

Propuesta de una herramienta ofimática para el reporte y consulta de actividades de mantenimiento

Ricardo Aguilar Blanco
Gustavo Zaraza Aguilar

Trabajo de investigación para optar al título de especialista en
Gerencia de mantenimiento

Asesor:
Miguel Ángel Urián Tinoco
Esp. En Gerencia de Mantenimiento

Universidad ECCI.
Especialización Gerencia de mantenimiento
Seminario
Bogotá - 2018

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| 1. Título de investigación | 8 |
| 2. Problema de investigación..... | 9 |
| 2.1. Descripción del problema..... | 9 |
| 2.2. Planteamiento del problema | 9 |
| 2.3. Sistematización del problema..... | 9 |
| 3. Objetivo | 11 |
| 3.1. Objetivo general | 11 |
| 3.2. Objetivos específicos..... | 11 |
| 4. Justificación y delimitación..... | 12 |
| 4.1. Justificación..... | 12 |
| 4.2. Delimitación | 12 |
| 4.3. Limitación..... | 12 |
| 5. Marco conceptual | 13 |
| 5.1. Estado del arte | 13 |
| 5.1.1. Estado del arte local..... | 13 |
| 5.1.2. Estado del arte nacional..... | 15 |
| 5.1.3. Estado del arte internacional..... | 18 |
| 5.2. Marco teórico..... | 20 |
| 5.2.1. ¿Qué es mantenimiento?..... | 21 |
| 5.2.2. Tipos de mantenimiento | 23 |
| 5.2.3. Metodologías del mantenimiento | 26 |
| 5.2.4. Indicadores de mantenimiento..... | 34 |
| 5.2.5. Excelencia operacional..... | 35 |
| 5.2.6. Bases de datos..... | 36 |
| 5.2.7. Visual Basic..... | 38 |
| 5.2.8. Herramienta Excel | 41 |
| 5.3. Marco legal y normativo | 43 |
| 6. Marco metodológico..... | 44 |
| 6.1. Recolección de la información | 44 |
| 6.1.1. Tipo de investigación | 45 |
| 6.1.2. Fuentes de la obtención de la información..... | 46 |
| 6.1.3. Herramientas..... | 47 |

| | |
|--|----|
| 6.1.4. Metodología..... | 48 |
| 6.1.5. Recopilación de la información..... | 49 |
| 6.2. Análisis de la información..... | 52 |
| 6.3. Propuesta de solución..... | 56 |
| 7. Resultados obtenidos..... | 72 |
| 7.1. Cliente interno..... | 72 |
| 7.2. Gerencia..... | 72 |
| 7.3. Áreas operativas..... | 73 |
| 8. Análisis financiero..... | 74 |
| 8.1. Análisis ROI..... | 75 |
| 9. Conclusiones..... | 78 |
| 10. Recomendaciones..... | 79 |
| 11. Bibliografía..... | 80 |

Tabla de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Condición de la máquina Vs Demanda de servicio | 35 |
| Figura 2 Cliente - Proveedor- Dueño | 36 |
| Figura 3 Entorno del programa..... | 40 |
| Figura 4 Ventana de acceso principal (Secciones) | 49 |
| Figura 5 Tabla de Excel..... | 50 |
| Figura 6 Representación gráfica de la división de área, sistemas, subsistemas y componentes | 52 |
| Figura 7 Tabla de Excel registro de fallas en un activo..... | 54 |
| Figura 8 Secciones..... | 60 |
| Figura 9 Diagrama de flujo..... | 61 |
| Figura 10 Representación gráfica de la división de área, sistemas, subsistemas y | 64 |
| Figura 11 Habilitar casilla del programador..... | 65 |
| Figura 12 Habilitar casilla de Visual Basic | 65 |
| Figura 13 Habilitar casilla de UserForm | 66 |
| Figura 14 Herramientas del formulario | 66 |
| Figura 15 Apariencia final del formulario..... | 67 |
| Figura 16 Selección de subsistema..... | 68 |
| Figura 17 Descripción de sistemas de un activo | 69 |
| Figura 18 Tipo de mantenimiento solicitado..... | 69 |
| Figura 19 Descripción selección del estado de reporte | 70 |
| Figura 20 Descripción de elección de operador | 70 |
| Figura 21 Selección del activo con novedad | 71 |

Tablas de Excel

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Meses Vs No de Ordenes | 55 |
| Tabla 2 Talento humano | 74 |
| Tabla 3 Materiales | 74 |
| Tabla 4 Implementación | 74 |
| Tabla 5 Software de mantenimiento en el mercado actual | 75 |

Resumen

El presente tema de investigación tiene por nombre: *Propuesta de una herramienta ofimática para el reporte y consulta de actividades de mantenimiento*. Es el requerimiento para la modalidad de especialistas en gerencia de mantenimiento. La siguiente propuesta es la herramienta que tiene como recursos digitales el Excel y Visual Basic, para crear un canal de comunicación bidireccional entre el departamento de mantenimiento y las demás dependencias al interior de una organización. Para aquellas organizaciones que no tiene el suficiente musculo financiero para adquirir un software de mantenimiento, esta herramienta ofimática es la solución a sus necesidades básicas de manteamiento.

La aplicación de esta herramienta además de generar una base de datos, relaciona las actividades de mantenimiento, ofreciendo así la oportunidad de constituir y vincular dentro de los participantes conocimientos en taxonomía de equipos. Por otra parte dicha información permite determinar la jerarquización de los diferentes sistemas en función de su actividad.

Al no ser reconocidas las fallas funcionales en los diferentes sistemas y adicionalmente su impacto en los diferentes procesos, son las acciones que se quieren corregir mediante esta propuesta ofimática. Logrando así el cumplimiento de los objetivos al interior del departamento de producción, generando un aumento en la disponibilidad y confiabilidad de los activos.

Summary

The present research topic has the name: Proposal of an office tool for the report and consultation of maintenance activities. It is the requirement for the modality of maintenance management specialists. The next proposal is the tool that has Excel and Visual Basic as digital resources, to create a bidirectional communication channel between the maintenance department and the other dependencies within an organization. For those organizations that do not have enough financial muscle to purchase maintenance software, this office tool is the solution to your basic maintenance needs.

The application of this tool in addition to generating a database, relates the maintenance activities, thus offering the opportunity to establish and link within the participants knowledge in equipment taxonomy. On the other hand, this information allows to determine the hierarchy of the different systems according to their activity.

As the functional failures in the different systems are not recognized and in addition their impact on the different processes, they are the actions that are to be corrected by means of this office automation proposal. Achieving compliance with the objectives within the production department, generating an increase in the availability and reliability of the assets.

1. Título de investigación

Propuesta de una herramienta ofimática para el reporte y consulta de actividades de mantenimiento.

2. Problema de investigación

2.1. Descripción del problema

La pequeña y mediana empresa en Colombia se encuentra en una desventaja competitiva frente a la gran industria por la carencia de herramientas tecnológicas accesibles. Estas empresas dedican sus recursos financieros a las actividades productivas, aplazando e incluso ignorando la inversión económica que le permita adquirir un software que faciliten el control de sus actividades.

En el entorno actual se evidencia la carencia de mecanismos económicamente accesibles que posibiliten medir las falencias de los equipos en las operaciones diarias. En consecuencia, se hace difícil indagar sobre un historial de fallas porque no existe información que relacione las fallas funcionales. Las tareas rutinarias no dejan de serlo porque no se cuenta con la información que determine su impacto económico frente al proceso y se incurre en el error de considerarlo como un evento irrelevante.

2.2. Planteamiento del problema

¿Cómo generar una base de datos de registros históricos que sirva para determinar el inicio a un programa de mantenimiento?

2.3. Sistematización del problema

- ¿Cuál es la información necesaria para optimizar el propósito de la gestión de mantenimiento?

- ¿Qué mecanismos digitales permiten la consulta y registro de la información?
- ¿Cuál es la información que debe contener un reporte de mantenimiento para registrar las fallas funcionales de un activos?

3. Objetivo

3.1. Objetivo general

Desarrollar un aplicativo digital para el reporte de fallas de un activo, teniendo en cuenta los sistemas y subsistemas que lo conforman.

3.2. Objetivos específicos

- Especificar cuáles son los sistemas de un activo y sus posibles fallas funcionales.
- Desarrollar a partir de una herramienta de office la consulta y registro de actividades de mantenimiento sobre un activo.
- Establecer la información necesaria requerida para realizar los reportes de mantenimiento.

4. Justificación y delimitación

4.1. Justificación

Para un gerente de mantenimiento la confiabilidad y disponibilidad es sin duda alguna su mayor reto. Como un área de servicio que impacta directamente los procesos y productos es importante gestionar un mecanismo que permita, reducir a la mínima expresión la intervención sobre los activos, aun cuando las herramientas son ayudas para agilizar y facilitar determinadas tareas, el buen uso de estas en gran medida dependen de sí mismas y lo apropiadas que son para el trabajo, por eso deben ser diseñadas a la medida de cada necesidad. Razón por la cual esta herramienta propuesta se enfoca en el trabajo en conjunto entre el operador y el técnico para ser evaluado por los jefes de área y directivos quienes se encargaran de direccionar los recursos en justa medida y tiempo para conservar la operatividad eficiente de los activos.

4.2. Delimitación

Se desarrolló a modo de ejemplo el diseño y registro de una base de datos con la herramienta ofimática durante el periodo comprendido de junio a septiembre, a una empresa de transformación de plásticos en la ciudad de Bogotá, donde se registraran las actividades desarrolladas para una máquina de extrusión.

4.3. Limitación

El desarrollo de dicha herramienta ofimática solo es de carácter informativo ya que la alta gerencia no autorizo la exhibición de la información por políticas internas.

5. Marco conceptual

5.1. Estado del arte

Mediante el estado del arte se busca realizar una consulta que sea afín a los temas relacionados en el presente documento, que sean el punto de partida o de comparación que permita encaminar la temática tratada en el presente documento y sean el fortalecimiento del mismo. A continuación se relacionaran el estado de arte de las investigaciones en el ambiente local, nacional e internacional.

5.1.1. Estado del arte local

En el año 2010 el Ingeniero Alejandro Noriega de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, para su trabajo de grado titulado: *Diseño de un software que facilite las actividades de mantenimiento a los motores diésel instalados en una empresa de telecomunicaciones*, Para el autor de la presente tesis decidió organizar información de mantenimiento dentro de una base de datos alimentada mediante una interfaz diseñada a necesidad. En consideración con el tema actual se encontró una relación en la importancia de recopilar y analizar la información de manera de órdenes de mantenimiento, las cuales tienen como objetivo generar indicadores del cumplimiento de las actividades ordenadas. (Noriega, 2010)

En el año 2010 los Ingenieros Esteban Solano y Sandra García de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, para su trabajo de grado titulado: *Propuesta de*

mantenimiento preventivo a la industria de plástico Rucito. En relación al presente tema se destaca y se comparte el análisis mediante el cual los investigadores resaltan la importancia de manejar un lenguaje de modo de falla y orientar la información de manera clara y objetiva. (Solano & García, 2010)

En el año 2012 los Ingenieros Andrés Bello y Omar Puentes de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, para su trabajo de grado titulado: *Diseño de un plan de mantenimiento para equipos médicos*. Para los autores de la presente tesis, se resalta como determinar el grado de criticidad de los activos dentro de una organización en pro de la disponibilidad. En consideración con el tema actual se hace referencia a la necesidad de implementar los conceptos de jerarquía de equipos que se describen en la norma ISO 14224 (Bello & Puentes, 2012)

En el año 2011 el Ingeniero Leonardo Herrera de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, para su trabajo de grado titulado: *Propuesta para el manejo de la gestión de activos para la empresa Coditeq s.a.* Para el autor de la presente tesis cómo lograr que la empresa tenga sustentabilidad, y qué se pueda manifestar cómo las operaciones llevadas a cabo verdaderamente generen un valor agregado al interior de la organización. En referencia al actual tema se resalta como la ausencia de la información, el desconocimiento de antecedentes y falta del hábito industrial, afecta los activos y se hace importante priorizar la reglamentación del departamento de mantenimiento. (Herrera, 2011)

En el año 2012 los Ingenieros Gustavo Rincón y Henry Sánchez de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, para su trabajo de grado titulado: *Análisis de causa raíz (RCA) para optimizar la confiabilidad de los activos informáticos de la previsor s.a. compañía de seguros*. Para los autores de la presente tesis los ingenieros determinan las fallas más recurrentes y su análisis de causa raíz. Al ser relacionado con el actual tema de investigación se destaca la necesidad de registrar las fallas funcionales del hardware para registrar los procedimientos de solución, ayudando así a mejorar la respuesta frente a eventuales fallos. (Rincón & Sánchez, 2012)

5.1.2. Estado del arte nacional

En el año 2013 los Ingenieros Rafael Rodríguez Gallego y Cesar Roncallo Ramírez de la Pontificia Universidad Javeriana, para su trabajo de grado denominado: *Diseño de un plan maestro para la implantación del Total Productive Maintenance (TPM) en los procesos productivos de la empresa XAR Ltda.* Para los autores de la presente tesis se diseñó un plan de mantenimiento bajo el modelo (Total Productive Maintenance), por medio del cual se aspira a disminuir el costo por mantenimiento, descartando los inconvenientes en los equipos mediante acciones de inspección preventiva, control constante y programación por parte de los responsables de cada proceso. En relación con el actual tema de investigación permite sentar las bases de la reducción de costes por medio de TPM, eliminando así los problemas de los equipos mediante inspecciones preventivas. (Rodríguez & Roncallo, 2013)

En el año 2017 los Ingenieros Kevin Mier pinzón y Sergio Ruiz Olmos de la Fundación Universidad de América para su trabajo de grado denominado: *Desarrollo de un programa de mantenimiento planificado para la empresa “Industrias Payasito S.A.S.”*. Para los autores de la presente tesis se elaboró un listado de equipos teniendo en cuenta su criticidad, por este medio también se diseñaron los formatos de mantenimiento, fichas técnicas, solicitud de trabajo y hojas de vida de las máquinas, tras la recopilación de datos, se migró toda la información necesaria para poner en funcionamiento el programa Factory, analizando toda la información recopilada y los formatos diseñados, se creó un cronograma del plan de mantenimiento y las estrategias para la sostenibilidad del mismo. En referencia al actual tema de investigación se resalta la recopilación de la información y la realización de los formatos, para generar un cronograma de mantenimiento y el desarrollo de estrategias para la sostenibilidad del proyecto. (Pinzón & Olmos, 2017)

En el año 2011 la Ingeniera Andrea Holguín Valencia de la Universidad EAFIT, para su trabajo de grado denominado: *Mejoramiento de la administración del mantenimiento en industrias Estra por medio del software AM*. Para la autora de la presente tesis tiene como objetivo primordial alimentar un software de mantenimiento llamado AM que gestione correctamente las tareas de mantenimiento, sin embargo para cumplir este cometido es importante que se cumplan unas tareas previas acordes a las necesidades de la empresa y del software AM. Al ser relacionado con el actual tema de investigación, se destaca la adecuada orientación de un software para la administración y gestión del mantenimiento. Permitiendo así tomar la mejor de decisiones para la organización. (Holguín, 2011)

En el año 2008 los Ingenieros Jaime Garzón Gómez y Humberto Ramírez Dáguer

De la Universidad Tecnológica de Bolívar, desarrollaron la monografía denominada: *Diseño de software de mantenimiento correctivo y preventivo para optimizar el funcionamiento de los equipos registrados en la empresa Coolechera*. Para los autores de la presente tesis se vio la necesidad de diseñar un software de mantenimiento correctivo y preventivo acordes a las necesidades de la empresa Coolechera, ya que dicha empresa no contaba con un plan de mantenimiento y las actividades realizadas afectaban significativamente el desempeño de los equipos en lo que al mantenimiento corresponde. En referencia al actual tema se resalta como la Mediante un software de mantenimiento que facilita el manejo de mantenimientos preventivos y correctivos, mejorando la estructura del mantenimiento al interior de la compañía. (Gómez & Ramírez, 2008)

