

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



DESARROLLO DE APLICACIÓN PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE IMPRESORAS 3D FDM UTILIZANDO OCTOPRINT

Propuesta de Trabajo de Título para Ingeniero Civil en Mecánica

Nombre:	Pablo Alejandro Ruz Donoso
R.U.N.:	17,874.835-1
Año Ingreso:	2018
Teléfono:	+569 72369058
E-mail:	pablo.ruz@usach.cl
Profesor:	Pablo Alvarado M.

Miércoles, 03 de junio de 2020

AGRADECIMIENTOS

A mi...

RESUMEN

Aquí se incluirá el resumen en castellano

Palabras Claves: Palabras; Clave

ABSTRACT

In this section will be include the abstract.

Keywords: Key; Words

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de Figuras	viii
Índice de Tablas	ix
Índice de Algoritmos	x
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes y motivación	1
1.2. Descripción del problema	1
1.3. Solución propuesta	1
1.4. Objetivos y alcance del proyecto	1
1.4.1. Objetivo general	1
1.4.2. Objetivos específicos	1
1.4.3. Alcances	2
1.5. Metodología y herramientas utilizadas	3
1.5.1. Metodología	3
1.5.2. Herramientas de desarrollo	3
1.6. Resultados Obtenidos	3
1.7. Organización del documento	3
2. Marco Teórico	4
2.1. Impresión 3D	4

2.1.1. Historia de la impresión 3D	6
2.1.2. Métodos de impresión 3D	10
2.1.3. Impresoras 3D FDM	10
2.1.4. Tipologías de impresión 3D FDM	10
2.2. Mantenimiento	10
2.2.1. Historia y evolución del mantenimiento	12
2.2.2. Mantenimiento correctivo	16
2.2.3. Mantenimiento preventivo	17
2.2.4. Mantenimiento centrado en la condición	17
2.2.5. Mantenimiento centrado en la confiabilidad	17
2.2.5.1. Función densidad de probabilidad	22
2.2.5.2. Media y varianza de una variable continua	23
2.2.5.3. Distribución normal	23
2.2.5.4. Distribución exponencial	24
2.2.5.5. Distribución de Weibull	24
2.3. Lean Manufacturing	26
2.3.1. Historia Lean Manufacturing	26
2.3.2. Herramientas de mantenimiento	26
2.4. Design Thinking	26
2.4.1. Metodologías ágiles	26
2.4.2. Design Thinking	26
2.4.3. Fases del Design Thinking	26
2.5. Herramientas de software	26
2.5.1. Lenguajes de programación orientada a objetos	26
2.5.2. Lenguajes de hojas de estilo	26
2.5.3. Bases de datos	26
2.5.4. Arquitectura Cliente-Servidor	26

2.5.5. API	26
2.5.6. Ordenadores de placa reducida	26
3. Estado del Arte	27
3.1. Gestión de la producción en la fabricación aditiva	27
3.2. Gestión del mantenimiento basado en la teoría de la confiabilidad . .	37
3.3. Tecnologías innovadoras que utilicen CMMS para la gestión del mantenimiento.	41
Referencias	46
Apéndices	47
Manual de Usuario	48
.1. Requerimientos	48
.2. Instalación	48

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Tamaño del mercado y pronóstico de la impresión 3D (Alexander, 2019).	10
3.1. Número de publicaciones por año y según temática (Fera et al., 2018)	29
3.2. Marco de trabajo para la programación de la producción (Fera et al., 2018)	35
3.3. Diagrama de Pareto por número de fallas para Plegadora (Cruz, 2018)	39
3.4. Curva de confiabilidad para la sección de plegado (Cruz, 2018) . . .	40
3.5. Indicadores de mantenimiento para la sección de plegado (Cruz, 2018)	40
3.6. Diagrama UML que describe la relación de los registros entre máquinas, fallas, causas y acciones de mantenimiento (Aransyash et al., 2019)	43
3.7. Sistema de Realidad Aumentada integrado con CMMS. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: (a) operador utiliza el sistema utilizando teclado inalámbrico; (b) funcionalidad del sistema; (c) operación de diagnóstico basado en el historial de fallas; (d) guía del sistema al operador a través de instrucciones de texto y video (Aransyash et al., 2019).	44

ÍNDICE DE TABLAS

3.1. Atributos y descripción para programación de la producción en máquinas de fabricación aditiva (Fera et al., 2018).	35
--	----

ÍNDICE DE ALGORITMOS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN

...

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA

1.4 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO

1.4.1 Objetivo general

Diseñar una aplicación de gestión de la producción y el mantenimiento correctivo y preventivo para la optimización de procesos de impresión 3D FDM.

1.4.2 Objetivos específicos

Para la consecución del objetivo general, se plantean las siguientes metas intermedias:

1. Determinar las variables implicadas en el proceso que permiten obtener indicadores.
2. Investigar compatibilidad entre hardware, software, protocolos de comunicación, y códigos de programación a utilizar.
3. Elaborar registros y fichas técnicas de impresoras 3D.
4. Establecer relaciones matemáticas que permitan entregar indicadores relevantes para la producción y mantenimiento.
5. Diseñar funciones que permitan gestionar los datos de hardware y software para determinación de indicadores.
6. Diseñar interfaz de aplicación orientado al usuario.

...

1.4.3 Alcances

Se pretende desarrollar una Interfaz Programable de Aplicación utilizando como base el software Octoprint, pudiendo controlar, monitorizar en tiempo real el funcionamiento de varias impresoras 3D, y entregar indicadores para gestionar la producción y el mantenimiento de las máquinas. Para esto, se toman en cuenta los siguientes alcances:

1. Emplear metodologías ágiles para el diseño.
2. Utilizar softwares y herramientas de código abierto.
3. Trabajar en una plataforma cliente/servidor.

4. Diseñar un sistema enfocado en el usuario.
5. Tomar las entradas de impresoras, lista de piezas, tiempos de producción, peso de filamento y tiempo de actividad.
6. Configurar planificación y frecuencia de mantenimientos autónomos y preventivos.
7. Configurar planificación y emitir órdenes de producción.
8. Emitir reportes y consultas sobre el estado de las órdenes de producción y mantenimiento.

1.5 METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

1.5.1 Metodología

1.5.2 Herramientas de desarrollo

1.6 RESULTADOS OBTENIDOS

1.7 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 IMPRESIÓN 3D

A diferencia de las técnicas principales que se emplean desde hace algunos años en la fabricación de objetos, que se encargan de sustraer, combinar, o deformar paulatina y controladamente materia hasta llegar a una pieza final, la impresión 3D funciona de un modo completamente distinto. La pieza se crea en un solo paso, capa por capa, a un ritmo medio de uno a dos centímetro de altura por hora; el objeto creado puede constar de mecanismos internos (como rodamientos de bolas), formas tejidas y entrelazadas, o incluso huecos y curvas (Berchon and Luyt, 2014). Pues bien, todas las impresoras 3D, están basadas sobre el mismo principio: un modelo digital es transformado a un objeto físico de 3 dimensiones por adición de material en capas. Esto se conoce alternativamente como *Manufactura Aditiva* (3Dhub, 2018). Este tipo de fabricación también se puede englobar dentro de lo que se denomina *Fabricación digital*, cuyo principio básico es la transformación de la información desde el mundo físico al digital. Según (Jorquera Ortega, 2016), la fabricación digital incluye los siguientes sistemas y tecnologías:

1. Sistemas integrados: Es un *hardware* electrónico diseñado específicamente para llevar a cabo una o pocas tareas definidas. Las impresoras llevan

un sistema electrónico integrado que utilizan para controlar los motores paso a paso que alimentan el papel, recibir información de los sensores de temperatura y finales de carrera, o que mandan al cabezal de impresión.

2. Sistemas CNC (*Computer Numeric Control* - control numérico computarizado): Es el control numérico de un sistema de automatización que se utiliza para controlar diferentes máquinas herramienta. Este sistema ha revolucionado la industria gracias a la simplificación del *software* de diseño en conjunto con los lenguajes de programación como el *.gcode*. Esencialmente, un sistema CNC es cualquier sistema que utiliza un ordenador para controlar los movimientos de una máquina.
3. Software CAD (*Computer Aided Design*- diseño asistido por computador): es, en esencia, un programa que sirve para la creación, edición análisis y visualización de modelos tridimensionales.
4. Internet: Los programas CAD actuales disponen de herramientas de trabajo colaborativo en red, de esta manera se define el producto y el proceso de fabricación de forma simultánea.

