther. Comp. Criminol.* 65 (2–3), 262–281.

Llopis-Albert, C., Rubio, F., Valero, F., 2021. Impact of digital transformation on the automotive industry. *Technol. Forecast. Soc. Change* 162, 120343.

Lu, Y., 2017. Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration* 6, 1–10.

Lundblad, J., 2003. A review and critique of Rogers' diffusion of innovation theory as it applies to organizations. *Organ. Dev. J.* 21 (4), 50.

Makse, T., Volden, C., 2011. The role of policy attributes in the diffusion of innovations. *J. Polit.* 73 (1), 108–124.

Maisiri, W., van Dyk, L., 2021. Industry 4.0 skills: a perspective of the South African manufacturing industry. *SA J. Hum. Resour. Manag.* 19, 1416.

Marodin, G., Frank, A., Tortorella, G., Saurin, T., 2016. Contextual factors and lean production implementation in the Brazilian automotive supply chain. *Supply Chain Manag.* 21 (4), 417–432.

Marodin, G., Tortorella, G., Frank, A., Godinho Filho, M., 2017. The moderating effect of Lean supply chain management on the impact of Lean shop floor practices on quality and inventory. *Supply Chain Manag.: Int. J.* 22 (6), 473–485.

Mayring, P., 2004. Qualitative content analysis. *A Companion to Qualitative Research* 1 (2), 159–176.

Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattullo, M., Uva, A., Fiorentino, M., et al., 2017. Supporting remote maintenance in industry 4.0 through augmented reality. *Procedia Manufacturing* 11, 1296–1302.

McKone, K.E., Schroeder, R.G., Cua, K.O., 2001. The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance. *J. Oper. Manag.* 19 (1), 39–58.

Mendez, J., Rodriguez, R., 2017. Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 92 (1–4), 1013–1026.

Miles, M., Huberman, M., 1994. *Qualitative Data Analysis: an Expanded Sourcebook*. Sage Publishing, Thousand Oaks.

Mosyurchak, A., Veselkov, V., Turygin, A., Hammer, M., 2017. Prognosis of behaviour of machine tool spindles, their diagnostics and maintenance. *MM Science Journal* 2100–2104.

- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Zogopoulos, V., 2020. Integrated and adaptive AR maintenance and shop-floor rescheduling. *Comput. Ind.* 103383.
- Mourtzis, D., Vlachou, E., 2018. A cloud-based cyber-physical system for adaptive shopfloor scheduling and condition-based maintenance. *J. Manuf. Syst.* 47, 179–198.
- Nakajima, S., 1988. *Introduction To TPM: Total Productive Maintenance (Translation)*. Productivity Press, Inc.
- Nallusamy, S., Majumdar, G., 2017. Enhancement of overall equipment effectiveness using total productive maintenance in a manufacturing industry. *Int. J. Perform. Eng.* 13 (2), 173–188.
- Narasimhan, R., 2014. Theory development in operations management: extending the frontiers of a mature discipline via qualitative research. *Decis. Sci. J.* 45 (2), 209–227.
- Netland, T., 2013. Exploring the phenomenon of company-specific production systems: one-best-way or own-best-way? *Int. J. Prod. Res.* 51 (4), 1084–1097.
- Netland, T., Ferdows, K., 2014. What to expect from a corporate lean program. *MIT Sloan Manag. Rev.* 55 (3), 83–89.
- Pagliosa, M., Tortorella, G., Ferreira, J., 2021. Industry 4.0 and Lean Manufacturing: a systematic literature review and future research directions. *J. Manuf. Technol. Manag.* 32 (3), 543–569.