En el año 2011 la Ingeniera Karla Cristina Palomino Zuluaga de la Universidad Nacional de Colombia, para su tesis profesional denominada: *Estudio del comportamiento de la industria del software en Colombia ante escenarios de capacidades de innovación y ventajas comparativas por medio de dinámica de sistemas*. Para la autora de la presente tesis este trabajo personifica un contribución practico/técnico a la industria del Software, especialmente en Colombia. Por medio del cual se realiza un estudio del comportamiento de firmas de Software que forman parte de la industria. El estudio se lleva a cabo mediante un modelo habitual de dinámica de sistemas para el crecimiento de las firmas de software concernientes a países con economías emergentes. En relación al presente tema se destaca como la investigadora resalta la importancia de identificar las particularidades y restricciones de la industria de software en Colombia. (Palomino, 2011)

5.1.3. Estado del arte internacional

En el año 2008 los Ingenieros Fernando Mejía campos e Itzia Zamorano Porras de la Universidad autónoma del estado de Hidalgo, para su tesis profesional denominada: *Software de mantenimiento propuesto para implementarlo en el departamento de conservación del hospital general de zona No 1 del Imss*. Para los autores de la presente tesis dan a conocer el beneficio que traería la utilización del MP8 Software que se propone sea implementado en el departamento de conservación del IMSS, que contribuya al mejoramiento continuo de los procesos al interior del hospital. Se relaciona en la presente investigación la descripción de una herramienta digital y su aporte en la planificación, programación y control de los recursos asignados al departamento de mantenimiento. (Mejía & Zamorano, 2008)

En el año 2015 los Ingenieros Coello Bolaños Guido y Gallegos Cuenca Juan de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca para su tesis profesional denominada: *Desarrollo de un software para a gestión de mantenimiento de la maquinaria pesada para la prefectura del Azuay*. Para los autores de la presente tesis presentan el desarrollo de un software para la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada, permitiendo la automatización de tareas de mantenimiento preventivas facilitando un análisis estadístico de las gestiones operativas desarrolladas en las mismas. Se relaciona a la presente investigación gracias a sus aportes en la descripción de los análisis estadísticos en los activos por parte de la gestión de mantenimiento al emplear un software como herramienta. (Coello & Gallegos, 2015)

En el año 2016 Sr. Carcel Carrasco Francisco Javier publicó por medio de la revista DYNA SL- Tecnología Industrial, un artículo de investigación llamado: *Evolución histórica del mantenimiento industrial en relación a la gestión del conocimiento*. Para el autor del presente artículo quiere dar a conocer la importancia del mantenimiento industrial y la importancia del componente humano, todo ello conlleva un fuerte conocimiento que debe ser gestionado en sus fases de creación, difusión y utilización. Los indicadores (normalmente utilizados) de rendimiento de mantenimiento se sustentan en diversos pilares como son la fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, seguridad, los costes operativos, y uno fundamental para la operatividad como es el factor humano, dado el elevado conocimiento tácito que se genera en el desempeño de las funciones asignadas. Se relaciona en la presente investigación una breve revisión de la evolución del mantenimiento para definir los elementos básicos que definen su naturaleza. (Carcel-Carrasco, 2016)

En el año 2009 los Ingenieros Aitor Goti-Elordi, Miguel María Egaña-Errasti y Alfredo Iturritxa-Pérez de Albéniz de la Universidad de Mondragón, publican por medio de la revista DYNA SL- Tecnología Industrial, un artículo de investigación llamado: *Encuesta sobre el estado del mantenimiento industrial en España*. Para los autores del artículo en mención analizan el estado del mantenimiento industrial. El estudio también se centra en el nivel de aplicación de modelos que se enfoquen en la traducción de términos de mantenimiento a términos económicos. En referencia al actual tema de investigación se resalta como se establecen los vínculos entre la toma de decisiones de mantenimiento y sus consecuencias económicas, a partir de desarrollar iniciativas de mejora u optimización. (Goti-Elordi, Egaña-Errasti, Iturritxa-Pérez, 2009)

En el año 2010 el Ingeniero Valdivieso Torres Juan Carlos de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca para su tesis profesional denominada: *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa EXTRUPLAS S.A.* Para el autor de la presente tesis se evidencio la necesidad de realizar un análisis de los equipos de la planta que obtuvo como objetivo la realización de un mantenimiento más idóneo acordes a las necesidades de los mismos. Se relaciona en la presente investigación el análisis de todos los equipos en la planta y se estableció que el mejor mantenimiento es el preventivo, y no el correctivo que se estaba ejecutando. (Valdivieso-Torres, 2010)

5.2. Marco teórico

Los temas que se trataran para dar soporte a la investigación son:

- Que es mantenimiento
- Tipos de mantenimiento
- Metodología análisis de causa raíz
- Indicadores de mantenimiento
- Norma 14224
- Excelencia operacional
- Bases de datos
- Herramienta Visual Basic
- Herramienta Excel

5.2.1. ¿Qué es mantenimiento?

Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento. A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX (García, 2004). El escenario del mantenimiento ha transcurrido por diferentes períodos. Al inicio de la revolución industrial, los mismos operarios se delegaban de las intervenciones de los equipos. Cuando la maquinaria comenzó a ser más compleja y las actividades de reparación aumentaban, comenzaron a crearse los primitivos departamentos de mantenimiento, con una función específica de los operarios de producción. Las actividades eran básicamente correctivas para esta época, brindando todo su esfuerzo para corregir las fallas que se provocaban en los equipos.

5.2.1.1. ¿Por qué se debe gestionar el mantenimiento?

¿Por qué se debe tramitar la función mantenimiento? ¿No sería más fácil y más económico atender la reparación de un activo cuando se descomponga y dejar de lado el estudio de fallas, los planes de mantenimiento y los sistemas de organización, que aumentan notoriamente la mano de obra indirecta? porque es necesario tramitar el mantenimiento:

- Porque la competencia obliga a rebajar costes. Por tanto, es necesario optimizar el consumo de materiales y el empleo de mano de obra para ello es imprescindible estudiar el modelo de organización que mejor se adapta a las características de cada

planta; (García, 2004). Es preciso estudiar la influencia que presenta cada uno de los equipos en el desempeño de la empresa, de modo que se dedique una fracción de los recursos a aquellos activos que tienen una mayor influencia; es preciso indistintamente estudiar el consumo y el almacenamiento de los materiales que se emplean en mantenimiento; es imperioso incrementar la disponibilidad de los activos, no hasta el máximo posible, sino hasta el punto en que la indisponibilidad no entorpezca el plan de producción.

- Han surgido un cúmulo de técnicas que es necesario estudiar, para analizar si su implementación presumiría un incremento en los resultados de la empresa y para estudiar también cómo desenvolverse, en el caso de que se pudieran ser aplicadas. Algunas de estas metodologías son las ya expuestas como: RCM (Reliability Centered Maintenance, Mantenimiento Centrado en Fiabilidad), TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total), Sistemas GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador), diversas técnicas de mantenimiento predictivo (Termografías, Análisis de vibraciones, análisis amperimétricos, detección de fugas por ultrasonidos, entre otros).
- Los departamentos de mantenimiento necesitan las habilidades y directrices a aplicar, que sean acordes con los objetivos trazados por la dirección.

- Porque aspectos como la seguridad, la calidad y las interrelaciones con el medio ambiente han tomado una extraordinaria importancia en la gestión industrial. Es preciso tramitar estos aspectos para ser incluidos en las formas de trabajo de las dependencias de mantenimiento.

Por todas estas razones, se hace preciso puntualizar las mejores políticas y la forma de actuar, que sea acorde con los objetivos y valorar el cumplimiento identificando las oportunidades de mejora al interior del departamento de mantenimiento. En definitiva es importante gestionar el mantenimiento.

5.2.2. Tipos de mantenimiento

En esta sección se describe los diferentes tipos de mantenimiento que se aplican. El límite de cada tipo es difícil de establecerlo dado que, a excepción del mantenimiento correctivo, la finalidad de todos es la misma variando la metodología (Navarro, 1997). Los distintos tipos de mantenimiento que se puntualizan no son inadecuados entre ellos sino que se integran para conseguir un óptimo mantenimiento. Se describe concisamente las clases de mantenimiento que se emplean en la práctica y habituarse con la nomenclatura que se utiliza.

Los tres tipos de mantenimiento son los que se emplean una vez surgida la falla (correctivo), los que tratan de prevenirla o predecirla antes de su aparición (Hard time, de uso y predictivo) y los que tratan de corregirla de forma permanente (modificativo). De igual

manera se describe otro tipo de mantenimiento que en realidad no debería considerarse como tal, se trata del engrase de los activos.

Se puede clasificar de la siguiente manera:

a) Mantenimiento correctivo

b) Mantenimiento preventivo

- Mantenimiento de uso

- Mantenimiento hard time

- Mantenimiento predictivo

c) Mantenimiento modificativo

- Mantenimiento de proyecto

- Prevención del mantenimiento

- Mantenimiento de reacondicionamiento

d) Engrase de los equipos

- Mantenimiento correctivo: Es el conjunto de tareas propuestas a corregir las fallas que se van evidenciando en los diferentes activos y que son notificados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.

- Mantenimiento preventivo:** Es el mantenimiento sistemático y programado que tiene por objetivo mantener un nivel de asistencia determinado en los activos, preparando las correcciones de sus puntos más dediles al instante más oportuno.

- Mantenimiento predictivo:** Es el mantenimiento que requiere más información y análisis ya que persigue conocer y comunicar permanentemente el estado y la operatividad de los activos. Para hacer uso de este mantenimiento es necesario identificar las variables físicas como: temperatura, consumo de energía, vibración, entre otros, cuya variación sea indicativa de la falla que puedan estar surgiendo en el activo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, ya que requiere de medios tecnológicos más avanzados y de conocimientos matemáticos físicos y/o técnicos.

- Mantenimiento cero horas:** Son un conjunto de tareas cuyo propósito es examinar los activos a intervalos programados ya sea antes de que aparezca alguna falla, o bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido considerablemente de modo que resulta arriesgado hacer suposiciones sobre su capacidad productiva. Dicha intervención consiste en dejar el activo a cero horas de funcionamiento, es decir como si el activo fuera nuevo. En estas revisiones se remplazan o sustituyen todos los elementos sometidos a deterioro. Se pretende certificar con alta probabilidad, un tiempo prolongado de excelente funcionamiento.

- Mantenimiento en uso:** Es aquel que es ejecutado por los mismos operarios del activo. Radica en una serie de actividades básicas como por ejemplo: inspecciones, tomas de datos,

lubricación, ajuste de tornillos y tuercas, limpieza, entre otras. Estas actividades no requieren gran formación, sino tan solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

5.2.3. Metodologías del mantenimiento

Cuando un equipo de investigación ha realizado un Análisis de Causa de Raíz, usualmente indicado como ACR o RCA (Root Cause Analysis, por sus siglas en inglés), describe los resultados de evaluaciones detalladas de distintos aspectos de los antecedentes y condiciones que condujeron a la falla (Otegui, 2013), o un resultado indeseado. Ejemplos de resultados indeseados: anomalías, fallas, equipos rotos, problema, incidente, accidente, producto defectuoso, entre otros. Al realizar un estudio de causa de raíz, es necesario más que simplemente detectar la causa inmediatamente visible, a menudo detectar la causa inmediata. Las causas raíz son más dificultosas de ver. Sin embargo, ellas pueden favorecer significativamente al resultado indeseado y si no se corrigen, continuarán creando tipos similares de dificultades. Cada rama desarrollada durante el análisis logrará aproximadamente el equivalente nivel de causalidad.

- Causas Inmediatas: El acontecimiento que ocurrió y cualquier condición que existió inmediatamente antes del resultado indeseado, que claramente produjo su ocurrencia y, si hubiera sido modificado o eliminado, habría prevenido el resultado indeseado. Se las conoce además como causas directas.

- Causas Raíz: Cada uno de los múltiples factores (sucesos, situaciones o elementos) que generaron o contribuyeron a crear una causa inmediata y la consecuencia indeseada subsiguiente. Si hubieran sido modificadas o eliminada, se habría prevenido el resultado indeseado. Típicamente múltiples causas raíz contribuyen a un resultado no deseado.

- Análisis de Causas Raíz (RCA): Es un procedimiento estructurado de evaluación que identifica la causa raíz de un resultado indeseado, y las acciones apropiadas para prevenir su repetición. El análisis de causa raíz continúa hasta que los factores orgánicos se han identificado o hasta que los datos sean exhaustos. El RCA es un método que ayuda a los profesionales a determinar las tres preguntas definidas en el prólogo: que pasó, cómo pasó y por qué pasó. Permite también aprender de los problemas, fallas y accidentes del pasado.

El propósito del Análisis de las Causas Raíz RCA es identificar las causas raíz para que estas fallas ocultas puedan eliminarse o modificarse y puedan prevenir sus ocurrencias futuras de problemas o incidentes similares. Si el análisis de causa de raíz no se realiza y el analista sólo identifica y arregla las causas inmediatas, entonces las causas subyacentes pueden continuar produciendo problemas similares en las mismas áreas.

El análisis de causa raíz busca identificar los problemas sistémicos, como por ejemplo la falta de presupuesto de mantenimiento, y corrige éstos para que los problemas o accidentes respectivos no sucedan nuevamente. Las bases del RCA son: Definir claramente el resultado

indeseado. Recoger datos, incluso una lista de todas las causas potenciales. Crear un árbol de eventos y factores causales. Continuar preguntando “por qué” para identificar causas raíz. Verificar la lógica y eliminar elementos que no son causas. Generan soluciones que se dirigen a las causas inmediatas y a las causas raíz.

Cada causa puede ser de tres tipos:

1. Un estado del sistema, anterior a la falla como por ejemplo: un material inapropiado, defectos de fabricación, errores o fallas en los sistemas de control entre otros.
2. Un acontecimiento que ocurrió al instante de la falla y que favoreció sustancialmente a ella ejemplo: parámetros operativos por encima de los admisibles, errores en las maniobras de puesta en marcha, sobrepresiones, o salida de servicio, daño por terceros, eventos naturales.
3. Una barrera excedida, esto es, un dispositivo de seguridad que ante la ocurrencia de un evento debió haber evitado la falla, pero no lo hizo por ejemplos: una válvula de alivio ante sobre carga operativa, una evaluación no destructiva que no detecta un defecto de fabricación, entre otros.

La normativa de DOE define que cada RCA y el proceso de presentación de informes deberá incluir cinco fases diferenciadas, aunque reconoce pueda haber cierta superposición entre ellas:

- Fase I Recopilación de datos: La información que debe recopilarse consiste en situaciones antes, durante y después del incidente (evento, accidente): participación del personal, factores ambientales y toda otra información de relevancia.

- Fase II Evaluación: Incluye los siguientes pasos:
 - a. Identificar el problema.
 - b. Establecer la importancia del problema.
 - c. Identificar las causas (condiciones o acciones) inmediatamente anteriores.
 - d. Establecer las razones de estas causas, hasta llegar a las causas raíz.

- Fase III Acciones correctivas: La implementación de acciones correctivas eficaces para cada causa reduce la probabilidad de que un problema se repita y mejora la fiabilidad y seguridad.

- Fase IV Informes: Los Informes y el sistema de procesamiento (ORPS) son parte del proceso requerido por DOE. También se incluye discutir y explicar los resultados del análisis con la administración y el personal implicado, incluyendo las acciones correctivas.

- Fase V Seguimiento: El seguimiento incluye establecer si la acción correctiva ha sido eficaz en resolver los problemas. Una revisión de la eficacia es esencial para garantizar que las medidas correctivas se han implementado y se pueda prevenir la recurrencia.