En la misma línea, y dependiendo de la profundidad técnica que el proceso de fabricación necesite, se agregan los sistemas (leao, 2017):

1. Software CAE (*Computer Aided Engineering* - Ingeniería Asistida por computador): Son los programas mayoritariamente usados para las tareas de análisis de ingeniería. Estos *softwares*, a través de métodos numéricos como el método de elementos finitos o dinámica de fluidos computacional, se utilizan para, por ejemplo, analizar la robustez y el funcionamiento de ensambles de piezas.

2. Software CAM (*Computer Aided Manufacturing*- Manufactura Asistida por computador): Corresponde a programas que controlan las herramientas de máquinas de control numérico relacionadas con el proceso de manufactura a realizar, generando un código específico para el producto a fabricar.

2.1.1 Historia de la impresión 3D

La primera vez que se hizo público la conceptualización de algo que pudiese parecerse a una impresora 3D, se remonta al año 1964, cuando el científico y escritor británico Arthur C. Clarke realiza la descripción de una máquina ficticia llamada *El Replicador*. En teoría, este artefacto -que en palabras del autor *es la invención que va a poner fin todas las invenciones*- sería capaz de crear una copia exacta de una cosa, reorganizando partículas subatómicas, y luego ensamblar esas moléculas para ser transformadas en un objeto real (Renstrom, 2012). No obstante, el comienzo de la generación del concepto técnico de impresión 3D puede ser rastreado al año 1976, a partir de la creación de la primera impresora a tinta por inyección (Maxey, 2013). La utilización de la inyección de tinta abrió la pregunta respecto a qué tipo de materias primas podían ser utilizadas con esta tecnología, y cómo los mecanismos presentes en la época podían ser adaptados para abrir la posibilidad de ocupar otras materias primas. En Mayo de 1981, el Dr. Hideo Kodama del Instituto de Investigación Industrial del Municipio de Nagoya publicó detalles relativos a la técnica de prototipado rápido. Esta investigación se considera como la primera publicación que describe la técnica de fabricación capa a capa propia de los procesos de impresión 3D; no obstante, los desarrollos de Kodama no llegaron a ser materializados debido a problemas encontrados en el proceso de fundido de material. (3dsourced, 2020).

Paralelamente, la idea de *máquinas de prototipado rápido* continuó su desarrollo en Francia, por Jean-Claude André, Oliver de Witte y Alain le Méhauté. En la primera mitad de la década de los 80, le Méhauté investigaba en la empresa Alcatel sobre partes y piezas generadas a partir de la geometría fractal, y la manera en que éstas podrían ser fabricadas dada su complejidad de forma. De Witte, quien era también investigador de Alcatel en el área de luz láser, propuso a le Méhauté que algunos líquidos compuestos por ciertos monómeros podían ser curados y transformados en sólidos tras la aplicación de luz láser, convirtiéndose en el primer paso para la construcción efectiva de máquinas de prototipado rápido a través de el proceso de Estereolitografía. Ambos compartieron el resultado de sus avances con André, que en ese tiempo trabajaba en el Centro Nacional Francés de Investigación Científica, para ya el año 1984 inscribir la patente de su desarrollo. Infortunadamente, el grupo debe abandonar el proyecto debido a problemas con la solidificación del material y poca rentabilidad desde la perspectiva económica (Greguric, 2018).

Con solo tres semanas de diferencia respecto a los investigadores franceses, Charles Hull, ingeniero graduado de la Universidad de Colorado, solicita la patente del proceso de Esterolitografía con nuevos avances, como la utilización del formato STL (Standard Triangle Language) y la laminación digital de objetos. A diferencia del a Esterolitografía francesa, el método de Hull utiliza luz ultravioleta para el curado de fotopolímeros. El año 1986, obtenida su patente, Hull forma la empresa *3D Systems* y lanza la primera impresora 3D, la *SLA-1*, el año 1987 (3dsourced, 2020). Casi al mismo tiempo, la tecnología de modelado por deposición fundida (FDM) era patentada por Scott Crump como otra tecnología de fabricación aditiva (Greguric, 2018). FDM utiliza un cabezal móvil, el cual funde un filamento de material que se deposita en una plataforma. Es interesante mencionar que tanto las máquinas SLA como FDM son actualmente las más

utilizadas y diversificadas en el mundo de la impresión 3D. Un año después de la presentación de la SLA-1, Carl Deckard de la Universidad de Texas patentó la tecnología de Sinterizado Selectivo por Láser (SLS). En lugar de utilizar luz ultravioleta, SLS hace uso de un láser para trazar y solidificar las capas de un polvo de polímeros (3dsourced, 2020). Así, la máquina de Deckard se convirtió en la primera impresora 3D en utilizar la tecnología SLS, a la cual llamó Betsy; sin embargo, el propósito central de su invención era testear el sistema de sinterizado por láser, por lo que la calidad de impresión y el nivel de detalle no estaba dentro de sus prioridades (Greguric, 2018). En 1993, el MIT desarrolla una técnica de impresión 3D basada en las impresoras de inyección de tinta. Adaptando ésta a un movimiento en un nuevo eje, se crea la Z Corp Z402. El primero modelo utilizaba polvos basados en yeso como base y un aglutinante basado en agua. El mismo año, Royden Sanders fundó Solidscape, creando una impresora 3D basada en cera. La segunda mitad de los años noventa vio la diversificación de las tecnologías para la técnica de fabricación aditiva, ampliando la gama de materias primas a utilizar y los procesos de transformación de materiales. En 1997, se crea la impresora 3D de metales, la cual utiliza el proceso de fundición por haz de electrones (EBM) y el perfeccionamiento del Polyjet. Así, este desarrollo trajo consigo mayores oportunidades comerciales para estas máquinas abriéndose, entre otras, a la industria médica con la bioimpresión de partes adaptables al cuerpo humano tales como piezas dentales o prótesis (3dsourced, 2020). Los avances de las investigaciones y la búsqueda de la competitividad en la utilización de la impresión 3D como manufactura aditiva trajo consigo durante los años posteriores el comienzo de la democratización de esta tecnología. Como se ha mostrado en esta sección, la impresión 3D es una tecnología que nace en los años ochenta, por lo cual es factible preguntar cómo y por qué estas máquinas son tan conocidas y valoradas en la actualidad, y de qué manera comienzan a

gestar una de las mayores revoluciones tecnológicas del siglo XXI. El proyecto *RepRap* nace el año 2005 a través de un blog impulsado por el doctor Adrian Bowyer, profesor de ingeniería mecánica de la Universidad de Bath del Reino Unido. En él, Bowyer comienza a modelar el primer boceto de una impresora 3D FDM con el objetivo de crear una máquina autoreplicante, capaz de imprimir nuevos componentes en 3D para ser útil en el desarrollo del prototipado rápido, y al mismo tiempo fabricar nuevas piezas para nuevas máquinas. Así, cualquier persona al otro lado del mundo y con las instrucciones adecuadas podría llegar a construirla (Torre, 2013). Según Torre (2013) a casi tres años del primer modelo, la *RepRap 0.1* ya había impreso casi la mitad de sus propios componentes; al año 2008, se estima que ya existían más de 100 copias construidas y funcionando en todo el mundo. RepRap es un diseño abierto, y toda la propiedad intelectual producida en este proyecto está sujeto a una licencia de software libre (All3DP, 2016). A partir de esta invención libre, y sumado al vencimiento de las patentes de las tecnologías SLA y FDM, se desata el desarrollo de nuevas impresoras como las de tipología Delta (no cartesiana), y la creación de empresas dedicadas a la fabricación de máquinas de bajo costo como MakerBot (3dsourced, 2020). En la actualidad, se estima que el tamaño del mercado es de alrededor de 10 billones de dólares, y se espera que crezca alrededor de un 23,5 % anualmente, abarcando industrias como la automovilística, aeroespacial, médica, e inclusive el calzado deportivo (Alexander, 2019).