5.2.3.1. Recopilación de datos documentos y registros:

La revisión de registros y documentos, o partes de documentos relevantes en el análisis de causa de fallas contienen origen y fechas asociados con revisiones. Ejemplos de documentos pertinentes (Otegui, 2013):

- Registros de las actividades de funcionamiento, registros de mantenimiento.
- Actas de reunión, órdenes de trabajo.
- Registros de reconocimiento y vigilancia.
- Datos de proceso del equipo.
- Procedimientos e instrucciones.
- Manuales del proveedor, planos y especificaciones.
- Especificación y resultados de pruebas funcionales.
- Registros de la historia de los equipos.

- Información de diseño y normativas técnicas.
- Informes de evaluación de control de calidad.
- Requisitos de seguridad operacional, informes de análisis de seguridad.
- Informes del sistema, diagramas de tendencia, parámetros de la instalación.
- Resultados de análisis de muestras (radiológico, aire, químico, etc.).

Además es posible que para un RCA el evaluador deba considerar información adicional concerniente con el diseño físico del sistema. Otro aspecto relevante, relacionado con los resultados esperados del análisis, es determinar si existe información o experiencia operativa para eventos similares en otras instalaciones. Aquí es conveniente revisar los registros del proveedor y fabricante de los equipos involucrados para determinar si se ha recibido información relacionada con el problema.

- **Parámetros de diseño:** Es importante comprender las especificaciones y parámetros de los sistemas asociados a una falla. En esencia la finalidad de revisar el diseño es implantar las particularidades determinadas en el funcionamiento del sistema. El grado de reconocimiento requerido de diseño varía con la clase de suceso o evento, y no debe ser excluida dentro de una investigación. La información se puede conseguir de cuatro fuentes: placas de equipos, especificaciones de compra, especificaciones del proveedor, manuales de operación y mantenimiento. Las instrucciones de solución de problemas del proveedor suministran información sobre

las causas más frecuentes de comportamiento anormal. El objetivo primordial de la revisión de diseño es determinar las limitaciones de diseño, condiciones de trabajo aceptables, errores posibles e índices para cuantificar la condición de funcionamiento.

- **Instalación:** Para cada máquina se tiene unos criterios y sistemas específicos de instalación que deben cumplirse de ello depende su durabilidad y buen desempeño. Deben señalarse las prácticas recomendadas, según se precisan en los documentos de referencia.
- **Entorno operativo:** El mejor enfoque está en el conocimiento de la capacidad instalada y los parámetros de funcionamiento que se consideran como variables. Por ejemplo, definir la escala de velocidades, caudales, variaciones de producto, de funcionamiento entre otras.
- **Procedimientos de operación:** Estos datos deberían examinarse para determinar las prácticas de producción real. Los sistemas de monitoreo y control automatizados aportarán la mejor base de datos para esta parte de la evaluación. Dos fuentes de referencia son necesarias para completar esta tarea: el informe de revisión de diseño y los manuales del proveedor.

- Transitorios: Procedimientos transitorios como inicio, cambio de velocidad y apagado deben evaluarse cuidadosamente. Estos procedimientos suelen causar desviaciones en calidad y tienen un impacto directo sobre la fiabilidad de los equipos.
- Prácticas operativas: La preferencia de los operadores es acudir a los atajos en las instrucciones, esta es la razón más común para algunos problemas. La indagación debe reconocer y avalar completamente aquellas operaciones reales ejecutadas por el departamento de producción para operar los activos.
- Historial de mantenimiento: El propósito consiste en elaborar un historial completo de mantenimiento programado y verídico, agregando inspecciones, lubricaciones, entre otros. Los detalles primordiales incluyen: tipos de reparación, historiales de fallas, tipos de mantenimiento preventivo, frecuencias y demás eventos que ayuden en establecer el estado de los activos y su comportamiento en el tiempo de operación.
- Procedimientos y actividades de mantenimiento: Las operaciones deben compararse con las necesidades de mantenimiento definidos por el diseño y los manuales del proveedor y luego determinar si estos procedimientos se realizan de manera oportuna y si se utilizan las técnicas apropiadas.

5.2.4. Indicadores de mantenimiento

Un KPI es una métrica de procesos trazable que nos permite tomar decisiones en pro de un objetivo de negocio establecido. Los KPI de mantenimiento deben incluir indicadores de nivel corporativo como el OEE, costes como porcentajes de reemplazo etc. (Berges, 2015). Estos indicadores posteriores financieros deben ser positivos para asegurar el apoyo de la organización a los proyectos de mejora de mantenimiento. Los indicadores deben ser empleados como referencias con empresas o áreas para propuestas de mejoras comparativas.

Los defectos en la producción y las averías de los equipos pueden tener muchas causas, la primera es la maquina es decir su diseño y fiabilidad y la segunda es el personal, en muchos casos en que se investiga una avería, frecuentemente se encuentran casos relacionados con las personas, es decir con la responsabilidad de los operadores.

Esta responsabilidad afecta directamente a ciertas condiciones que favorecen la aparición de averías en la maquinaria:

- Condiciones del equipo (su estado de suciedad y limpieza).
- Condiciones del área alrededor del equipo.
- Los operarios del equipo y su motivación.
- Pérdidas de tiempo del equipo por pequeños problemas.

Objetivo en la operatividad del equipo “cero averías, cero defectos” este objetivo tendrá como resultado una mejora en la disponibilidad para cuyo conocimiento es necesario tener en cuenta la distribución del tiempo de las maquinas:

| | | DEMANDA DE SERVICIO | |
|-------------------------------|--|--|---|
| | | Tiempo demandado (Requerido) | Tiempo no demandado (No requerido) |
| CONDICIÓN DE LA MÁQUINA | TA Tiempo de Aptitud (Disponible) | TF Tiempo de Funcionamiento | TL Tiempo Libre |
| | TI Tiempo de Ineptitud (Indisponible) | TAR Tiempo Activo de Reparación TRL Tiempo de Retrasos Logísticos | TMP Tiempo de Mantenimiento Preventivo |

Figura 1 Condición de la máquina Vs Demanda de servicio. Fuente: Autores

5.2.5. Excelencia operacional

La Excelencia Operacional tiene por objetivo “Alcanzar y mantener los más altos estándares de desempeño en las variables claves del negocio, seguridad y el medio ambiente”. Para conseguir esta excelencia es importante definir los índices críticos en cada área, instaurando unas metas de las cuales se deben cumplir o superar (Aguilera, 2009). Para ello se puede referencia el modelo de gestión donde la participación de los trabajadores de manera directa logra una mayor motivación en el desarrollo personal y del trabajo en sí.

Toda actividad o proceso tiene clientes y proveedores que prestan un servicio de apoyo o de soporte. El desempeño se calcula en relación con el cumplimiento de los requerimientos de sus clientes y obedecen a la capacidad de respuesta del proceso en sí, al igual que de los proveedores, esto se conoce como “Cliente-Proveedor” perspectiva “Horizontal” del trabajo. Sin embargo para lograr unos buenos resultados del proceso es necesario no solo cumplir con los clientes sino también hacer uso en la mejor medida de los

recursos disponibles. Para obtener un desempeño triunfante del proceso se hace alusión a la perspectiva “Vertical” del trabajo, también designada “La perspectiva del dueño”. Un desempeño que no esté a la altura del sistema puede afectar de manera radical los intereses de los clientes o en su defecto del dueño.

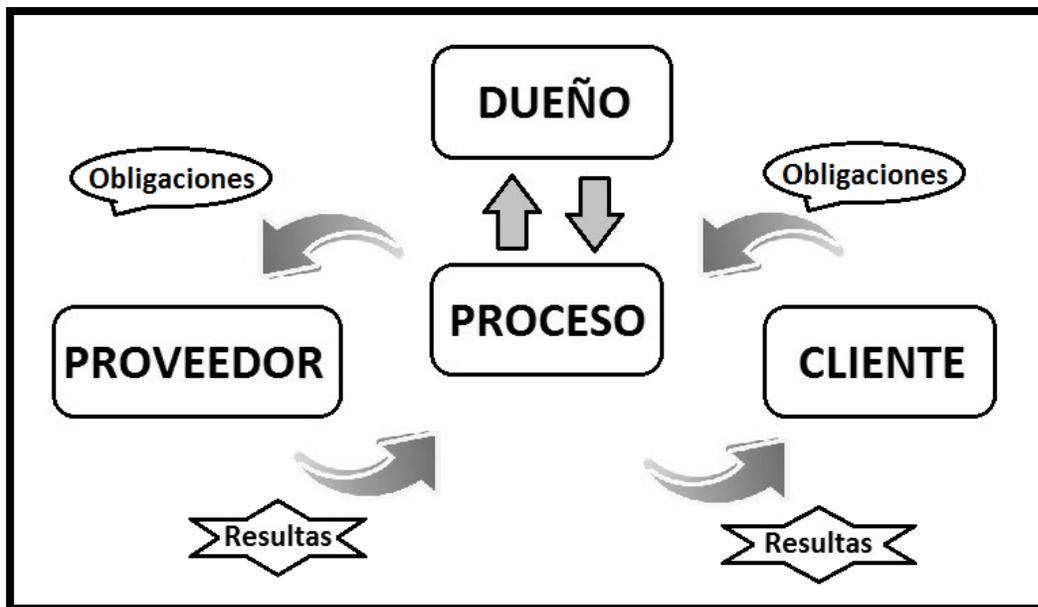


Figura 2 Cliente - Proveedor- Dueño. Fuente: Autores

5.2.6. Bases de datos

Una base de datos es un conjunto de datos almacenados en memoria externa que están organizados mediante una estructura de datos. Cada base de datos ha sido diseñada para satisfacer los requisitos de información de una empresa u otro tipo de organización, como por ejemplo, una universidad o un hospital (Marqués, 2009).

Una base de datos consiste en una colección de datos interrelacionados y a su vez un conjunto de programas para acceder a dichos datos para que pueden ser utilizados por diferentes usuarios en tiempos diferentes. En una base de datos toda la información se integra

con una cantidad de duplicidad mínima de esta manera, la base de datos no solo atañe a un único departamento sino que se comparte con el resto de la compañía. Adicionalmente se almacena una descripción de los datos recopilados. A esta descripción se le designa el nombre de metadatos, se almacena en el diccionario de datos o catálogo y es lo que consiente que exista una autonomía de datos lógica-física.

5.2.6.1. Tipos de bases de datos

- **BD Estáticas:** Son bases de datos únicamente de lectura, utilizadas primordialmente para almacenar datos históricos que posteriormente se pueden utilizar para estudiar el comportamiento de un conjunto de datos a través del tiempo, realizar proyecciones, tomar decisiones y realizar análisis de datos para inteligencia empresarial (Hernández, 2015).
- **BD Dinámicas:** Son aquellas bases de datos donde la información recopilada se transforma en el transcurso del tiempo, logrando procedimientos como actualizaciones, edición de la información y borrado, además de los procedimientos básicos de consulta. Por ejemplo, podría ser la base de datos utilizada en una tienda de autoservicio.
- **BD Jerárquicas:** Constituyen el primer modelo lógico de bases de datos que floreció. Es un modelo rígido soportado sobre una estructura de árbol con relaciones únicas de

padre/hijo, las bases de datos jerárquicas intentan modelar las relaciones jerárquicas del mundo real.

5.2.7. Visual Basic

Es un lenguaje de programación desarrollado por el alemán Alan Cooper para Microsoft. Es un dialecto de BASIC, con importantes agregados. Su primera versión fue presentada en 1991, con la intención de simplificar la programación utilizando un ambiente de desarrollo completamente gráfico que facilitara la creación de interfaces gráficas (Ecured, 2018)

Visual Basic se establece en un IDE (Integrated Development Enviroment, Entorno de Desarrollo Integrado,) que ha sido envasado como un programa de aplicación; básicamente consiste en un editor de código (En el cual se escribe el código fuente), un depurador (Un programa encargado de corregir los errores), un compilador (Un programa que traduce del código fuente a un lenguaje de máquina) y un constructor de interfaz gráfica denominado GUI (Programación de manera visual).

Las sintaxis que utiliza este lenguaje de programación proceden del conocido BASIC, pero se emplea otros comandos y códigos de lenguajes más modernos. Visual Basic tiene una función dedicada a la programación orientada a objetos. Este lenguaje es utilizado por muchas empresas debido a su simplicidad y a la facilidad del manejo de bases de datos. De

este lenguaje de programación se han derivado otros como: VBScript, Visual Basic.NET entre otros.

5.2.7.1. Entorno de Visual Basic

Las aplicaciones en Visual Basic están implantadas en objetos y se emplea un modelo de programación por eventos.

- **Barra de herramientas:** Son los comandos más utilizados y fundamentales del programa, permite el acceso rápido a ellos.
- **Diseñador de formularios:** Esta ventana es la encargada de diseñar la interfaz de la aplicación, se puede agregar texto, imágenes controles gráficos.
- **Cuadro de herramientas:** Son un conjunto de objetos o controles que se pueden agregar al formulario.
- **Ventana de propiedades:** Muestra las propiedades, atributos, valores entre otros, asociados a los objetos.
- **Lista de propiedades de los objetos:** Se muestra las propiedades de los objetos y pueden ser modificables.
- **Ventana de proyectos:** Contiene una lista de los archivos de la aplicación.
- **Ventana del editor de código:** En esta ventana se incluye el código de la aplicación, dirigido hacia un formulario o módulo de aplicación.
- **Controles básicos:** Son el conjunto de herramientas fundamentales que permiten la creación de los formularios y del entorno hombre máquina.

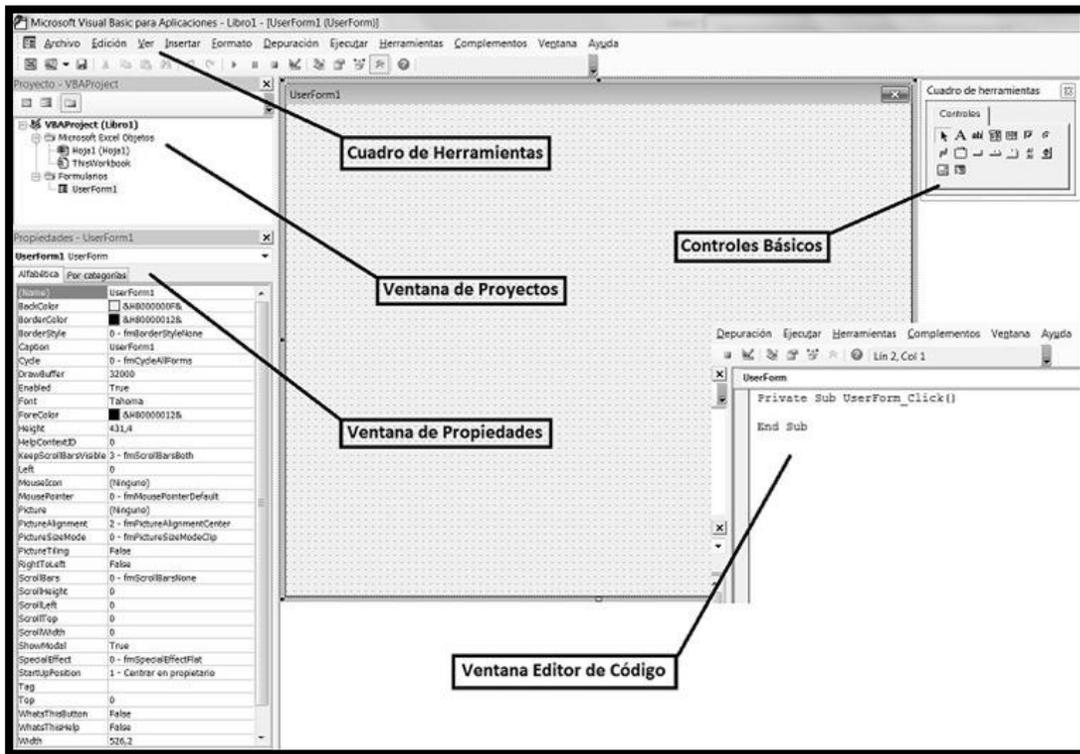


Figura 3 Entorno del programa. Fuente: Autores

5.2.7.2. Ventajas de usar Visual Basic

- Es una herramienta que puede ser aprendida fácilmente.
- Se integra al diseño de formularios de Windows.
- Admite ser usado con facilidad en las plataformas de los sistemas Windows.
- Es uno de los lenguajes de uso más accesible, por lo que resulta factible hallar información, documentación y fuentes para los proyectos.
- Fácilmente extensivo mediante librerías DLL.
- Posibilita agregar soporte para la realización de scripts, VBScript o JScript, en las aplicaciones mediante Microsoft Script Control.7
- Tiene acceso a la API multimedia de DirectX.

- Existe una versión, VBA, integrada en las aplicaciones de Microsoft Office, que consiente en programar macros para extender y automatizar funcionalidades en documentos, hojas de cálculo y bases de datos.

5.2.8. Herramienta Excel

Microsoft Excel organiza, calcula y analiza sus datos. Trabaja con los datos en una o varias hojas de cálculo de un libro. Lo nuevo en Microsoft Excel para Windows. ! Las tareas cotidianas, fáciles y rápidas. Con Autocompletar puede guardar los datos que introduzca en listas o bases de datos (Hernández, 2006). Excel es una hoja de cálculo electrónica creada por Microsoft, la cual se encuentra adentro del paquete de herramientas o programas ofimáticos denominado Office, el programa ofimático de Excel es la hoja de cálculo electrónica más extensa y usada a nivel mundial, hoy en día el trabajo de cualquier ingeniero, matemático, físico o contable tiene que ver con las aplicaciones de una hoja de cálculo de Excel.

Una hoja de cálculo electrónica se define como un programa informático combinado por filas, columnas y celdas, donde la concurrencia de las columnas y las filas son llamadas celdas, en el interior de cada celda es el lugar donde se puede escribir cualquier tipo de información que ulteriormente será procesada, siendo cada celda única en toda la hoja de cálculo.

La primordial preferencia del uso de las hojas de cálculo consiste en la posibilidad de interconectar unas celdas con otras mediante el empleo de funciones, de manera tal que si cambia el valor de una celda, automáticamente la hoja de Excel será actualizada y se recalculan los valores de las otras celdas.

5.2.8.1. Ventajas de Excel

- Presenta una interfaz rápida y segura, que permite ejecutar tareas de manera sencilla y práctica, permitiendo reducir los tiempos de trabajo y optimiza la organización al interior de la compañía lo que se traduce en productividad.
- Creación de bases de datos: esta función permite la codificación y el registro de los datos. Además puede unir toda la información que se requiera como por ejemplo: realizar horarios, calendarios, importar información entre otros.
- Inclusión de gráficos: los datos que se incorporen a la base de datos se pueden acoger en forma de gráfico. De igual manera se puede agregar organigramas, imágenes, y/o tablas.
- Fórmulas: se inserta fórmulas asociadas por familias, se dispones de más de 300 funciones que consiente en hacer un cálculo automático de las operaciones.
- Elaboración de informes: con toda la información mencionada anteriormente se pueden elaborar documentación muy detallada y completa que puede dar a lugar por ejemplo a un informe contable o de cualquier tipo.
- Trabajo en equipo: esta herramienta permite que se trabaje con varias personas en un mismo documento al mismo tiempo.

- Cambiar el aspecto de la información: Excel suministra los recursos para cambiar el aspecto de la información a fin de que sea visualmente llamativa y comprensible.
- Creación de gráficos: Excel facilita la creación de gráficos basados en la información de la hoja de cálculo y los actualiza automáticamente a medida que la información varía. Los usos que se dan en esta herramienta son imprescindibles.

5.3. Marco legal y normativo

| Norma | Descripción |
|------------|---|
| NTC 5420 | Permite especificar y evaluar la calidad de los productos software desde diferentes perspectivas por parte de aquellos agentes involucrados con la adquisición, los requisitos, el desarrollo, el uso |
| NTC 5415-1 | Contiene una explicación de cómo este modelo de calidad se puede aplicar a la Evaluación del producto de software. |

6. Marco metodológico

6.1. Recolección de la información

Hoy en día en las diferentes organizaciones el departamento de mantenimiento se dedica a “apagar incendios” en vez de atacar los problemas de raíz y afrontar sus problemas sistemáticamente. Si se tiene un sistema de prevención, la meta es mucho más fácil de alcanzar que dedicarse a reparar por reparar. Si bien modificar esta estrategia es más costosa al principio, no es tan cara como prevenir problemas a futuro en los activos.

Cuando se tiene dificultades en el área de mantenimiento se dejan de lado las siguientes consideraciones: Realizar un mantenimiento a los sistemas críticos de la compañía, llegar a una solución rápidamente, mejorar continuamente el tiempo de intervención del activo, determinar que está produciendo la falla con tanta frecuencia. Uno de los tantos problemas de mantenimiento es la falencia al no contar con un procedimiento de reporte de fallas y mantenimiento en los diferentes activos de la compañía el cual contiene los lineamientos habituales, formatos e instrucciones que las áreas de la entidad deben emplear con relación al mantenimiento preventivo y correctivo de los activos.

Un factor común en los departamentos de mantenimiento en cuanto a las dificultades para acceder a la información. Las metodologías empleadas por algunas compañías comprendían el uso de minutas de mantenimiento que eran consultadas a diario por parte de los coordinadores con el fin de verificar cuales habían sido las últimas actividades ejecutadas en los turnos anteriores por parte del personal de mantenimiento. Los inconvenientes se

presentaban cuando era necesario tener información de actividades ejecutadas meses anteriores, puesto que era necesario tener disponibilidad de tiempo para revisar en ocasiones hasta 10 minutos donde reposaba la información del último año que se almacenaba en la oficina del coordinador.

En otros casos existían boletas de mantenimiento que debían ser generadas por los operadores y respondidas por los electromecánicos, reflejan que la información se entendía mal porque no existía un lenguaje apropiado para desarrollar dichos reportes, con agravantes como la caligrafía y el aseo de los reportes. Otro caso de estudio obedece a reportes de mantenimiento que diligenciaban el personal de la planta, posteriormente se entregaban a los practicantes de ingeniería para digitalizar dicha información, y se evidenciaba aún más problemas por que quien la digitaba no comprendía los términos y terminaba acomodando los reportes a lo que este consideraba más apropiado. Otras compañías no contemplaban la necesidad de elaborar los registros de las fallas al considerar que por ser mantenimientos eventuales, tercerizados y/o por no contar con un departamento de mantenimiento propio, la información es considerada irrelevante.

6.1.1. Tipo de investigación

Para el desarrollo del presente documento se empleó la investigación documental y etnográfica (observación participativa y no participativa). Para la investigación documental se tuvo en cuenta algunos aspectos de la norma ISO 14224 de donde se extraen los criterios a tener en cuenta para la clasificación de los activos en sus diferentes subsistemas.

6.1.2. Fuentes de la obtención de la información

6.1.2.1. Fuentes primarias

Para dar inicio a una etapa de recolección de información, se recurrió a los manuales de usuario de donde se obtuvo limitada información sobre el componente en evaluación, por tal motivo se realizó una investigación sobre equipos de similar clasificación y funcionamiento, se emplearon los informes recopilados desde el inicio de la recolección de la información con la herramienta ofimática, ejecutando así un filtro sobre el componente en evaluación.

Respecto a la investigación etnográfica se presentan las experiencias adquiridas mediante la participación de diferentes departamentos de mantenimiento, como referencia del trabajo de investigación se empleara una maquina extrusora de una empresa fabricante de perfiles plásticos y los registros históricos que se logran extraer de un montaje experimental del aplicativo en un periodo de cuatro meses de evaluación de funcionamiento.

La norma ISO 14224: 2016 la cual define una cantidad mínima de información que se debe recopilar y se concentra en dos elementos principales:

- Información por categorías para su uso en diversas metodologías de análisis.
- Formato de datos estandarizado para facilitar el intercambio de información.

Se deben recopilar las siguientes categorías principales de datos:

- Datos del equipo: taxonomía de equipos, atributos del equipo.

- Datos de fallas: principal causa de falla, consecuencia de falla.
- Datos de mantenimiento: acción de mantenimiento, recursos utilizados, tiempo de inactividad.

6.1.2.2. Fuentes secundarias

Para el desarrollo del aplicativo se tiene en cuenta la herramienta Visual Basic. El diseño de los formularios tiene gran importancia, debido a que son el medio por el cual los usuarios generan los reportes y las consultas de una base de datos. Para el desarrollo de este documento se empleó la guía de soporte de Microsoft.

- Se empleó como fuente de información los artículos de Microsoft office en las ayudas de Visual para el desarrollo de formularios. <https://support.office.com/es-es/article/crear-un-formulario-en-Visual-5d550a3d-92e1-4f38-9772-7e7e21e80c6b>
- Personal técnico en una empresa de transformación de plásticos.
- Software de mantenimiento 4TUNE
- Desarrollos de bases de datos con el libro Mercedes Marqués, Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions, 2009. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/eccisp/detail.action?docID=4499125>.

6.1.3. Herramientas

Se emplearon las siguientes herramientas:

- Norma ISO 14224 (Taxonomía)
- Microsoft Excel 2013

- Microsoft Visual Basic

6.1.4. Metodología

- Para el desarrollo del primer objetivo, el cual consiste en “Especificar cuáles son los sistemas de un activo y sus posibles fallas funcionales”. Se realizó una clasificación de sistemas y subsistemas que componen los activos dentro de una empresa de procesamiento de perfiles plásticos, se emplean principios de la norma ISO 14224. Como una herramienta de clasificación, buscando orientar al interesado en la comprensión del concepto de taxonomía de activos y la identificación de las fallas funcionales en los componentes.
- Para el desarrollo del segundo objetivo “Desarrollar a partir de una herramienta de office la consulta y registro de actividades de mantenimiento sobre un activo”. Se realizó un ejemplo para el diseño de un formulario desde la herramienta Visual Basic, buscando explicar el funcionamiento de la interfaz gráfica con la base de datos.
- Para el desarrollo del tercer objetivo “Establecer la información necesaria requerida para realizar los reportes de mantenimiento”.se expone el formulario de reporte de fallas implementado para una empresa de procesamiento de perfiles plásticos y se exponen apartes de la base de datos buscando determinar si es confiable la información a partir de dicho modelo.

6.1.5. Recopilación de la información

Para el desarrollo del primer objetivo (*Especificar cuál es el sistema de un activo y sus posibles fallas funcionales.*) Se debe tener claridad sobre la distribución de los equipos y la planta donde se pretende hacer uso del aplicativo, para la aplicación de una correcta clasificación es necesario establecer códigos homologados que faciliten la descripción de los mismos, creando divisiones por sectores que faciliten la relación de la información.

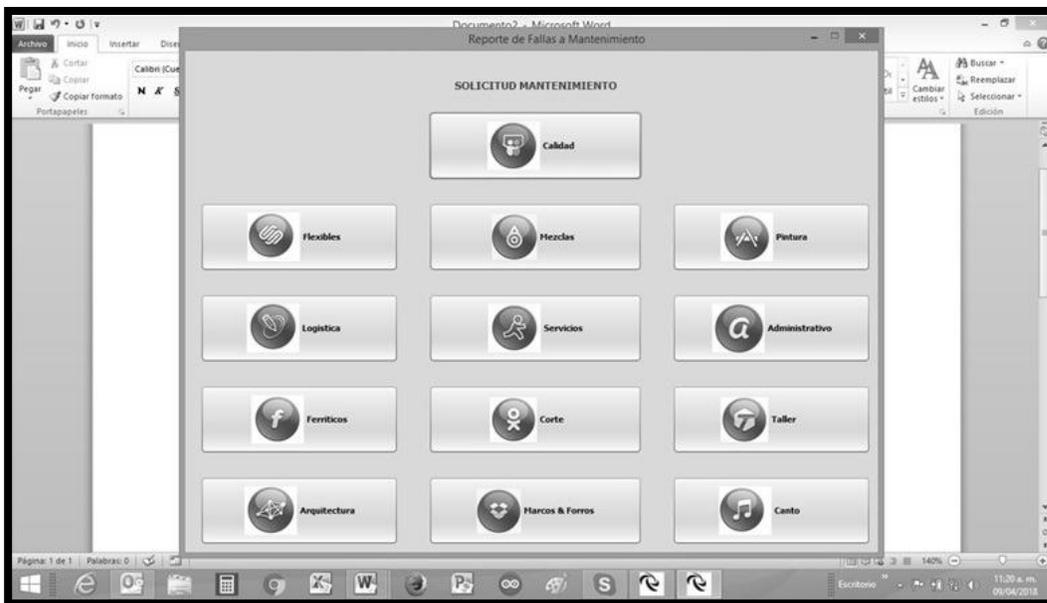


Figura 4 Ventana de acceso principal (Secciones). Fuente: Autores

Determinar estas divisiones por secciones requiere del conocimiento integral del proceso y de la compañía, se pueden emplear diagramas P&ID que describa detalladamente las funciones de cada sección en el desarrollo de un producto, incluso teniendo en cuenta áreas administrativas. Este dominio de la información facilita establecer una primera etapa de selección de activos al cual se requiere hacer una novedad en el aplicativo de mantenimiento.

Para el desarrollo del segundo objetivo (*Desarrollar a partir de una herramienta de office la consulta y registro de actividades de mantenimiento sobre un activo*) se debe contar al menos con un computador de acceso para aquellas personas encargadas de realizar los registros de novedades de funcionamiento de los activos, estas personas deben conocer la sección y los activos que le conforman. Las personas encargadas de una sección son los primeros filtros a tener en cuenta pues deben ser principal fuente de información cuando no se cuenta con la documentación técnica requerida.