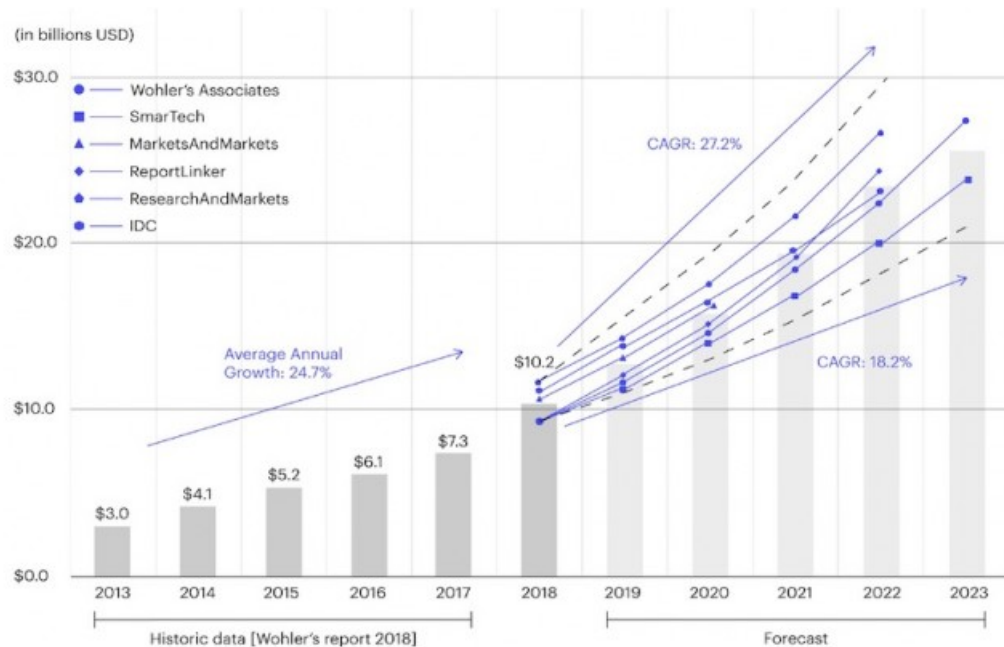


FIGURA 2.1: Tamaño del mercado y pronóstico de la impresión 3D (Alexander, 2019).

2.1.2 Métodos de impresión 3D

2.1.3 Impresoras 3D FDM

2.1.4 Tipologías de impresión 3D FDM

2.2 MANTENIMIENTO

Habitualmente, el concepto de mantenimiento puede definirse según distintas formas según el enfoque que se dé en cada caso. Un punto de partida, es mantener el correcto estado funcional de los equipos e instalaciones, sin embargo, las consecuencias que el desarrollo de este principio elemental puede

tener sobrepasan ampliamente el objetivo inicial (de León, 1998). En este sentido, y buscando una definición global, se puede decir que el mantenimiento corresponde al conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento (Garrido, 2010). Teniendo en cuenta factores como el tipo de industria y su tamaño, la política de la empresa, las características de la producción, el campo de acción de las actividades de un departamento de ingeniería de mantenimiento puede incluir las siguientes responsabilidades (de León, 1998):

- Mantener los equipos e instalaciones en condiciones operativas, eficaces y seguras.
- Efectuar un control del estado de los equipos, así como de su disponibilidad.
- Realizar los estudios necesarios para reducir el número de averías imprevistas.
- En función de los datos históricos disponibles, efectuar una previsión de los repuestos de almacén necesarios.
- Intervenir en los proyectos de modificación del diseño de equipos e instalaciones.
- Llevar a cabo aquellas tareas que implican la modificación o reparación de los equipos e instalaciones.
- Instalación de nuevo equipo.
- Asesorar a los mandos de producción.

- Velar por el correcto suministro y distribución de energía.
- Tareas de vigilancia.

2.2.1 Historia y evolución del mantenimiento

Si bien no existe precisión histórica o documentación para establecer los orígenes del mantenimiento ya sea, por ejemplo, en la diferencia entre la evolución de las distintas industrias, la literatura sí genera distintos consensos en lo que respecta a ciertos hitos que pueden dar luces a este contexto histórico. En este sentido, las principales referencias que existen en diversas fuentes bibliográficas sobre los tipos de mantenimiento llevados a cabo han concluido, de común acuerdo entre muchos autores, en establecer durante el siglo XX tres grandes etapas que, aunque no tienen una frontera clara desde el punto de vista temporal, sí pueden dar una clara idea de cómo ha sido la evolución de las técnicas y organizaciones que se han implementado durante dicho siglo. Se ha convenido entonces, que la evolución del mantenimiento ha tenido tres etapas, a las cuales se les denomina *primera*, *segunda* y *tercera generación* (Fernández, 2005). Así, el comienzo del siglo XX marca efectivamente el inicio de las actividades de mantenimiento reparativo y la creación de los primeros talleres que originan la *Primera Generación* del mantenimiento, que se extiende hasta mediados del siglo y tiene como características relevantes (Palencia, 2012):

- Equipos robustos, sobredimensionados y simples.
- Volúmenes de producción bajos.
- Las actividades demandaban poca destreza.

- No existía la alta mecanización industrial
- Poca importancia a los tiempos de parada de los equipos.
- La prevención de fallas en los equipos no era prioridad.
- El mantenimiento era mantenimiento reactivo o de reparación.
- No había necesidad de un mantenimiento sistemático.

Esta etapa, la más larga desde la revolución industrial hasta después de la Segunda Guerra Mundial, se caracteriza esencialmente por la corrección de averías, reengrases, lubricaciones y limpiezas (Fernández, 2005).

En tiempos posteriores a la guerra se vio la necesidad de implantar técnicas con el fin de prevenir las fallas de los equipos en combate y disminuir los costos de reparación, por lo que vino a tomar importancia relevante la disponibilidad y duración de vida útil de la maquinaria (Palencia, 2012). El descubrimiento de relación entre edad de equipos y probabilidad de fallos, junto a la enorme competencia industrial, además de la incorporación de los fabricantes orientales al mundo competitivo occidental, es uno de los desencadenantes de una continua búsqueda de mejores resultados. En esta etapa denominada *segunda generación*, se ponen en marcha sistemas de mantenimiento preventivo basados en revisiones cíclicas de equipos, instalaciones y medios en general (Fernández, 2005). Dentro de las características principales de este periodo se señalan (Palencia, 2012):

- Importancia de la productividad
- Incremento de la mecanización en las industrias
- Aumento de la complejidad de los equipos

- Mayor interés a los tiempos de parada de los equipos
- Inicio del mantenimiento preventivo
- Altos niveles de inventario de repuestos
- Crecimiento de los costos de mantenimiento
- Sistemas de planificación y control de mantenimiento
- Aumento de la vida útil de los equipos y sistemas
- Inicio de la sistematización del Mantenimiento

La optimización de este mantenimiento de segunda generación, basado por tanto en mantenimientos preventivos rutinarios y mantenimiento correctivo, se fundamenta en avanzados sistemas de planificación de actividades y de control de trabajos realizados; entendiendo por control tanto el lanzamiento de órdenes de trabajo como la retroalimentación y verificación de los datos habidos en esas órdenes de trabajo (Fernández, 2005).

Se debe decir que, durante el periodo posterior a 1980, se han visto los peores accidentes en la historia de la industria mundial. Las filtraciones de baterías en Bhopal, India, o la amenaza a la supervivencia de la humanidad causada por el accidente nuclear de Chernobyl, solo han hecho que la industria realce la importancia del mantenimiento (Shenoy, 2005). Este punto de inflexión, sumado a las preocupaciones que ya existían ciertos postulados en relación a la máxima calidad, seguridad y protección del medio ambiente, dio origen a la tercera generación del mantenimiento, que se extendió hasta el final del siglo (Palencia, 2012). Cabe destacar que en el mantenimiento de tercera generación, la observancia de normativa adquiere una importancia primordial. Son muchas las administraciones estatales, autonómicas y locales que abordan reglamentaciones

específicas del mantenimiento; así pues, aparecen reglamentos para aparatos a presión, equipos de manutención y transporte, ascensores y escaleras mecánicas, etc. Este aspecto toma también relevancia y define lo que se ha convenido en llamar, dentro de los mantenimientos preventivos, mantenimientos legales o reglamentarios (Fernández, 2005). Dentro de los parámetros más importantes involucrados en esta generación del mantenimiento se encuentran (Arun, 2012):

- Disponibilidad y confiabilidad de los equipos
- Mayor seguridad
- Eliminar el daño al Medio Ambiente
- Mejor calidad de producción
- Mayor vida útil de los equipos
- Efectividad en los costos.