Además se requiere conocer sus habilidades en el uso del computador y desarrollar el aplicativo basado en estas condiciones teniendo en cuenta que es el primer usuario y el más importante. El software a emplear es Excel del paquete office el cual por defecto facilita generación de los reportes de mantenimiento gracias a sus variadas herramientas de clasificación y organización de datos.

| Fecha | Operador | Área | Sistema | Subsistema | Tipo mantenimiento | Componente | Descripción falla | Numero orden | Requerista técnico | Recibido | Fecha hora entrega | Técnico | | |
|------------------|-------------------|--------------|----------|------------|--------------------|------------|--|--------------|--|------------|--------------------|--------------------|-----|-----------------|
| 19/02/2018 17:55 | ARMANDO CASTAÑEDA | ARQUITECTURA | MAQUINA4 | MECANICO | CORRECTIVO | SIERRA | variacion y no corta cuando daba la señal | CM2835 | SE CORRIQUE FALLA EN CONTADOR | RESPONDIDO | 20/02/2018 4:36 | NICOLAS MANCHEGO | 60 | 19/02/2018 0:00 |
| 06/02/2018 15:07 | ROBERT CIFUENTES | ARQUITECTURA | MAQUINA4 | MECANICO | PREVENTIVO | SIERRA | FABRICAR OCHO (8) ADAPTADORES DE DIA 4-1/4" A 4" PARA LOS ASPIRADORES DE LAS SIERRAS DE LAS LINEAS 3, 4, 5 Y 6 | CM2738 | SE FABRICAN OCHO (8) ADAPTADORES PARA INSTALAR EN LOS SISTEMAS DE ASPIRACION DE VIRUTA DE LAS SIERRAS DE LAS MAQUINAS 3, 4, 5, Y 6 DE ARQUITECTURA | RESPONDIDO | 22/02/2018 6:55 | JAVIER PRECIADO | 720 | 20/02/2018 0:00 |
| 16/03/2018 10:53 | FERNANDO SERRANO | ARQUITECTURA | MAQUINA4 | NEUMATICO | CORRECTIVO | SIERRA | No troquea por falta de la valvula. | CM2996 | SE DEJA VALVULA DE POTENCIA ORIGINAL DEL SISTEMA Y SE DEJA EN OPERACION | RESPONDIDO | 21/03/2018 7:16 | JORGE SAAVEDRA | 10 | 30/03/2018 0:00 |
| 23/03/2018 3:17 | FERNANDO SERRANO | ARQUITECTURA | MAQUINA4 | NEUMATICO | CORRECTIVO | SIERRA | se percibe fallo en sistema de aire sierra a medio camino | CM3019 | se realiza inspeccion de fallo en sierra se alteran presiones de aire y reponen en cilindro neumatico se aconseja mantenimiento y cambio de empaques de los mismos | RESPONDIDO | 23/03/2018 3:26 | KRISTIAN GONZALEZ | 60 | 23/03/2018 0:00 |
| 09/07/2018 16:54 | FERNANDO SERRANO | ARQUITECTURA | MAQUINA4 | ELECTRICO | CORRECTIVO | SIERRA | No prende el motor de la sierra. | CM3446 | se encuentra motor en dos fases, se procede a ajustar conexion de motor | RESPONDIDO | 09/07/2018 21:26 | JORGE SAAVEDRA | 60 | |
| 16/07/2018 12:57 | FERNANDO SERRANO | ARQUITECTURA | MAQUINA4 | ELECTRICO | CORRECTIVO | SIERRA | La sierra no sube total. | CM3475 | IDENTIFICAMOS FALLA EN CILINDRO DE AVANCE, ORDEN REPETIDA | RESPONDIDO | 17/07/2018 16:45 | HUGO SALAZAR | 1 | |
| 08/08/2018 16:08 | ROBERT CIFUENTES | ARQUITECTURA | MAQUINA4 | NEUMATICO | CORRECTIVO | SIERRA | Habilitar maquina sistema neumatico para troquelar wire. | CM3563 | SE RESPONDERA CON LA CM3569 | RESPONDIDO | 29/08/2018 6:54 | RICARDO ECHEVERRIA | 5 | 28/08/2018 0:00 |
| 20/06/2018 7:36 | ROBERT CIFUENTES | ARQUITECTURA | MAQUINA4 | MECANICO | CORRECTIVO | SIERRA | Sistema de aspiracion no recoge el sisco | CM3368 | LIMPIEZA DE TODO EL SISTEMA DE RECOLECCION DE VIRUTA, DESOCUPAR TODAS LAS BOLSAS DE RECOLECCION DE VIRUTA DE TODAS LAS MAQUINAS | RESPONDIDO | 04/09/2018 6:42 | JORGE SAAVEDRA | 360 | 01/09/2018 0:00 |

Figura 5 Tabla de Excel. Fuente: Autores

Se debe contar con el concepto de taxonomía, el cual se encuentra en la norma ISO 14224, que establece aspectos importantes a la hora de tomar decisiones que afecten o encausen la generación de los reportes de mantenimiento, permitiendo así que se tomen medidas más asertivas.

La principal fuente de información serán los manuales de los equipos, y el personal con conocimientos técnicos en el funcionamiento del activo, deberá hacer diferentes inspecciones al activo para determinar su estado de originalidad y documentar las modificaciones si se hallan evidencias de estas, se debe incluir aquellos periféricos que complementan el funcionamiento de un activo y que no se encuentran relacionados en los manuales.

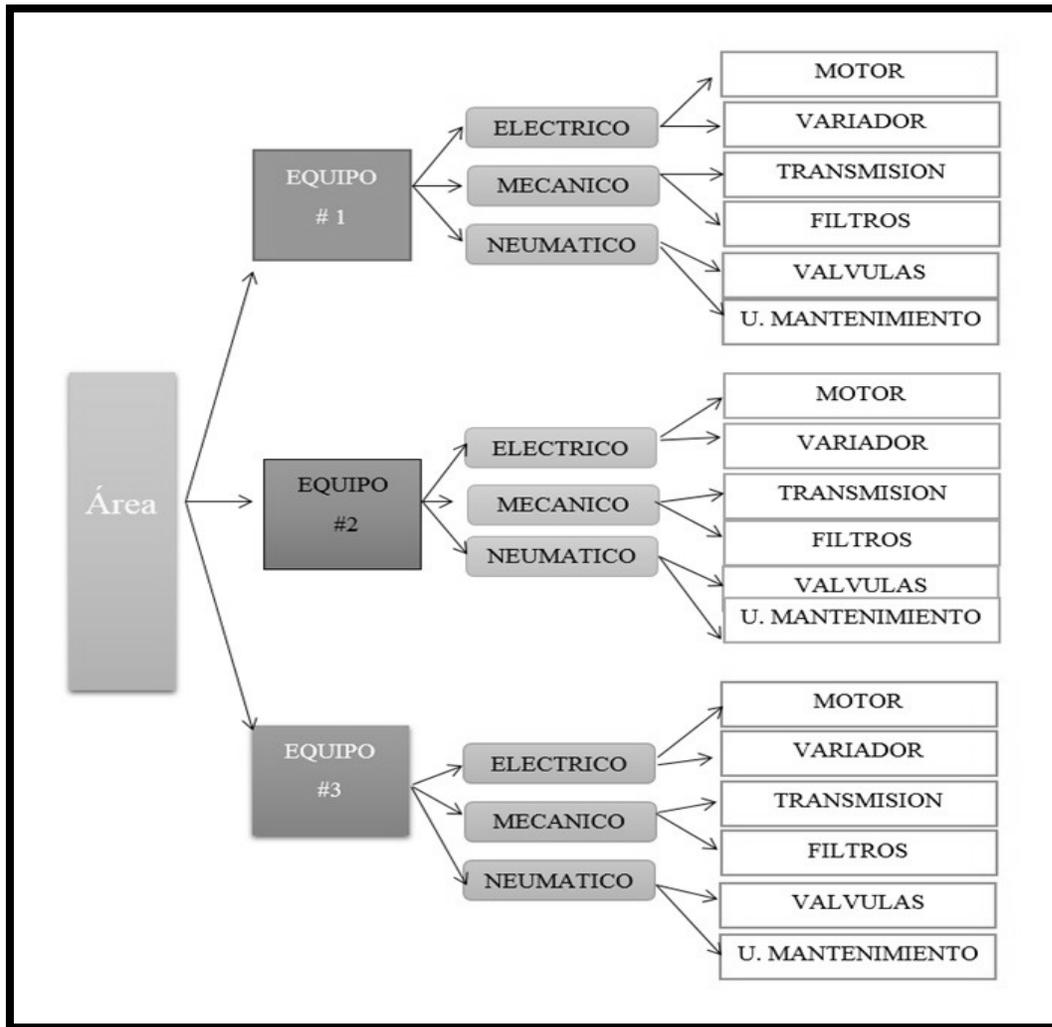


Figura 6 Representación gráfica de la división de área, sistemas, subsistemas y componentes. Fuente: Autores

6.2. Análisis de la información

Identificar el vacío de aquello que sucede en un departamento de mantenimiento, cuando no se registran los eventos concernientes a los activos y las mejoras generadas operativa y/o administrativa, a partir del conocimiento de dicha información permite poder

trazar una ruta de trabajo, basada en eventos históricos pudiendo ser el canal que conduzca a mejorar la disponibilidad y la confiabilidad de los activos en un entorno empresarial.

Esta herramienta ofimática plantea un canal de comunicación entre las áreas operativas y administrativas encargadas de mantener en óptima operación los diferentes activos, esta tiene como característica permitir tomar decisiones, y debe ser desarrollada para los operadores, técnicos y administrativos, cada uno tiene una función específica del funcionamiento del aplicativo, el operador reportar cada evento, el técnico informa la solución acerca del mismo y el administrador analiza la información y toma medidas para que no se convierta en un evento recurrente que dificulte los programas de producción.

Los recursos a tener en cuenta son el software y hardware ya descritos, pero en esencia la disponibilidad del personal en asistir a las capacitaciones y garantizar su participación en el desarrollo de la herramienta. Se debe exponer el objetivo principal de este desarrollo en las personas involucradas y las ventajas que este presentan frente al desconocimiento de las condiciones de los activos.

La herramienta ofimática es de aplicación individual a las necesidades de cada entorno, lo que genera una mayor comprensión y sentido de pertenencia sobre la misma, se debe crear una cultura de reportar los eventos y que estos puedan ser analizados y solucionados de forma definitiva. A partir del ejercicio práctico que se implementó en una

empresa de procesamiento de plásticos se presenta un ejemplo del desarrollo del aplicativo y la recopilación de la información.

| Fecha | Operador | Área | Sistema | Subsistema | Tipo mantenimiento | Componente | Descripción falla |
|------------------|-------------------|--------------|----------|------------|--------------------|------------|---|
| 19/02/2018 17:55 | ARMANDO CASTAÑEDA | ARQUITECTURA | MAQUINA4 | MECANICO | CORRECTIVO | SIERRA | variación y no cortaba cuando daba la señal |
| 06/02/2018 15:07 | ROBERT CIFUENTES | ARQUITECTURA | MAQUINA4 | MECANICO | PREVENTIVO | SIERRA | FABRICAR OCHO (8) ADAPTADORES DE DIA. 4-1/4" A 4" PARA LOS ASPIRADORES DE LAS SIERRAS DE LAS LINEAS 3,4,5 Y 6 |
| 16/03/2018 10:53 | FERNANDO SERRANO | ARQUITECTURA | MAQUINA4 | NEUMATICO | CORRECTIVO | SIERRA | No troquea por falta de la valvula. |
| 23/03/2018 3:17 | FERNANDO SERRANO | ARQUITECTURA | MAQUINA4 | NEUMATICO | CORRECTIVO | SIERRA | se percibe fallo en sistema de aire sierra a medio camino |

Figura 8 Tabla de Excel registro de fallas en un activo. Fuente: Autores

En la figura No 8 se observa una clasificación por área (producción arquitectura) sistema (extrusora máquina 4) subsistemas (eléctricos y mecánicos) y componente (mesa de corte “sierra”). La aplicación se incorporó a partir de marzo 2017 y funciona a la fecha, con un registro de 3095 órdenes de mantenimiento, para análisis de información se relacionan las órdenes almacenadas para la maquina 4 en su componente mesa de corte del año 2018.

| Mes | # órdenes generadas | Mes | # órdenes generadas |
|------------|---------------------|------------|---------------------|
| Febrero | 166 | Diciembre | 200 |
| Marzo | 146 | Enero | 331 |
| Abril | 151 | Febrero | 210 |
| Mayo | 143 | Marzo | 121 |
| Junio | 251 | Abril | 140 |
| Julio | 240 | Mayo | 148 |
| Agosto | 266 | Junio | 90 |
| Septiembre | 292 | Julio | 130 |
| Octubre | 288 | Agosto | 124 |
| Noviembre | 225 | Septiembre | 69 |

Tabla 1 Meses Vs No de Ordenes. Fuente: Autores

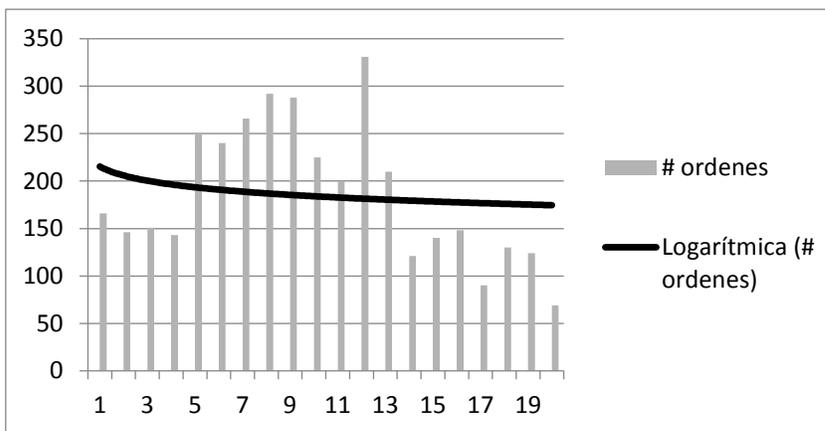


Figura 7 Relación de los meses Vs el número de órdenes gráficamente. Fuente: Autores

Como se observa en la tabla No 1 y en la figura No 7 se presenta la cantidad de órdenes en el mes, esta es la representación gráfica de la disponibilidad de los equipos en la planta. Cada una de estas órdenes de servicio permite alimentar una base de datos, que posteriormente será analizada y fortalecerá el mantenimiento en cada uno de sus aspectos, ya sea preventivo o correctivo.

Durante el proceso de recolección de la información se evidencio problemas a la hora de relacionar la falla del activo, donde se requerían repuestos para cuatro o tres máquinas de manera independiente se realizaban la solicitud para una sola. Se comprobó como un error debido a cada sistema demanda un reporte de mantenimiento independiente. En general el análisis de las fallas restantes corresponde a su naturaleza y orden.

Para la siguiente propuesta se determinó un valor de \$ 5.760.000 aproximadamente, que se estarían contemplando básicamente las horas de trabajo de dos ingenieros para llevar a cabo dicha actividad.

6.3. Propuesta de solución

Se propone un aplicativo que permite conocer las intervenciones sobre los activos y los tiempos de ejecución de las actividades de mantenimiento. Para ellos se debe generar una cultura de reporte de fallas en una organización que no cuenta con el hábito ni las herramientas, es sin duda alguna el principio de un gran reto, para ello el aplicativo y la interacción de los diferentes departamentos busca generar un canal de comunicación más efectivo.

La siguiente propuesta se aplicará mediante el programa Excel. Esta herramienta permite crear bases de datos y puede ser administrada por un programa adicional denominado Visual Basic, esta aplicación permite obtener una interfaz gráfica más amigable con el usuario y facilita la generación de reportes y su posterior consulta.

Para lograr la implementación se debe tener claridad sobre los activos y su respectiva clasificación, es decir la taxonomía es fundamental para lograr un buen desempeño y la eficiencia a la hora de obtener resultado de mantenimiento mediante la herramienta ofimática expuesta. A continuación se indicarán los pasos para llevar a cabo dicha propuesta donde el Excel y Visual Basic son fundamentales en la elaboración de los formularios y bases de datos.

Que hacer: Como primera medida se hace claridad en los activos que conforman el proceso que se evalúa, de estos se aplica el concepto de taxonomía para discriminar sus sistemas y subsistemas a fin de conocer el estado de funcionamiento de los activos mediante los registros históricos generados de la puesta en marcha del aplicativo.

Como caso práctico se identificaron las diferentes etapas en la transformación de un polímero, estas etapas se categorizaron respecto a las diferentes secciones de la planta de producción. Para describir a grandes rasgos la distribución de una planta y los activos involucrados se dividieron por secciones y se describió brevemente su funcionamiento y el objetivo por sección:

- Inicialmente se reciben las materias primas que se almacenan en espacios asignados para luego ser dosificados según la característica de un producto en una mezcladora de alta velocidad, para llegar a este punto se requiere haber formulado en un software de control que deposita las cantidades programadas de cada compuesto para iniciar la mezcla, a esta primera etapa

se le conoce como plantas de compuestos o mezclas. Al identificar esta primera etapa del proceso fue necesario hacer un primer filtro de jerarquización.

- Una segunda familia de equipos se contempla bajo el área de servicios y está conformada por los suministros eléctricos (subestaciones) circuitos de agua, refrigeración y aire comprimido. Que abastecen en común los sistemas y subsistemas de todos los equipos de un proceso.
- La siguiente familia que se identificó fue la de procesos y esta a su vez se dividió por sectores donde se hace referencia a los tipos de producto que se fabrican. Pero donde se encuentran factores comunes que permiten relacionarlas en una misma locación.
- Se contempla incluir aquellos equipos que hacen parte de las áreas administrativas como una nueva familia.
- El área de logística encargada de manejo del producto final y los cuales también tienen equipos en custodia como son estibadores y montacargas.