Asimismo, las técnicas asociadas a este periodo de tiempo son (Arun, 2012):

- Monitoreo de la condición
- Diseños para la mantenibilidad y confiabilidad
- Computadores pequeños y rápidos
- Analisis de modos y efectos de falla

La añadidura tanto de nuevos desafíos y de las técnicas que hacen frente a éstos, revelan que las tres generaciones anteriormente mencionadas plantean la necesidad de coexistir en un mantenimiento equilibrado y acondicionado

a la realidad de la industria. De esto se obtiene que la primera generación define las acciones del mantenimiento reactivo, la segunda plantea la estrategia de revisiones cíclicas, y la tercera generación la estrategia basada en la condición (Hide, 2013). Así, la cuarta generación del mantenimiento es también el entendimiento que tanto el mantenimiento preventivo, como el correctivo o el predictivo juega un rol en la optimización de la disponibilidad, confiabilidad y el costo de los activos industriales. En este caso, son importantes las técnicas avanzadas como la recolección de data a través de sensores o la analítica de softwares (Houle, 2016). En tanto a los procesos, la tecnología de la información, el uso y la disponibilidad del internet, la obtención de información en cualquier parte del mundo y el entendimiento de estos son reconocidos como los conductores hacia los nuevos entendimientos del mantenimiento.

2.2.2 Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento, también llamado mantenimiento a rotura, sólo se interviene en los equipos cuando el fallo ya se ha producido. Se trata, por tanto, de una actitud pasiva, frente a la evolución del estado de los equipos, a la espera de la avería o fallo (de León, 1998). De la misma forma, el mantenimiento correctivo es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos (Garrido, 2010). Adoptar esta forma de mantenimiento supone asumir algunos inconvenientes respecto a las máquinas y equipos afectados, entre los que pueden citarse (de León, 1998):

- Las averías se producen generalmente de forma imprevista, lo que puede

ocasionar trastornos en la producción, que pueden ir desde ligeras pérdidas de tiempo, por reposición de equipo o cambio de tarea, hasta la parada de la producción, en tanto no se repare o sustituya el equipo averiado.

- Las averías, al ser imprevistas, suelen ser graves para el equipo, con o que su reparación puede ser costosa.
- Las averías son siempre -en mayor o menor medida- inoportunas, por lo que la reparación de los equipos averiados puede llevar más tiempo del previsto, ya sea por ausencia del personal necesario para su reparación, o ya sea por la falta de los repuestos necesarios.
- Por tratarse de averías inesperadas, el fallo podría venir acompañado de algún siniestro, lo que obviamente puede tener consecuencias muy negativas para la seguridad del personal y las instalaciones.

De aquellas empresas donde el 100 % del mantenimiento es correctivo, se podría considerar que, en promedio, en más del 70 % del tiempo total dedicado a mantener sus activos se utiliza para la solución de fallas no programadas; por tanto, gestionar con eficacia el mantenimiento correctivo significa (Garrido, 2010):

- Realizar intervenciones con rapidez, que permitan la puesta en marcha del equipo en el menor tiempo posible (MTTR o tiempo medio para reparar bajo).
- Realizar intervenciones fiables, y adoptar medidas para que no se vuelvan a producir estas en un periodo de tiempo suficientemente largo (MTBF o tiempo medio entre fallos grande).
- Consumir la menor cantidad posible de recursos (tanto mano de obra como materiales).

2.2.3 Mantenimiento preventivo

2.2.4 Mantenimiento centrado en la condición

2.2.5 Mantenimiento centrado en la confiabilidad

La confiabilidad puede ser definida como la confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un periodo de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación; otra definición es la probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo establecido y bajo condiciones de uso definidas (Mesa, 2006).

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) corresponde a un procedimiento basado en el sentido común con un diagrama de decisión para la creación de estrategias de mantenimiento para proteger las funciones de los activos. RCM se define como un proceso para determinar qué debe hacerse para mantener los activos físicos funcionando de acuerdo a lo que sus operadores quieren que éstos hagan en su contexto operacional actual (Sifonte, 2017). Los criterios que todo proceso debe cumplir para ser llamado RCM son establecidos en la norma SAE JA1011, publicada en 1999. En este sentido, la norma establece siete pasos descritos a continuación:

- Delimitar el contexto operativo, las funciones y los estándares de desempeño asociados al activo (contexto operacional y funciones).
- Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales).

- Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla).
- Describir qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de falla).
- Clasificar los efectos de las fallas (consecuencias de la falla).
- Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos de tareas).
- Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez).

Para el cumplimiento de los pasos anteriores, la norma determina una serie de definiciones dentro de las cuales se encuentran (SAE, 1999):

Función: lo que un usuario espera que realice un activo físico o sistema.

Falla Evidente: Modo de falla cuyos efectos se vuelven evidentes para los operarios bajo circunstancias normales si el modo de falla ocurre por si mismo o aislado.

Función Evidente: Función cuya falla sobre si mismo se vuelven aparentes para los operarios bajo circunstancias normales.

Fallas Funcionales: Estado en el cual un activo físico o sistema no es capaz de ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado.

Modos de falla: Evento único, que provoca una falla funcional.

Efectos de falla: Lo que ocurre cuando se produce un modo de falla.

Consecuencias de la falla: las formas en las cuales importan los modos de falla o múltiples fallas.

Falla oculta: Modo de falla cuyos efectos no son evidentes para los operarios bajo circunstancias normales si el modo de falla ocurre por sí mismo.

Falla múltiple: Evento que ocurre si la función protegida falla mientras un sistema se encuentra en estado de falla.

Probabilidad condicional de una falla: La probabilidad de que una falla ocurra en un periodo específico, siempre que el ítem en cuestión haya sobrevivido desde el principio de ese periodo.

Respecto al establecimiento de los modos de falla, la norma en cuestión recomienda cierta profundidad en el nivel de causalidad de los modos de falla. Cuando éstos se enumeren, se debe considerar (SAE, 1999):

- Identificar todos los modos de falla razonablemente propensos a causar cada falla funcional.
- El método utilizado para decidir qué constituye un modo de falla.
- El nivel de causalidad para los modos de falla debe ser suficientemente exhaustivo para puedan asignar políticas de gestión de fallos.
- Los modos de falla enumerados en el análisis deben considerar los eventos que han ocurrido antes, los modos de falla que se previenen en las tareas programadas existentes y otros eventos que es probable que se produzcan en el contexto operacional real, pero que nunca ha ocurrido.
- Los errores humanos y de diseño que causan un evento de falla deben incluirse en la lista de modos de falla, al menos que estén siendo abordados por otros métodos de análisis.

En torno a los efectos de falla, se recomienda describir lo que ocurre cuando se produce el modo de falla, teniendo en cuenta lo siguiente (SAE, 1999):

- ¿Hay alguna evidencia de que ha ocurrido una falla?
- ¿Cuál es el impacto potencial que tiene la falla en la seguridad del personal?
- ¿Cuál es el impacto potencial que tiene la falla en el medio ambiente?
- ¿Cómo se ve afectada la producción o las operaciones?
- ¿Hay algún daño físico causado por la falla?
- ¿Hay algo que deba hacerse para restaurar la función del sistema después de la falla?

Los efectos de fallas se deben clasificar en categorías basadas en la evidencia que se tiene de éstas, impactos en la seguridad, medio ambiente, capacidad operacional y costos. Se debe elegir una categoría para cada efecto de modo de falla, haciendo énfasis en la que sea más grave (Sifonte, 2017).

La norma SAE JA1011 reconoce cinco posibles estrategias de mantenimiento que deben ser aplicadas para mitigar las consecuencias de las fallas(Sifonte, 2017):

Mantenimiento Basado en la Condición: Estas tareas están destinadas a detectar fallas potenciales. Tal detección debe ocurrir con suficiente antelación para que la acción correctiva se pueda tomar antes de un paro operacional. Una tarea de monitoreo de condición es aplicada a intervalos fijos para predecir la tendencia de un paro operacional antes de que ocurra una falla funcional.

Tareas de reparaciones programadas: Las tareas de reparación basadas en el tiempo deben ser realizadas en función de la vida útil del activo. Es decir, el momento en que la tasa de falla del equipo deja de ser constante. En teoría, al final de la vida útil, la tasa de falla del activo aumenta más allá de lo que podemos tolerar. Además de la vida útil, el costo de la reparación preventiva también necesita ser evaluado. Esto es, una comparación del costo del trabajo de reparación contra el de las consecuencias de la falla funcional debe confirmar la viabilidad económica de la tarea.

Tareas de reemplazo programado: Las tareas programadas de descarte y reemplazo se consideran cuando se demuestra que es más rentable reemplazar que reparar el activo. Se recomienda aplicar dicha sustitución al final de la llamada vida “útil” del mismo.