- Otra familia de equipos es el área de control de calidad que de igual manera hace uso de equipos de laboratorio los cuales también son incluidos dentro del inventario previo de activos de cualquier empresa.
- Departamento de mantenimiento también se describe como una familia, debido a que en el departamento se encuentran equipo, máquinas y herramientas que también requieren de un seguimiento y una caracterización.

Como se describió con anterioridad se crearon familias según su actividad:

- A. Planta materias primas. (también llamadas mezclas o compuestos)
- B. Áreas de servicios.
- C. Área de producción.
- D. Área de logística.
- E. Área administrativa.
- F. Área de calidad. (laboratorios)
- G. Área de mantenimiento.

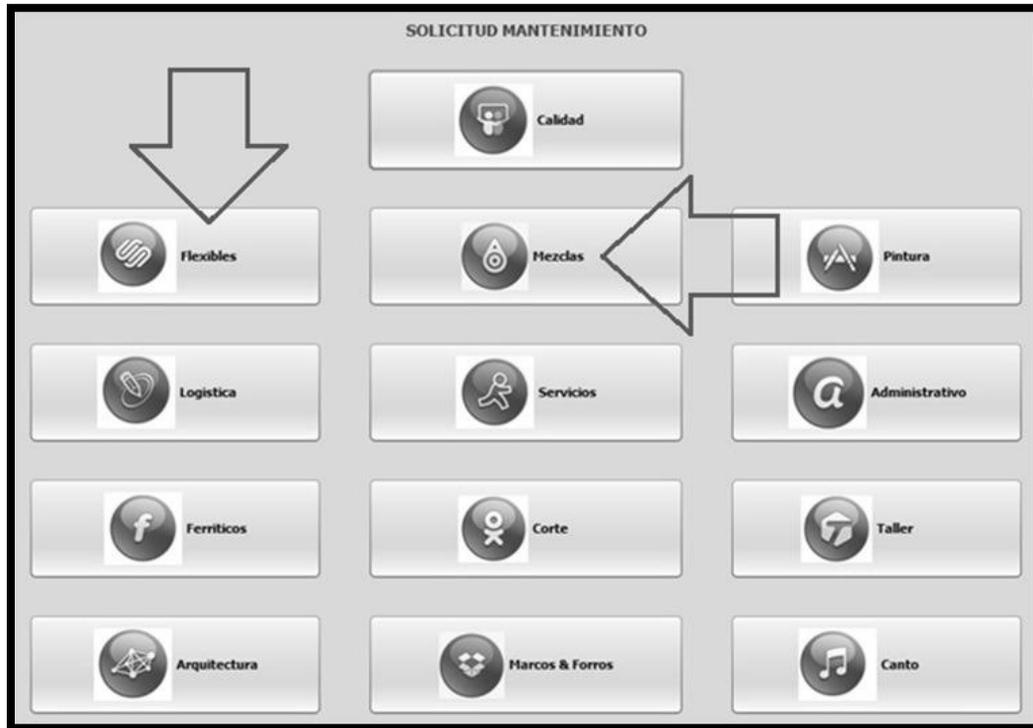


Figura 7 Secciones. Fuente: Autores

Como se muestra en la figura No 8 se realizó una sectorización de las secciones y se asignó una imagen que le identifique.

La segunda etapa consiste en identificar los sistemas que conforman el área para luego elaborar el listado correspondiente. Teniendo en cuenta la “planta de compuestos” como la primera área, ahora se describe su funcionamiento mediante un diagrama de flujo.

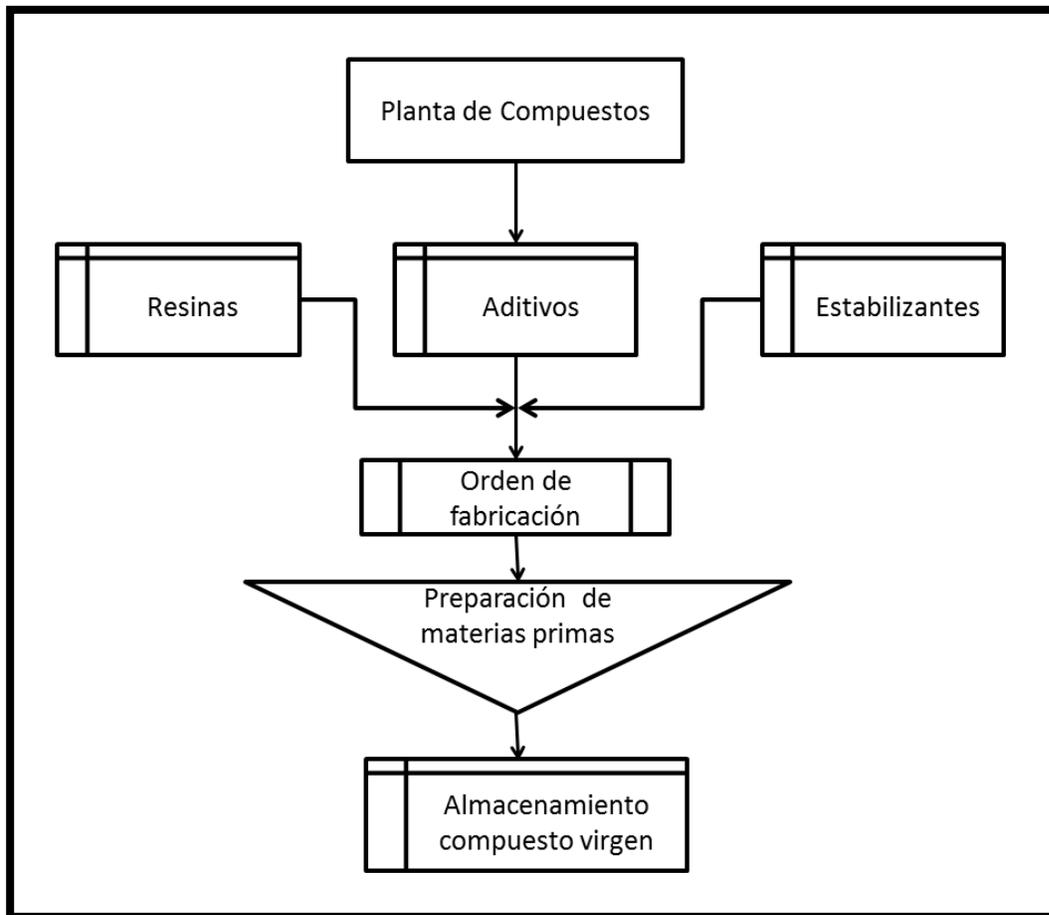


Figura 8 Diagrama de flujo. Fuente: Autores

En la figura No 9 se describe el diagrama de flujo de la planta de mezclas para el procesamiento de los polímeros. Luego se identifica los sistemas con sus respectivos subsistemas los cuales componen dicha área en mención, y para ello se clasifican los equipos en nuevos grupos.

Transportes de materias primas:

Sistemas de vacío (blower)

Eléctrico

- Motor eléctrico
- Circuito eléctrico

Mecánico

- Compresor
- Correas
- Poleas
- Filtro aire

Sistemas de transporte de presión positiva

Mecánico

- Acumulador de aire
- Válvula mariposa descarga
- Válvula mariposa de carga

Neumático

- Válvulas direccionales neumáticas
- Unidad de mantenimiento.

Almacenamiento materias primas y compuestos vírgenes.

Mecánico

- Silos
- Pre filtros
- Filtros
- Tolvas de alimentación
- Válvula de carga
- Válvula descarga

Sistemas de pesaje y dosificación

Mecánico

- Sensores de peso

Eléctrico

- Basculas
- Tarjetas electrónicas
- Módulos de comunicación

Tornillos sin fin de dosificación.

Mecánico

- Tornillo sin fin

Eléctrico

- Variador de frecuencia
- Motor eléctrico

Control de mezclas

Eléctrico

- Plc
- HDMI
- Estación de mando (pc)

Mezcla de materia prima

Eléctrico

- Variador de frecuencia
- Motor eléctrico
- Sensores de temperatura
- Válvula de descarga

Mecánico

- Turbo mezclador
- Transmisión
- Aspas agitadoras

Enfriador

Eléctrico

- Variador de frecuencia
- Motor eléctrico
- Sensores de temperatura
- Válvula de descarga

Mecánico

- Olla refrigeración
- Transmisión
- Aspas agitadoras

Hasta este punto se aplicaron las divisiones de área, sistema y subsistema dentro de una planta de mezclas. Siguiendo el mismo concepto en cada área de una empresa se logra obtener una clasificación adecuada para comenzar la siguiente etapa.

La identificación de las fallas funcionales, las cuales permiten homologar el lenguaje con los que todos se refieren a un reporte de mantenimiento, la importancia radica en eliminar las interpretaciones por parte de quienes ejecutan los reportes generando así datos más confiables y puntuales.

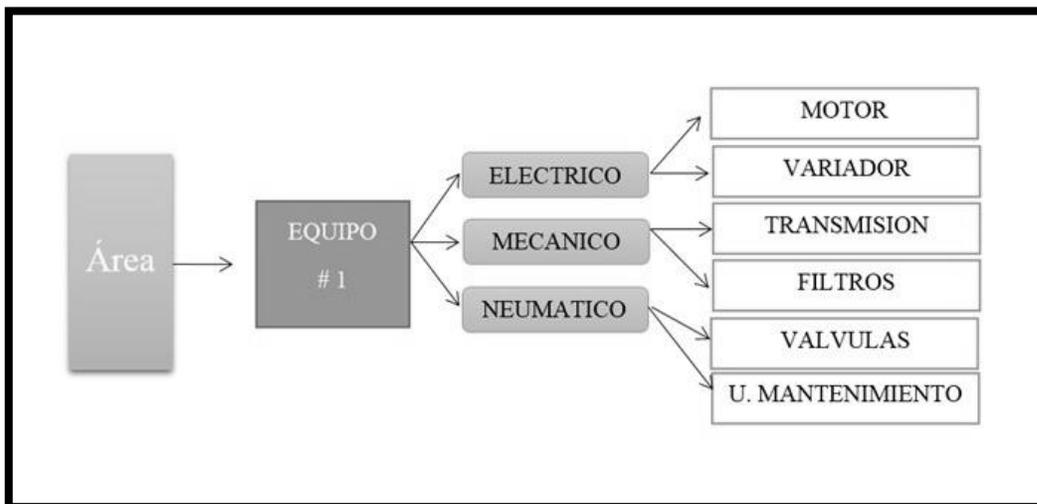


Figura 9 Representación gráfica de la división de área, sistemas, subsistemas. Fuente: Autores

Como hacerlo: Haciendo uso del software Excel, se pueden crear una base de datos empleando herramientas de programador como Visual Basic y una interfaz gráfica que agilice el reporte de la información y su posterior consulta, esta base de datos se desarrolla a partir de los requerimientos de cada usuario. Se debe desarrollar un formulario desde Excel habilitando la barra de programador o desarrollador. Para habilitar la pestaña de Visual Basic se debe acceder a las Opciones de Excel, posteriormente desplazarse a la casilla de Personalizar la cinta de opciones y marcar el recuadro de Desarrollador y aceptar.

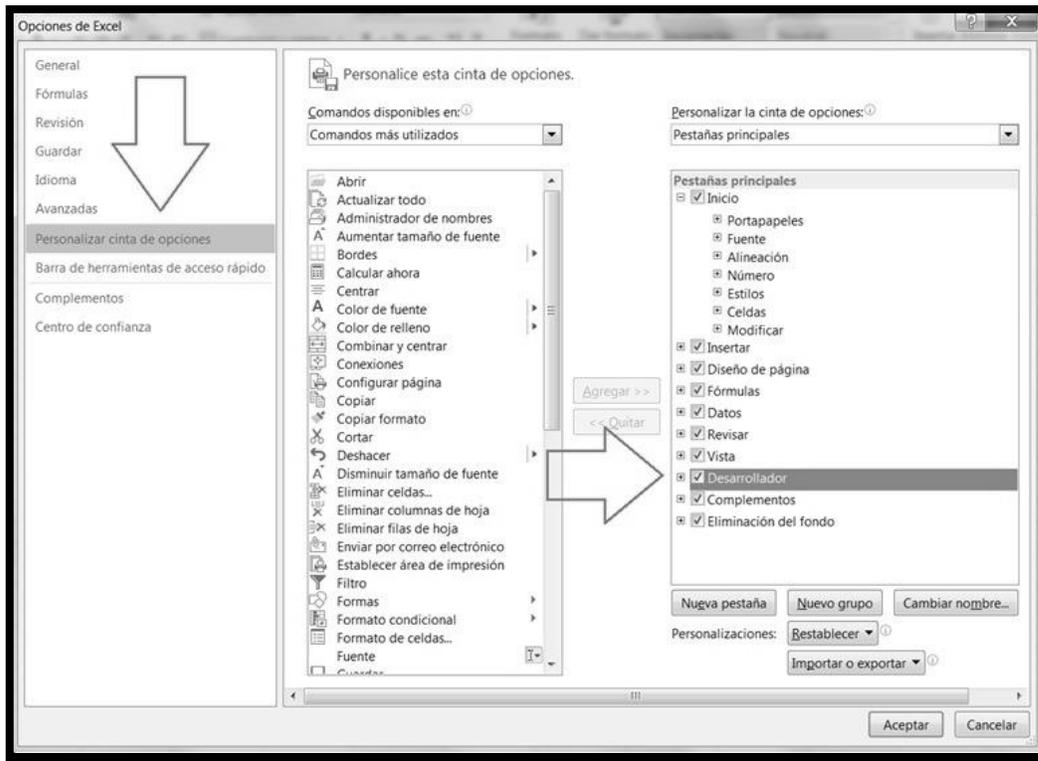


Figura 10 Habilitar casilla del programador. Fuente: Autores

Posteriormente en la pestaña del programador, se habilito la casilla de Visual Basic

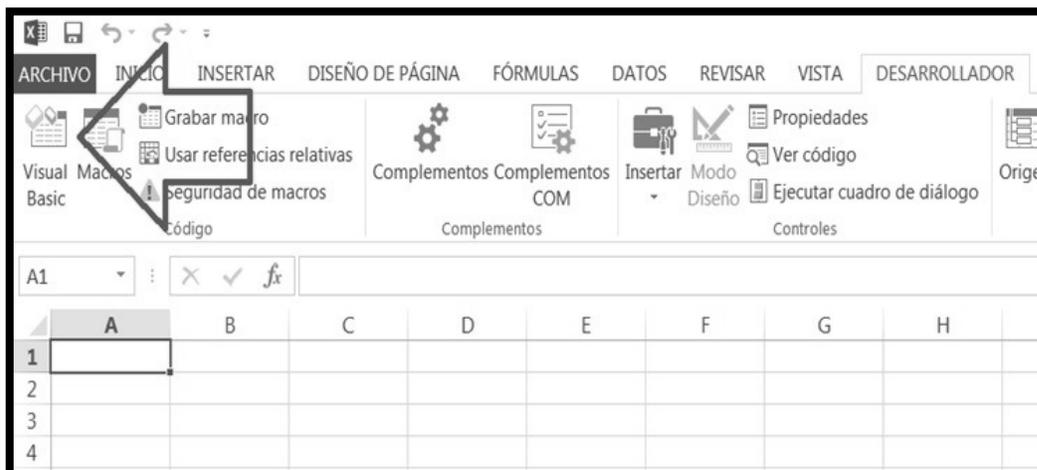


Figura 11 Habilitar casilla de Visual Basic. Fuente: Autores

Luego de acceder a la ventana de Visual Basic, se procede a ubicar la pestaña denominada Insertar, en ella se encuentra 4 herramientas y se procede a seleccionar UserForm

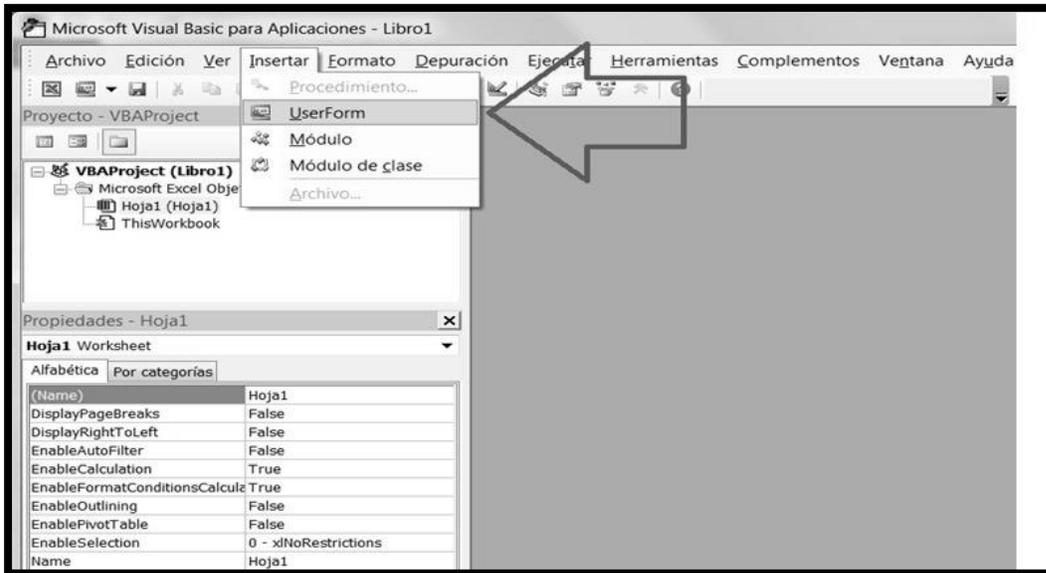


Figura 12 Habilitar casilla de UserForm. Fuente: Autores

Luego aparece la ventana donde se desarrolla el formulario.

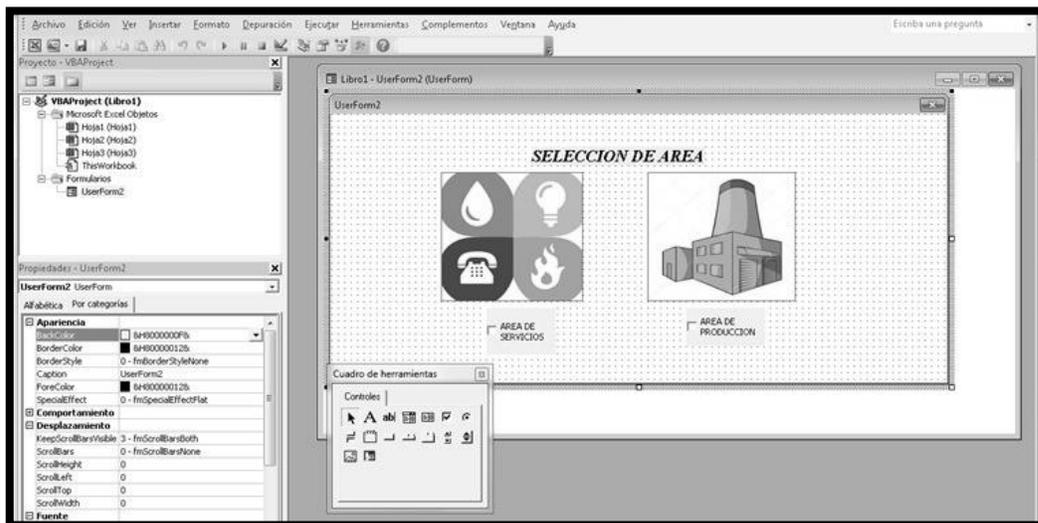


Figura 13 Herramientas del formulario. Fuente: Autores

Etiqueta A: Con esta herramienta se coloca el título al cuadro de selección de área, en el costado izquierdo de la pantalla aparece un listado de atributos del recuadro donde se selecciona el tipo de fuente tamaño color.

Casilla de verificación: Es el símbolo de visto bueno, esta herramienta sirve para seleccionar el área donde se ejecutara el reporte o solicitud de mantenimiento.

Para identificar el área se insertó una imagen; seleccionando en el cuadro de herramientas insertando la imagen, en el costado izquierdo se puede editar los atributos de la imagen. Luego se ejecuta el formulario con el símbolo Play de color verde en la barra de herramientas.

Botón de comando: este botón confirma la orden y direcciona el siguiente paso en el reporte de mantenimiento. Se puede editar con las funciones de la ventana inferior izquierda en sus propiedades: fuente, tamaño y color.



Figura 14 Apariencia final del formulario. Fuente: Autores

Para desarrollar una orden de mantenimiento y su posterior formato de respuesta se deben contemplar los siguientes aspectos. Para el ejercicio práctico se desarrolló una plantilla de mantenimiento que contiene la siguiente información:

Código: corresponde al consecutivo o número de ticket que el sistema le concede a la orden que se comienza a generar.

Fecha: la fecha se genera automáticamente y se encuentra sincronizada con el ordenador, esta fecha corresponde a la elaboración de la orden y se almacena junto con la hora.

Daño: se refiere a los subsistemas que determinan la composición de un activo

| CODIGO | FECHA | OPERADOR | DAÑO | TIPO_MANT | MAQUINA | SIST_FALLA | DESC_FAL | RESPUESTA | ESTADO | FECHA_ES | TECNICO |
|--------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|----------|------------|-----------|
| CM0170 | 2017-03-01 | ROBERT CL | ELECTRICO | PREVENTI | 4 COMPRE | 2 ENERGIA | FABRICACI | REPORTA | REPORTA | 2017-03-13 | null |
| CM0114 | 2017-02-21 | SUSANA R | NO_APLICA | CORRECTI | NO_APLICA | OTRO | REACTIVA | EL SISTEM | RESPONDI | 2017-03-13 | null |
| CM0289 | 2017-03-27 | ROBERT CL | MECANICO | PREVENTI | MAQUINA4 | CURADO | INSTALACI | REPORTA | REPORTA | | |
| CM0290 | 2017-03-27 | ROBERT CL | MECANICO | PREVENTI | MAQUINA5 | CURADO | INSTALACI | REPORTA | REPORTA | | |
| CM0301 | 2017-03-29 | WILSON ZA | MECANICO | CORRECTI | MAQUINA 51 | CORTADOR | CAMBIO DE | SE MONTA | RESPONDI | 2017-04-05 | JAVIER PR |
| CM0367 | 2017-04-11 | NUBIA GAR | ELECTRICO | CORRECTI | OTROS | CALENTAM | No hay esta | SE INSTAL | RESPONDI | 2017-04-18 | RICARDO |

Figura 15 Selección de subsistema. Fuente: Autores

Sistema en falla: En esta pestaña se encuentra determinado el sistema del activo que presenta la falla funcional.

| CODIGO | FECHA | OPERADOR | DAÑO | TIPO_MANT | MAQUINA | SIST_FALLA | DESC_FAL | RESPUESTA | ESTADO | FECHA_ES | TECNICO |
|--------|------------|-------------|-----------|-------------|-------------|------------|----------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| CM0170 | 2017-03-01 | ROBERT CL | ELECTRICO | PREVENTI... | 4 COMPRE... | 2 ENERGIA | FABRICACI... | | REPORTA... | | |
| CM0114 | 2017-02-21 | SUSANA R... | NO_APLICA | CORRECTI... | NO_APLICA | OTRO | REACTIVA... | EL SISTEM... | RESPONDI... | 2017-03-13 | null |
| CM0289 | 2017-03-27 | ROBERT CL | MECANICO | PREVENTI... | MAQUINA4 | CURADO | INSTALACI... | | REPORTA... | | |
| CM0290 | 2017-03-27 | ROBERT CL | MECANICO | PREVENTI... | MAQUINA5 | CURADO | INSTALACI... | | REPORTA... | | |
| CM0301 | 2017-03-29 | WILSON ZA | MECANICO | CORRECTI... | MAQUINA 51 | CORTADOR | CAMBIO DE... | SE MONTA... | RESPONDI... | 2017-04-05 | JAVIER PR... |
| CM0367 | 2017-04-11 | NUBIA GAR | ELECTRICO | CORRECTI... | OTROS | CALENTAM | No hay esta... | SE INSTAL... | RESPONDI... | 2017-04-18 | RICARDO ... |

Figura 16 Descripción de sistemas de un activo. Fuente: Autores

Tipo de mantenimiento: en este espacio se puede elegir si la tarea se requiere de manera preventiva o correctiva.

| CODIGO | FECHA | OPERADOR | DAÑO | TIPO_MANT | MAQUINA | SIST_FALLA | DESC_FAL | RESPUESTA | ESTADO | FECHA_ES | TECNICO |
|--------|------------|-------------|-----------|-------------|-------------|------------|----------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| CM0170 | 2017-03-01 | ROBERT CL | ELECTRICO | PREVENTI... | 4 COMPRE... | 2 ENERGIA | FABRICACI... | | REPORTA... | | |
| CM0114 | 2017-02-21 | SUSANA R... | NO_APLICA | CORRECTI... | NO_APLICA | OTRO | REACTIVA... | EL SISTEM... | RESPONDI... | 2017-03-13 | null |
| CM0289 | 2017-03-27 | ROBERT CL | MECANICO | PREVENTI... | MAQUINA4 | CURADO | INSTALACI... | | REPORTA... | | |
| CM0290 | 2017-03-27 | ROBERT CL | MECANICO | PREVENTI... | MAQUINA5 | CURADO | INSTALACI... | | REPORTA... | | |
| CM0301 | 2017-03-29 | WILSON ZA | MECANICO | CORRECTI... | MAQUINA 51 | CORTADOR | CAMBIO DE... | SE MONTA... | RESPONDI... | 2017-04-05 | JAVIER PR... |
| CM0367 | 2017-04-11 | NUBIA GAR | ELECTRICO | CORRECTI... | OTROS | CALENTAM | No hay esta... | SE INSTAL... | RESPONDI... | 2017-04-18 | RICARDO ... |

Figura 17 Tipo de mantenimiento solicitado. Fuente: Autores

Estado: dentro de esta casilla se puede elegir si el trabajo ejecutado se encuentra reportado para ejecución o si luego de ser intervenido este no garantiza su condición de

funcionamiento. El operador podrá determinar dicho trabajo como no aprobado dejando así pendiente para una segunda intervención.

Formulario de registro de incidencias:

CODIGO: CM3059 FECHA: 2018-04-09 11:22:06

DAÑO: [] TIPO_MANT: [] OPERADOR: []

SISTEMA EN FALLA: [] ESTADO: REPORTADO MAQUINA: []

DESC_FALLA: []

Por favor indicar en la descripción, si la máquina está parada ó en funcionamiento

Botones: NUEVO, GUARDAR, ACTUALIZAR, CANCELAR, BUSCAR

| CODIGO | FECHA | OPERADOR | DAÑO | TIPO_MANT | MAQUINA | SIST_FALLA | DESC_FALLA | RESPUESTA | ESTADO | FECHA_ES | TECNICO |
|--------|------------|-----------|-----------|-------------|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| CM0170 | 2017-03-01 | ROBERT CI | ELECTRICO | PREVENTI... | 4 COMPRE | 2 ENERGIA | FABRICACI... | | REPORTA... | | |
| CM0114 | 2017-02-21 | SUSANA R. | NO_APLICA | CORRECTI... | NO_APLICA | OTRO | REACTIVA... | EL SISTEM... | RESPONDI... | 2017-03-13 | null |
| CM0289 | 2017-03-27 | ROBERT CI | MECANICO | PREVENTI... | MAQUINA4 | CURADO | INSTALACI... | | REPORTA... | | |
| CM0290 | 2017-03-27 | ROBERT CI | MECANICO | PREVENTI... | MAQUINA5 | CURADO | INSTALACI... | | REPORTA... | | |
| CM0301 | 2017-03-29 | WILSON ZA | MECANICO | CORRECTI... | MAQUINA 51 | CORTADOR | CAMBIO DE... | SE MONTA... | RESPONDI... | 2017-04-05 | JAVIER PR... |
| CM0367 | 2017-04-11 | NUBIA GAR | ELECTRICO | CORRECTI... | OTROS | CALENTAM... | No hay esta... | SE INSTAL... | RESPONDI... | 2017-04-18 | RICARDO ... |

Botones: MOSTRAR, MENU, SALIR

Figura 18 Descripción selección del estado de reporte. Fuente: Autores

Operador: esta pestaña permite que el operador registre a su nombre la orden que se genera.

Formulario de registro de incidencias:

CODIGO: CM3059 FECHA: 2018-04-09 11:22:06

DAÑO: [] TIPO_MANT: [] OPERADOR: []

SISTEMA EN FALLA: [] ESTADO: REPORTADO MAQUINA: []

DESC_FALLA: []

Por favor indicar en la descripción, si la máquina está parada ó en funcionamiento

Botones: NUEVO, GUARDAR, ACTUALIZAR, CANCELAR, BUSCAR

| CODIGO | FECHA | OPERADOR | DAÑO | TIPO_MANT | MAQUINA | SIST_FALLA | DESC_FALLA | RESPUESTA | ESTADO | FECHA_ES | TECNICO |
|--------|------------|-----------|-----------|-------------|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| CM0170 | 2017-03-01 | ROBERT CI | ELECTRICO | PREVENTI... | 4 COMPRE | 2 ENERGIA | FABRICACI... | | REPORTA... | | |
| CM0114 | 2017-02-21 | SUSANA R. | NO_APLICA | CORRECTI... | NO_APLICA | OTRO | REACTIVA... | EL SISTEM... | RESPONDI... | 2017-03-13 | null |
| CM0289 | 2017-03-27 | ROBERT CI | MECANICO | PREVENTI... | MAQUINA4 | CURADO | INSTALACI... | | REPORTA... | | |
| CM0290 | 2017-03-27 | ROBERT CI | MECANICO | PREVENTI... | MAQUINA5 | CURADO | INSTALACI... | | REPORTA... | | |
| CM0301 | 2017-03-29 | WILSON ZA | MECANICO | CORRECTI... | MAQUINA 51 | CORTADOR | CAMBIO DE... | SE MONTA... | RESPONDI... | 2017-04-05 | JAVIER PR... |
| CM0367 | 2017-04-11 | NUBIA GAR | ELECTRICO | CORRECTI... | OTROS | CALENTAM... | No hay esta... | SE INSTAL... | RESPONDI... | 2017-04-18 | RICARDO ... |

Botones: MOSTRAR, MENU, SALIR

Figura 19 Descripción de elección de operador. Fuente: Autores

Máquina: se refiere al activo que presentó la novedad

| CODIGO | FECHA | OPERADOR | DAÑO | TIPO_MANT | MAQUINA | SIST_FALLA | DESC_FAL | RESPUESTA | ESTADO | FECHA_ES | TECNICO |
|--------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|----------|------------|-----------|
| CM0170 | 2017-03-01 | ROBERT CL | ELECTRICO | PREVENTI | 4.COMPRE | 2 ENERGIA | FABRICACL | | REPORTA | | |
| CM0114 | 2017-02-21 | SUSANA R | NO_APLICA | CORRECTI | NO_APLICA | OTRO | REACTIVA | EL SISTEM | RESPONDI | 2017-03-13 | null |
| CM0289 | 2017-03-27 | ROBERT CL | MECANICO | PREVENTI | MAQUINA4 | CURADO | INSTALACI | | REPORTA | | |
| CM0290 | 2017-03-27 | ROBERT CL | MECANICO | PREVENTI | MAQUINA5 | CURADO | INSTALACI | | REPORTA | | |
| CM0301 | 2017-03-29 | WILSON ZA | MECANICO | CORRECTI | MAQUINA 51 | CORTADOR | CAMBIO DE | SE MONTA | RESPONDI | 2017-04-05 | JAVIER PR |
| CM0367 | 2017-04-11 | NUBIA GAR | ELECTRICO | CORRECTI | OTROS | CALENTAM | No hay esta | SE INSTAL | RESPONDI | 2017-04-18 | RICARDO |

Figura 20 Selección del activo con novedad. Fuente: Autores

Guardar: mediante este botón se puede guardar la orden de mantenimiento que se generó al completar los pasos anteriores, el formulario no permite guardar si la información no es completa.