Tareas de búsqueda de fallas: Estas tareas están destinadas a detectar fallas ocultas asociadas, la mayoría de las veces, con dispositivos de protección o componentes redundantes. Debemos asegurarnos de que es físicamente posible realizar la tarea de búsqueda recomendada y que la frecuencia sugerida es aceptable para el propietario del activo. En el libro se hablará más sobre la frecuencia de la tarea.

Tareas de búsqueda de rediseño: Los cambios en la configuración física de los activos, los procedimientos de operación o mantenimiento, el adiestramiento del operador / mantenedor y la alteración del contexto operacional son todas las formas posibles de cambios de una sola vez o rediseño potencialmente necesario para la mitigación de fallas.

2.2.5.1 Función densidad de probabilidad

La función densidad de probabilidad puede describir la distribución de la probabilidad de una variable aleatoria continua X . Así, una función de densidad de probabilidad es una función tal que:

$$f(x) \geq 0$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$$

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x)dx = \text{área bajo } f(x) \text{ de } a \text{ a } b, \text{ para cualquier } a \text{ y } b.$$

Esta función proporciona una descripción simple de las probabilidades asociadas a una variable aleatoria.

2.2.5.2 Media y varianza de una variable continua

Si se tiene que X es una variable aleatoria continua con función de densidad de probabilidad $f(x)$, se define la Media de X como:

$$\mu = E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x)dx$$

Asimismo, la Varianza de X :

$$\sigma^2 = V(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x)dx = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x)dx - \mu^2$$

La Desviación Estandar:

$$\sigma = \sqrt{V(X)}$$

2.2.5.3 Distribución normal

Variables aleatorias con medias y varianzas diferentes pueden modelarse por medio de funciones de densidad de probabilidad normal, con la elección adecuada del centro y anchura de la curva. La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty$$

tiene una distribución normal con parámetros μ , donde $-\infty < \mu < \infty$, y $\sigma > 0$.

Además,

$$E(X) = \mu, V(x) = \sigma^2$$

2.2.5.4 Distribución exponencial

La distribución exponencial debe su nombre a la función exponencial de la función de densidad de probabilidad. Así, la variable aleatoria X (que es igual a la distancia entre conteos sucesivos de un proceso de Poisson con media $\lambda > 0$) tiene una distribución exponencial con parámetro λ :

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, 0 < x < \infty$$

Si la variable tiene una distribución exponencial con parámetro λ :

$$E(x) = \frac{1}{\lambda}, V(X) = \frac{1}{\lambda^2}$$

2.2.5.5 Distribución de Weibull

La distribución de Weibull se utiliza con frecuencia para modelar el tiempo hasta que ocurre una falla en algún sistema. La variable aleatoria X con función de densidad de probabilidad:

$$f(x) = \frac{\beta}{\delta} \left(\frac{x}{\delta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta}$$

tiene una distribución de Weibull con parámetro de escala $\delta > 0$ y parámetro de forma $\beta > 0$.

2.3 LEAN MANUFACTURING

2.3.1 Historia Lean Manufacturing

2.3.2 Herramientas de mantenimiento

2.4 DESIGN THINKING

2.4.1 Metodologías ágiles

2.4.2 Design Thinking

2.4.3 Fases del Design Thinking

2.5 HERRAMIENTAS DE SOFTWARE

2.5.1 Lenguajes de programación orientada a objetos

2.5.2 Lenguajes de hojas de estilo

2.5.3 Bases de datos

2.5.4 Arquitectura Cliente-Servidor

2.5.5 API

2.5.6 Ordenadores de placa reducida

CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE

El análisis del estado del arte realizado en esta tesis se agrupa en tres tipos: el primero corresponde a proyectos relacionados sobre la gestión de la producción con fabricación aditiva, el segundo sobre proyectos vinculados a la gestión del mantenimiento de equipos basados en la teoría de la confiabilidad, y el tercero en proyectos con tecnologías innovadoras que utilicen CMMS para la gestión del mantenimiento. Las palabras clave para el presente análisis son: *Impresión 3D, Fabricación aditiva, Gestión de la producción, gestión del mantenimiento, CMMS, Innovación y Confiabilidad (RCM)*.

3.1 GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA FABRICACIÓN ADITIVA

Fera, M., Macchiaroli, R., Fruggiero, F., and Lambiase, A. (2018). Production management fundamentals for additive manufacturing. IntechOpen

Objetivos:

- Presentar revisión de la literatura de las principales facetas de la fabricación aditiva relacionada con el campo de la gestión de operaciones.
- Intentar definir un modelo que de cuenta de los costos de producción y la programación de la actividad de una máquina.

Resumen: La manufactura aditiva es una nueva forma de producir piezas, que en los últimos años ha tenido una significativa aplicación en los ambientes tradicionales de producción, desde que ha demostrado su capacidad para producir piezas sin defectos particulares y con buenas propiedades mecánicas. Durante las dos últimas décadas, la fabricación aditiva fue primeramente usada para producir polímeros, y luego aplicada a metales; esta evolución hizo posible su entrada en los sectores industriales tradicionales, como la industria aeroespacial, mecánica y otros sectores relacionados. No obstante, la introducción de esta tecnología en el contexto mencionado anteriormente, pone en la mesa de los investigadores algunos cuestionamientos acerca de la gestión de esta tecnología en contextos más complejos, caracterizados por la integración con otras máquinas.

Resultados: Las palabras clave investigadas en relación a la gestión de las operaciones son (Fera et al., 2018): (i) organización de la producción; (ii) equilibrio de la producción; (iii) calidad de la producción; (iv) ciclo de vida de la producción y; (v) sustentabilidad de la producción. Desde este punto de vista, la literatura analizada respecto a la gestión de operaciones utilizando manufactura aditiva no está bien cubierta aún desde el punto de vista de la investigación. Esto se puede mostrar en la siguiente figura, que muestra las publicaciones relacionadas a la gestión de operaciones en función del año de publicación, según la temática especificada.

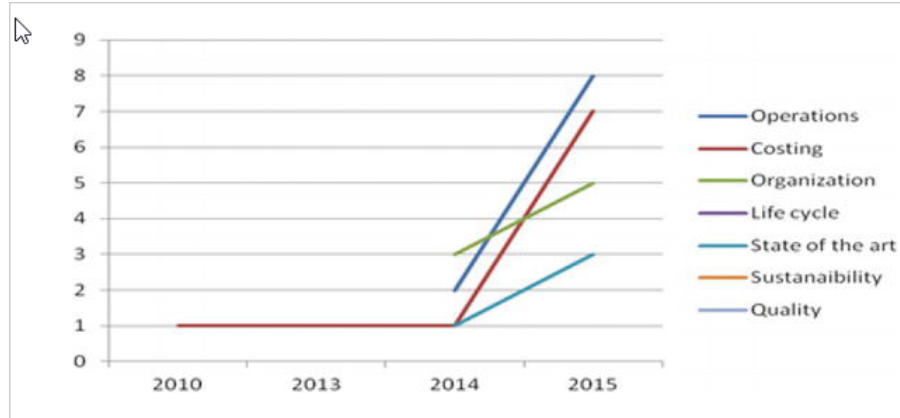


FIGURA 3.1: Número de publicaciones por año y según temática (Fera et al., 2018)

El primer punto de partida para ser desarrollado en el futuro está enfocado, principalmente, en la definición de modelos de la contabilidad de costo, y también en el modelo de programación para manufactura asistida. El costo total de fabricación para cada geometría es obtenido a través de la suma de costos por cada paso.

$$C_{tot}(G_i) = C_{prep}(G_i) + C_{buidjob}(G_i) + C_{setup}(G_i) + C_{build}(G_i) + C_{removal}(G_i)$$

Donde:

C_{tot} es el costo total de fabricación por cada parte con i-ésima geometría [\$/pieza]

G_i es la i-ésima geometría.

C_{prep} es el costo de preparación de los datos de la geometría (orientación, soportes, estructuras, etc.) [\$/pieza]

C_{build} es el costo de trabajo de ensamblaje y construcción [\$/pieza].

C_{setup} es el costo de seteo de la máquina [\$/pieza].

C_{build} es el costo de construcción de una pieza con una i -ésima geometría [\$/pieza].

$C_{removal}$ Costo de remoción de la pieza con i -ésima geometría desde la cámara de la máquina [\$/pieza].

EL primer paso del proceso presentado en este documento son los datos del diseño de la geometría, que incluye orientación y estructura de soporte generada. Una posible formulación para este costo considera el valor específico del costo referido al número de partes producidas, por cada geometría.

$$C_{prep}(G_i) = (C_{op.pre} + C_{PC}) \cdot \frac{T_{prep}(G_i)}{N_i}$$

Donde:

C_{prep} costo de preparación de los datos de geometría (orientación, estructuras de soporte, etc)[\$/pieza]

G_i es la i -ésima geometría. [-]

$C_{op.pre}$ Tarifa por hora del operador de pre-proceso [\$/hora]

C_{PC} Tarifa por hora del espacio de trabajo, incluido costos requeridos de software y herramientas [\$/hora].

T_{prep} Tiempo requerido para preparar los datos de CAD [h].

N_i Cantidad de piezas con i -ésima geometría [-]

Cuando las actividades previas, es decir, la preparación de la geometría y la fase de planificación, están completas, comienza la fase de producción. Este proceso incluye la importación de los datos y la configuración de la máquina. Durante esta fase, la máquina no debe estar en uso, es por esta

misma razón que se incluye el costo horario. También, en este caso, se usó el volumen de las piezas como un criterio de distribución en la formulación final. Así:

$$C_{setup}(G_i) = (C_{op.mach} + C_{mach}) \cdot (T_{setup} + (F_{mat.ch} \cdot T_{mat.ch}) \cdot F_{inertgas} \cdot \frac{V(G_i)}{\sum_{i=1}^n V(G_i) \cdot N_i})$$

Donde:

C_{setup} es el costo de configuración de la máquina [\$/pieza]

G_i i-ésima geometría[-]

$C_{op.mach}$ tarifa por hora del operario de la máquina [\$/hora]

C_{mach} costo por hora de máquina [\$/hora]

T_{setup} Tiempo requerido por la configuración de la máquina [h]

F_{mat-ch} Factor para modelar la frecuencia del cambio de material [-]

$T_{mat.ch}$ Tiempo requerido para el cambio de material [h]

$F_{inertgas}$ Factor para modelar el esfuerzo requerido por manipular en ambiente protector de gases.

V es el volumen de la geometría.

N_i Cantidad de piezas para cada i-ésima geometría [-].

En la fórmula anterior, es posible incluir el tiempo extra de trabajo debido al uso de gas protector ($F_{inertgas}$), el cual es un factor que puede ser 1 o 0. También, el cambio de material puede ser considerado a través de un factor que, al igual que el anterior, puede ser 1 o 0 ($F_{mat.ch}$). Además, si el costo está dividido en más trabajos, esta formulación puede ser utilizada como una fracción. El costo por hora de la máquina se obtiene dividiendo el costo de

compra de ésta por el periodo de depreciación de la máquina, y su tiempo de actividad por año.

$$C_{machine} = \frac{Cost_{machine}}{h \cdot upt}$$

Donde:

$C_{machine}$ es el costo por hora de la máquina [\$/h]

$Cost_{machine}$ es el costo de compra de la máquina [\$]

h es el periodo de depreciación de la máquina [Años]

upt es el tiempo de actividad de la máquina [horas/año]

A continuación, se muestra la fórmula para el cálculo de los pasos de construcción de las piezas. En esta fase, se considera la fabricación de todas las piezas en la cámara. EL costo considera:

- Máquina
- Energía
- Material
- Gas

$$C_{build} = T_{build}(G_i) \cdot (C_{mach} + C_{inertgas} \cdot Gas_{cons} + C_{energy} \cdot P_{cons} \cdot K_u) + M(G_i) \cdot (C_{material} \cdot W_f)$$

Donde:

C_{build} es el costo de construcción de una pieza con i-ésima geometría [\$/pieza]

G_i es la i-ésima geometría [-]

T_{build} es el tiempo total de construcción [horas]

$C_{machine}$ es el costo por hora de la máquina [\$/hora]

$C_{inertgas}$ es el costo del gas inerte [\$/m³]

Gas_{cons} es el consumo promedio de gas [m³/hora]

C_{energy} es el costo de energía [\$/KWh]

P_{cons} es la potencia consumida [kW]

M es la masa de la geometría [kg]

$C_{material}$ es el costo del material [\$/kg]

W_f es el factor de desecho para el polvo [-]

Cuando la operación de construcción concluye, es necesario remover las piezas fabricadas y el sustrato desde la cámara de la máquina. De la misma forma, en este caso se incluye el factor de modelo, esto es considerar el tiempo extra de esfuerzo por trabajar en un ambiente gas protector. EL criterio de localización para este costo está basado en el volumen de las piezas.

$$C_{rem}(G_i) = T_{rem} \cdot (C_{op.mach} + C_{mach}) \cdot \frac{V(G_i)}{\sum_{i=1}^n V(G_i) \cdot N_i} \cdot F_{inertgas}$$

Donde:

C_{rem} es el costo de remoción de la pieza con i-ésima geometría desde la cámara [\$/pieza]

G_i i-ésima geometría[-]

T_{rem} Tiempo requerido para remover la pieza desde la cámara de la máquina [\$/hora]

$C_{op.mach}$ Tarifa horaria del operador de la máquina [\$/hora]

C_{mach} Costo por hora de la máquina [\$/hora]

$F_{intertgas}$ Factor para modelar el esfuerzo requerido por manipular en ambiente protector de gases.

V es el volumen de la geometría.

N_i Cantidad de piezas para cada i-ésima geometría [-].

El problema de la programación en la fabricación aditiva, diferente a la programación tradicional de máquinas, ha sido un desafío a resolver desde que esta tecnología comenzó a ser parte permanente dentro de los entornos de producción en diferentes empresas, especialmente en el campo de la defensa y la industria aeroespacial. La pregunta que se busca responder es común en todos los problemas vinculados a la programación de los procesos, es decir: *¿cuál es la programación que permite respetar las fechas de producción con el menor costo?*. Si bien la pregunta es la misma, el contexto de la fabricación aditiva es muy diferente al de producción tradicional, ya que la actividad se realiza durante toda la fase de diseño y transferencia de datos desde la estación de trabajo; además, se nota el hecho que con la manufactura aditiva es posible producir varios y complejos tipos de geometrías en la misma ejecución de la producción. Por esta razón, se debe introducir un modelo "multiobjetivo" para la programación. El marco de trabajo del desarrollo es parecido a los problemas tradicionales de la programación de la producción pero, en este caso, las órdenes de producción son entradas para la máquina de fabricación aditiva.

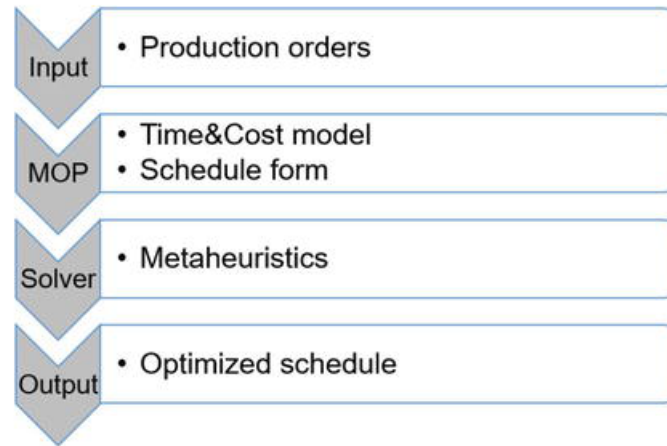


FIGURA 3.2: Marco de trabajo para la programación de la producción (Fera et al., 2018)

Además, cada orden es caracterizada según los siguientes atributos:

Atributo	Descripción	unidades
d_1	demanda de la i -ésima geometría	[pieza]
dd_1	fecha límite para la i -ésima geometría	[día]
V_1	Volumen de la i -ésima geometría	[cm^3]

TABLA 3.1: Atributos y descripción para programación de la producción en máquinas de fabricación aditiva (Fera et al., 2018).

Una vez que se listan los atributos para las órdenes de producción, se debe señalar que para este caso se aplicará un modelo de tiempo y costo. Particularmente, se debe considerar el tiempo total o tiempo para producir una unidad de la i -ésima geometría (CT) y el costo total de la pieza (TPC).