Desc_Falla: en este espacio el operador podrá describir con sus palabras lo que considera como avería en el equipo.

Cancelar: con este botón dará por finalizado el proceso de generar la orden sin que esta sea almacenada.

7. Resultados obtenidos

Los resultados que se obtienen de la implementación de la propuesta de mejora se enfocan en diferentes aspectos de la organización así:

7.1. Cliente interno

Se evidencia en general una gran diferencia en el departamento de mantenimiento, con respecto a la percepción del cliente interno; debido al conocimiento y manejo de la información que beneficia a soporte técnico que también puede brindar internamente al departamento.

7.2. Gerencia

Administrativamente ahora es posible trazar planes de mejora teniendo en cuenta que se conocen aquellas actividades que requieren mayores tiempos de intervención y respecto a las fallas funcionales más recurrentes se pueden determinar acciones como re-ingeniería que conserven y aumenten la disponibilidad de los activos. Mediante el análisis de la base de datos se encuentran las desviaciones de la información relacionadas con la identificación de sistemas y subsistemas en algunos reportes de falla, para ello es necesario programar y planificar capacitaciones con el personal operativo y administrativo, con el fin de definir claramente la taxonomía de los activos.

7.3. Áreas operativas

Se obtienen información que permite identificar conductas operativas que permiten hacer una trazabilidad en los equipos por ejemplo: Se reportaban en una misma orden fallas comunes de diferentes activos adicionalmente se solicitaban repuestos comunes para diversos activos diferentes y se cargaban a una sola solicitud. Se determinó como un error debido a que cada activo requiere de una solicitud de mantenimiento independiente, para mejorar este aspecto se plantea programar y planificar las capacitaciones necesarias para evitar este tipo de situaciones.

No obstante se descubren las fallas relacionadas con los componentes que no coinciden con el sistema por ejemplo: una falla en el sensor (subsistema mecánico) debe ser reportado en un subsistema eléctrico por la naturaleza del componente. En general el restante de las fallas en el análisis corresponde en su naturaleza y orden, permitiendo así evaluar los puntos críticos del sistema.

Se observa una aceptación del personal involucrado y la disposición de generar reportes de mantenimiento cuando los activos solicitan de atención. Por otro parte la comunicación entre departamentos se percibe como más objetiva gracias a los registros escritos que se almacenan en la base de datos.

8. Análisis financiero

Para la realización del estudio en mención se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

| Talento Humano | | | | | |
|----------------|----------------|-------------|---------------|-----------------------|--------------|
| Especialidad | Valor por Hora | Total Horas | No de Semanas | No de Horas Semanales | Total |
| Ingeniero A | \$ 18.000 | 160 | 16 | 20 | \$ 2.880.000 |
| Ingeniero B | \$ 18.000 | 160 | 16 | 20 | \$ 2.880.000 |
| | | | | Total | \$ 5.760.000 |

Tabla 2 Talento humano. Fuente: Autores

| Materiales | | | |
|-------------|----------|--------------|--------------|
| Material | Cantidad | Valor Unidad | Total |
| Portátil | 2 | \$ 2.500.000 | \$ 5.000.000 |
| Memoria USB | 2 | \$ 35.000 | \$ 70.000 |
| Total | | | \$ 5.070.000 |

Tabla 3 Materiales. Fuente: Autores

| Implementación | | | |
|----------------------|----------|------------|--------------|
| Ítem | Cantidad | Valor | Total |
| Capacitación (Horas) | 20 | \$ 100.000 | \$ 2.000.000 |
| Material Didáctico | 1 | \$ 450.000 | \$ 450.000 |
| Total | | | \$ 2.450.000 |

Tabla 4 Implementación. Fuente: Autores

| Software de mantenimiento | | | | | |
|---------------------------|----------|-----------|--------|--------------|---------------|
| Programa | Cantidad | Costo Mes | Moneda | Conversión | x 12 Meses |
| SumaCMR | 1 | 49 | Euro | \$ 175.665 | \$ 2.107.980 |
| Fractall | 1 | 85 | Euro | \$ 304.725 | \$ 3.656.700 |
| MPSoftware | 1 | 830 | Dólar | \$ 2.568.850 | \$ 30.826.200 |
| eMaint CMMS | 1 | 33 | Dólar | \$ 102.135 | \$ 1.225.620 |
| GMAO Blazar 4.0 | 1 | 150 | Euro | \$ 537.750 | \$ 6.453.000 |

Tabla 5 Software de mantenimiento en el mercado actual. Fuente: Autores

8.1. Análisis ROI

Para determinar el valor del cálculo de retorno de inversión, se tiene en cuenta el valor facturado por una compañía durante 30 días lo cual fue de \$1`700.000.000. Se realiza la división del valor facturado mensual en 30 días y a su vez en 24 que son las horas diarias laboradas.

El valor por hora de producción en la compañía es de \$ 2.361.111. Se realizó una investigación de la cantidad de horas perdidas durante el año 2017 causadas por mantenimientos correctivos en sistema aire comprimido con afectación en la planta en general.

| FECHA | TIPO MANT | MAQUINA | SISTEMA | OBSERVACION | CODIGO | TIEMPO |
|------------------|------------|---------------------|---------|--|--------|--------|
| 05/04/2017 8:27 | CORRECTIVO | 4.COMPRESOR SULLAIR | 4.AIRE | resorte de alivio se rompe | CM0329 | |
| 05/04/2017 3:47 | CORRECTIVO | 4.COMPRESOR SULLAIR | 4.AIRE | FALLA EN AIRE , SE BAJA LA PRESION LO QUE HAC | CM0326 | |
| 18/07/2017 4:17 | PREVENTIVO | 4.COMPRESOR SULLAIR | 4.AIRE | mantenimiento preventivo; drenaje de pulmon | CM0986 | 60 |
| 10/08/2017 4:51 | CORRECTIVO | 2.TRANSFORMADORES | 4.AIRE | se presenta recalentamiento en transformador arc | CM1174 | 60 |
| 12/09/2017 15:47 | CORRECTIVO | 4.COMPRESOR SULLAIR | 4.AIRE | REVISAR CAIDA DE PRESION DE AIRE DEL COMPRE | CM1460 | 40 |
| 12/10/2017 5:51 | CORRECTIVO | 4.COMPRESOR SULLAIR | 4.AIRE | SE APAGO REPENTINAMENTE | CM1782 | 70 |
| 18/10/2017 18:47 | CORRECTIVO | 4.COMPRESOR SULLAIR | 4.AIRE | SE QUEDA SIN AIRE | CM1833 | 70 |
| 17/10/2017 13:25 | CORRECTIVO | 4.RED PRINCIPAL | 4.AIRE | debido a bajonazo de luz se paran todas las maqu | CM1812 | 60 |
| 04/11/2017 13:28 | PREVENTIVO | 4.COMPRESOR SULLAIR | 4.AIRE | mantenimiento preventivo, cambio filtro aire com | CM1978 | 45 |
| 10/11/2017 4:32 | CORRECTIVO | 4.COMPRESOR SULLAIR | 4.AIRE | no carga compresor | CM2015 | 45 |
| 05/12/2017 23:53 | CORRECTIVO | 4.COMPRESOR SULLAIR | 4.AIRE | falla en el compresor , se quedan todas maquinas | CM2197 | 15 |
| 15/12/2017 0:32 | CORRECTIVO | 1.CHILLER YORK | 4.AIRE | se baja aire descalibrando los perfiles cielorazo wi | CM2255 | 40 |
| 26/12/2017 20:57 | CORRECTIVO | 4.COMPRESOR SULLAIR | 4.AIRE | se apaga compresor y escapa aceite | CM2345 | 90 |

Figura 21 Fallas reportadas al sistema de aire del año 2017. Fuente: Autores

| INVERSION | |
|----------------|------------------|
| Talento Humano | \$ 5.760.000,00 |
| Materiales | \$ 5.070.000,00 |
| Implementación | \$ 2.450.000,00 |
| TOTAL | \$ 13.280.000,00 |

Tabla 6 Inversión. Fuente: Autores

| AHORROS | |
|--|------------------|
| Horas perdidas por falla de compresor 2017 | 9.91 |
| Facturación/hora en la compañía | \$ 2.361.111 |
| TOTAL | \$ 23.374.998,00 |

Tabla 7 Ahorros. Fuente: Autores

| ANALISIS ROI | |
|---|------------------|
| Ahorro(fallas de compresor *horas perdidas) | \$ 23.374.998,00 |
| ROI= (AHORROS-INVERSION)/INVERSION | 76,02 |

Tabla 8 Análisis ROI. Fuente: Autores

Teniendo como resultado positivo el análisis ROI, se representa la rentabilidad en un 76% (después de un año y cuatro meses) como resultado del activo evaluado dentro de un grupo de 22 que conforman el proceso donde se desarrolló en proyecto en mención. Conocer el

historial de problemas que tienen los activos, permite determinar las posibles fallas funcionales y encontrar las herramientas que ayuden a predecir y a evitar que se repitan, recuperando así en un solo año el costo de la inversión, sustentando asimismo la viabilidad de la inversión y su pronta recuperación.

9. Conclusiones

- Se desarrolló un aplicativo digital para el reporte de fallas de un activo, teniendo en cuenta los sistemas y subsistemas que lo conforman.
- Se especificaron cuáles son los sistemas de un activo y sus posibles fallas funcionales.
- Se desarrolló a partir de una herramienta de office la consulta y registro de actividades de mantenimiento sobre un activo.
- Se estableció la información necesaria requerida para realizar los reportes de mantenimiento.

10. Recomendaciones

- Se recomienda consultar los criterios de taxonomía para identificar los activos jerárquicamente como lo propone la norma ISO 14224.
- Se recomienda sensibilizar y capacitar el personal en los criterios de clasificación de los equipos, buscando mejorar la calidad de los reportes.
- Se recomienda instruir e incorporar nuevos datos a los formularios de respuesta de las órdenes ejemplo: Listado de repuestos empleados durante una reparación.

11. Bibliografía

- Noriega, M.A. (2010). Diseño de un software que facilite las actividades de mantenimiento a los motores diésel instalados en una empresa de telecomunicaciones. Bogotá: Escuela Colombiana de carreras Industriales.
- Solano, E., & García, S. (2010). Propuesta de mantenimiento preventivo a la industria de plástico Rucito. Bogotá: Escuela Colombiana de carreras Industriales.
- Bello, A., & Puentes, O. (2012). Diseño de un plan de mantenimiento para equipos médicos. Bogotá: Escuela Colombiana de carreras Industriales.
- Herrera, L. (2011). Propuesta para el manejo de la gestión de activos para la empresa Coditeq S.A. Bogotá: Escuela Colombiana de carreras Industriales.
- Rincón, G., & Sánchez, H. (2012). Análisis de causa raíz (RCA) para optimizar la confiabilidad de los activos informáticos de la previsora s.a. compañía de seguros. . Bogotá: Escuela Colombiana de carreras Industriales.
- Rodriguez, R., & Roncallo, C. (2013). Diseño de un plan maestro para la implantación del Total Productive Maintenance (TPM) en los procesos productivos de la empresa XAR Ltda. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Mier, K., & Ruiz, S. (2017). Desarrollo de un programa de mantenimiento planificado para la empresa “Industrias Payasito S.A.S. Bogotá: Fundación Universidad de América.
- Holguín, A. (2011). Mejoramiento de la administración del mantenimiento en industrias Estra por medio del software AM. Medellín: Universidad EAFIT.
- Garzón, J., & Ramírez, H. (2008). Diseño de software de mantenimiento correctivo y preventivo para optimizar el funcionamiento de los equipos registrados en la empresa Coolechera. Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Palomino, K. (2011). Estudio del comportamiento de la industria del software en Colombia ante escenarios de capacidades de innovación y ventajas comparativas por medio de dinámica de sistemas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

- Mejía, F., & Zamorano, I. (2008). Software de mantenimiento propuesto para implementarlo en el departamento de conservación del hospital general de zona No 1 del Imss. México: Universidad autónoma del estado de Hidalgo.
- Coello, G., & Gallegos, J. (2015). Desarrollo de un software para a gestión de mantenimiento de la maquinaria pesada para la prefectura del Azuay. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.
- Carcel-Carrasco, F.. (2016). HISTORICAL EVOLUTION OF INDUSTRIAL MAINTENANCE IN RELATION TO KNOWLEDGE MANAGEMENT. DYNA, 91(6). 590-595. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7890>.
- Goti-Elordi, A., Egaña-Errasti, M., Iturritxa-Perez De Albeniz, A.. (2009). THE STATUS OF INDUSTRIAL MAINTENANCE IN SPAIN. INQUIRY ON THE STATUS OF INDUSTRIAL MAINTENANCE AND THE APPLICATION OF TOOLS ORIENTED TO MAINTENANCE DECISION MAKING. DYNA, 84(3). 225-230.
- Valdivieso, Juan. (2010). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa EXTRUPLAS S.A. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.
- Santiago, García Garrido. Organización y gestión integral de mantenimiento, Ediciones Díaz de Santos, 2004. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/eccisp/detail.action?docID=3157912>.
- Navarro, Elola, Luis, et al. Gestión integral de mantenimiento, Marcombo, 1997. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/eccisp/detail.action?docID=3185475>
- José, Luis, Otegui. Análisis de fallas: fundamentos y aplicaciones en componentes mecánicos, Eudem, 2013. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/eccisp/detail.action?docID=3429417>.
- (PDF) Construcción de KPIs de mantenimiento en base a los parámetros RAMS: La necesidad de un cuadro de mando. Available from https://www.researchgate.net/publication/262298055_Construccion_de_KPIs_de_mantenimiento_en_base_a_los_parametros_RAMS_La_necesidad_de_un_cuadro_de_mando [accessed Sep 15 2018].

- Aguilera, Sanhueza, Valeria Andrea. La excelencia operacional como modelo de gestión para mejorar el factor de uso de una máquina Finger Joint HS120, D - Universidad del Bío-Bío, 2009. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/eccisp/detail.action?docID=3176802>.
- Marqués, Mercedes. Bases de datos, Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions, 2009. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/eccisp/detail.action?docID=4499125>.
- Hernández, Carlos. (2015). Tipos de bases de datos. Recuperado de <https://www.mindmeister.com/es/596069815/tipos-de-base-de-datos>
- EcuRed (2018). Visual Basic. Recuperado de https://www.ecured.cu/Visual_Basic
- Hernández, Pérez, Flor Ángel, and Zaldívar, Pedro M Ricardo. Manual Básico de Excel, edited by Flores, Miguel (ed) Sosa, El Cid Editor, 2006. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/eccisp/detail.action?docID=3167497>.
- Diario información (2018). Ventajas de usar Microsoft Excel. Recuperado de <https://diarioformacion.wordpress.com/2018/04/18/ventajas-de-utilizar-microsoft-excel/>
- SumaCRM (2018). Precios CRM baratos, asequible para todos – SumaCRM. Recuperado de <https://www.sumacrm.com/soporte/precios-crm-barato>
- Fractall (2018). EL MEJOR SOFTWARE DE MANTENIMIENTO AL MEJOR PRECIO. Recuperado de <https://www.fracttal.com/planes-precios/#big>
- MPsoftware (2018). Programa MP versión 9. Recuperado de <http://www.mpsoftware.com.mx/comprar/>
- Emaint (2018). Precios del Software CMMS. Recuperado de http://www.emaint.com.mx/cmms_software_pricing_form/
- Blazar40 (2018). Precios GMAO Blazar 4.0. Recuperado de <https://www.blazar40.com/precios-software-gmao/>