Conclusiones: Se pudo realizar el intento de analizar y categorizar los temas relacionados con los problemas de producción de la fabricación aditiva. Esta tecnología comenzó a transformarse en una solución industrial reciente y, entonces, esta fue reconocida como una interesante temática con

la posibilidad de profundizar la investigación en el área, acaso estas tecnologías logran un buen nivel de madurez en términos de la resistencia mecánica, y sus tolerancias. Después de este primer paso de análisis, el estado de las investigaciones acerca de la gestión de las operaciones en el campo fue analizada y estudiada. Este capítulo define un camino preciso para la revisión de la literatura, y es analizada y categorizada con el método mencionado anteriormente. Del análisis de la literatura realizado, fue bastante claro desde la tecnología y de los niveles de calidad en la producción, y no son muchos los problemas abiertos, por tanto es posible concluir que la fabricación aditiva está lo suficientemente lista como para ser llevada al contexto industrial, dándole algunos ajustes que aún siguen necesitando para evitar problemas en la porosidad, tolerancias en la concentricidad y circularidad de las piezas trabajadas. Sin embargo, las piezas en metal pueden ser fabricadas directamente utilizando la manufactura aditiva, teniendo un buen nivel de confiabilidad de éstas, cuando es sometida a esfuerzos de tensión. La fabricación aditiva está evolucionando, así también la necesidad de entender los problemas en la gestión de la producción. No obstante, es posible decir esto teniendo en cuenta que desde el punto de vista de las propiedades mecánicas y sus propiedades existe una variedad de trabajos; pero no se puede decir lo mismo desde el punto de vista de la gestión. Así, este estado del arte puede identificarse como el primer punto de estudio en una importante problemática acerca de los métodos de medición y los procesos de coste cuando la manufactura aditiva es utilizada. Sumado a esto, la temática de la gestión se ve afectada desde una ausencia importante respecto a la información disponible. No obstante, una gran variedad de autores han comenzado a estudiar la problemática de la gestión relacionada a sistemas generales,

pero ninguno reconoce un límite principal en el nivel de conocimiento actual. Finalmente, en este documento fue presentado un modelo de asignación de costos que encaja con los requerimientos de esta nueva tecnología, así también formulaciones matemáticas para la programación de una máquina única de fabricación aditiva.

3.2 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA TEORÍA DE LA CONFIABILIDAD

Cruz, B. (2018). Aplicación de modelo RCM bajo las normas SAE JA1011 y JA1012 para mejorar la gestión del mantenimiento en la máquina flexoplegadora de cartón Martin 618. Universidad de Santiago de Chile.

Objetivos: Diseñar una propuesta basada en RCM para la máquina flexoplegadora de cartón MARTIN 618 que mejore los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad, conforme a un plan para la gestión del activo desde el foco de mantenimiento.

Resumen: El uso de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) contempla no solamente el estudio del equipo como tal sino de los subsistemas que lo conforman y la interacción con el entorno físico que lo rodea. En esta tesis primero se realizó la identificación de los subsistemas que tienen mayor incidencia en las fallas y en la prolongación de estas, aplicando un análisis de Pareto se reconocen aquellos subsistemas críticos para la producción, para luego estudiar caso a caso las fallas potenciales a través de un análisis de modos y efectos de falla (AMEF). Al definir los modos y las causas de las fallas se pudo establecer un catálogo de fallas completo para cada subsistema, en donde se condensa información relevante en cuanto a

criticidad de cada una ellas y el impacto en las metas de producción, mantenimiento, salud y medio ambiente; así como su priorización. Luego, mediante el desarrollo de la hoja de decisión RCM, con ayuda del árbol lógico, se determinaron las siguientes estrategias de mantenimiento para eliminar las causas de las fallas identificadas:

- Optimización del mantenimiento preventivo.
- Implementación de mantenimiento predictivo.
- Optimización del cambio sistemático de componentes en función de la frecuencia de las fallas.
- Implementación de inspecciones sensoriales por parte de los operadores.
- Identificación de mejoras en las instalaciones a cargo de Ingeniería de Mantenimiento.
- Identificación de repuestos críticos.

Como resultado de la aplicación de la metodología se espera lograr incrementar la vida útil de los componentes de los equipos, así como la disponibilidad de los mismos al disminuir las fallas y sus consecuencias, incrementando así la confiabilidad operacional del activo significando mayores beneficios económicos para la empresa.

Resultados: El activo seleccionado para este estudio muestra indicadores de seguridad operacional bastante desfavorables, una disponibilidad porcentual de un 42.8 % desde ningún punto de vista es concebible económicamente para una empresa, menos para una que, como es el caso de packaging CMPC chile, pretende ser líder en excelencia operacional a nivel internacional. Para complementar esto, el diagrama de Jack Nife es revelador para

indicar la posición que tiene el equipo en comparación con sus similares dentro del proceso productivo. Sugiriendo indudablemente que es necesario confrontar el problema y dar un paso hacia adelante en la gestión del activo. Es por eso que un estudio RCM es la mejor manera de dilucidar los principales problemas que están aquejando el funcionamiento de la máquina flexoplegadora MARTIN 618. Con la interpretación del diagrama de Pareto, establecimos que los focos estarían centrados en la plegadora, rapidset y slotter, con este primer paso sacamos provecho de abordar el 70 % de los objetivos, que para nuestro caso resultaría en un aumento de la confiabilidad y disponibilidad del equipo si logramos administrar las tareas de mitigación. Estos objetivos son las fallas que provocan intervenciones de emergencia deteniendo el activo mientras está produciendo. El segundo análisis de Pareto nos profundiza el estudio dando oportunidad de desentrañar los problemas desde su causa raíz, siendo este uno de los objetivos principales de la metodología evitando caer en redundancias o ineficiencia de las tareas por realizar un estudio demasiado superficial.

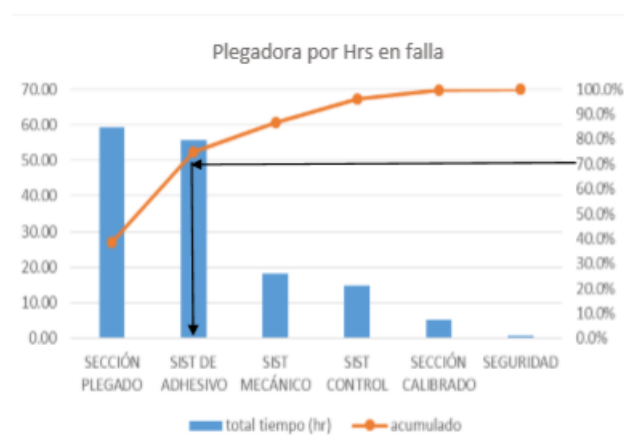


FIGURA 3.3: Diagrama de Pareto por número de fallas para Plegadora (Cruz, 2018)

Las fallas en los sistemas generalmente son aleatorias y su probabilidad

de ocurrencia pueden ser modeladas a través de diversos métodos matemáticos. Para la confiabilidad operacional la que más se adapta es la distribución de Weibull y al obtener el comportamiento de cada subsistema podemos establecer metas de confiabilidad o límites a los cuales la empresa está dispuesta a trabajar. Si observamos las curvas de confiabilidad de cada uno de los subsistemas críticos, tenemos que para la sección de plegado, el sistema de adhesivo y el árbol de ranurado a las 200 horas de funcionamiento tendrían una probabilidad de funcionamiento del 55 % lo que es muy bajo para una empresa de excelencia operacional, para el grupo de tinta y la lona de aspiración a las mismas 200 horas de funcionamiento presentan una probabilidad cercana al 64 % de confiabilidad.

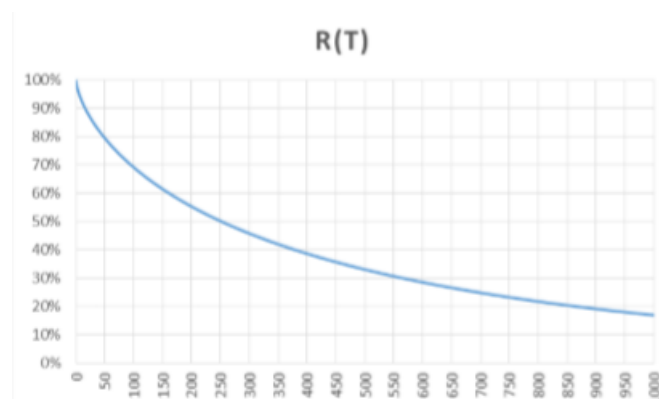


FIGURA 3.4: Curva de confiabilidad para la sección de plegado (Cruz, 2018)

MTBF [Hrs]	MTTR [Hrs]	β	θ	γ
219.4	1.78	0.8837	430.0546	0

FIGURA 3.5: Indicadores de mantenimiento para la sección de plegado (Cruz, 2018)

Conclusiones: El presente estudio RCM pretende brindar herramientas y conocimientos para la gestión de la instalación y con esto implementar un programa eficaz de mantenimiento, logrando llevar a la empresa a la

excelencia operacional que está buscando, aumentando la confiabilidad y mantenibilidad de sus equipos y otorgando grandes beneficios económicos. Claramente la metodología no debe terminar acá, sino que debe seguir un proceso constante. Ciertamente los principales problemas de hoy no serán los mismos de mañana si es que se logra satisfacer las necesidades que justificaron en primer lugar este análisis. Es indudable que el proceso debe seguir a través del tiempo y que debe involucrar a cada integrante del ciclo de producción.

3.3 TECNOLOGÍAS INNOVADORAS QUE UTILICEN CMMS PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.

Aransyash, D., Rosa, F., and Colombo, G. (2019). Smart maintenance: A wearable augmented reality application integrated with cmms to minimize unscheduled downtime. Computer-Aided Design and Applications.

Objetivos:

- Mostrar la integración de un sistema de información de activos como un CMMS con el sistema de realidad aumentada.
- Demostrar cómo la información integrada de activos de un CMMS con la tecnología de realidad aumentada puede reducir la indisponibilidad.

Resumen: El objetivo final de los encargados del mantenimiento en cualquier industria es maximizar el tiempo de actividad de la producción y mantener la indisponibilidad de los activos al mínimo. Estos factores afectan la capacidad de la industria para cumplir los plazos de producción, sin dejar de garantizar la buena calidad de los productos manteniendo los costos de producción al

mínimo. Para lograr este objetivo, se requieren herramientas innovadoras y métodos efectivos del mantenimiento. Estudios previos muestran que el crecimiento de la complejidad de las tecnologías de manufactura actual necesitarán incrementar las competencias, así como la capacitación del personal para resolver rápidamente las interrupciones que ocurren. Así, es difícil lograr una operación de reparación eficiente, especialmente cuando un fallo funcional de la máquina involucra varios posibles problemas, así como la asignación de las habilidades técnicas y fuentes para atender el fallo de equipo requieren más que solo la información reportada por el operador. La realidad aumentada es una de las tecnologías que emergen en el marco de trabajo de la Industria 4.0, que provee un camino para acelerar el proceso de mantenimiento y minimiza el servicio del trabajo de mantenimiento debido a la información limitada entregada por el operador.

Resultados: El desarrollo de un sistema RA-CMMS para el mantenimiento fue demostrado en una impresora 3D, la cual es una tecnología emergente que transformará el cómo los productos serán fabricados en el futuro. Debido al avance que subyace en esta tecnología, el mal funcionamiento de una impresora 3D puede ser causada por diversas fuentes. En este estudio, se consideran dos tipos de fallas: fallas que involucren un componente que se puede reparar, y fallas que requieren cierta experiencia para resolver el problema. Los pasos para desarrollar el sistema RA-CMMS son los siguientes: la relación entre los diferentes componentes fue diseñada para un almacenamiento eficiente de un alto volumen de datos.

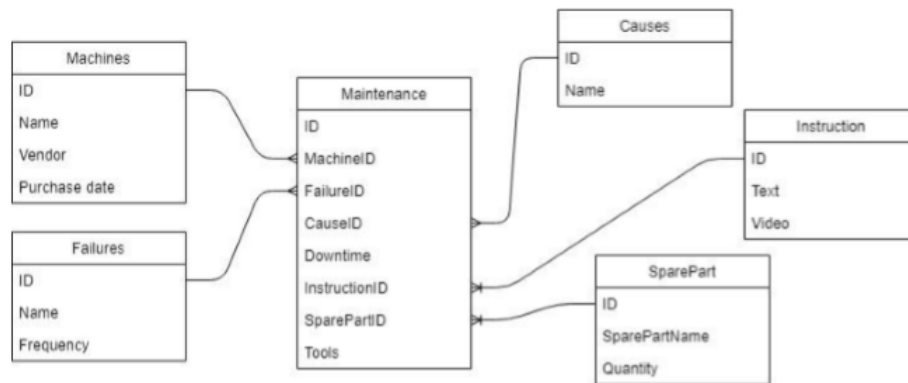


FIGURA 3.6: Diagrama UML que describe la relación de los registros entre máquinas, fallas, causas y acciones de mantenimiento (Aransyash et al., 2019)

En segundo lugar, la interfaz de usuario fue diseñada para presentar la información relevante del activo. Por ejemplo, las instrucciones de mantenimiento pueden ser presentadas en formato de texto o mensajes verbales, seguidos por etiquetas para determinar con precisión la localización del objetivo con animaciones 3D o vídeos. La interacción con la interfaz del usuario fue realizada según la visión del usuario hacia el objeto, y el reconocimiento de comandos se realiza con gestos manuales o a través de la voz, con el objetivo de navegar en el menú o el control de contenidos digitales. El objetivo a través de la realidad aumentada (es decir, la imagen objetivo), es anexada a la impresora 3D para entrega la localización en la cual el contenido digital debe ser puesto según el marco de referencia en la visión del usuario. Así, el usuario puede acceder a la funcionalidad a través de la aplicación de Realidad aumentada para el diagnóstico de las tareas, o crear ordenes de trabajo utilizando un teclado inalámbrico. Cuando ocurre una falla inesperada, el operador puede hacer un reporta a través del comando de voz o puede observar el tipo de falla y las posibles causas.

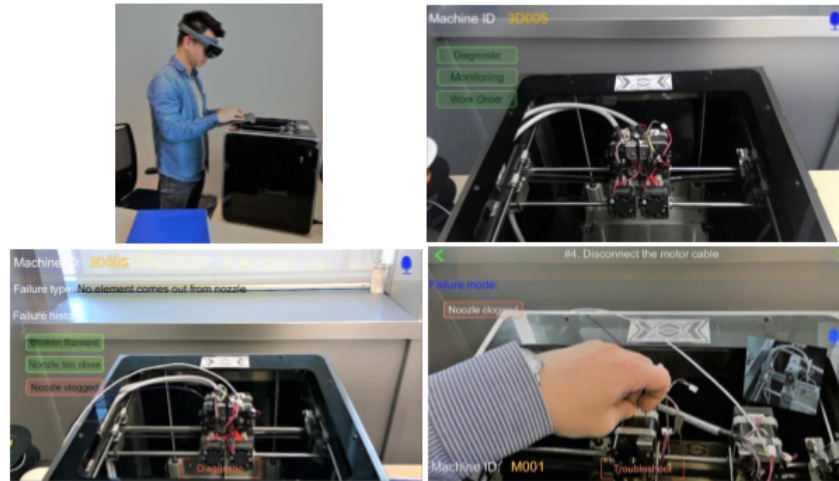


FIGURA 3.7: Sistema de Realidad Aumentada integrado con CMMS. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: (a) operador utiliza el sistema utilizando teclado inalámbrico; (b) funcionalidad del sistema; (c) operación de diagnóstico basado en el historial de fallas; (d) guía del sistema al operador a través de instrucciones de texto y video (Aransyash et al., 2019).

Conclusiones: El propósito principal de los sistemas de Realidad aumentada y la integración a través de CMMS es establecer una aproximación más efectiva para tratar con las paradas inesperadas en el contexto cotidiano de la industria, la cual es caracterizada por la complejidad, conectividad y diversidad del sistema de producción. A través de la obtención de información completa sujeta a la información de los activos y las buenas prácticas de las acciones de mantenimiento en el ambiente de la realidad aumentada, esta aproximación puede asistir al operador no capacitado, para diagnosticar instantáneamente, o reparar cualquier falla del equipo, minimizando el tiempo de reparación no programado. Además, la inspección inmediata de los activos con fallas en sus funciones puede ayudar a idear una planificación de mantenimiento más precisa y, de este modo, evitar las operaciones de mantenimiento no productivos. La reducción del tiempo de recuperación podrá mejorar la disponibilidad de los equipos y, por lo tanto,

incrementar la rentabilidad y la ventaja competitiva en la industria.

REFERENCIAS

- 3Dhub (2018). What is 3d printing? the definitive guide. Recuperado de: <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/>.
- 3dsourced (2020). The complete history of 3d printing: From 1980 to 2020. Recuperado de: <https://engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/6262/Infographic-The-History-of-3D-Printing.aspx>.
- Alexander, D. (2019). Start your own 3d printing business: 11 interesting cases of companies using 3d printing. Recuperado de: <https://interestingengineering.com/start-your-own-3d-printing-business-11-interesting-cases-of-companies-using-3d-printing>.
- All3DP (2016). The official history of the reprop project. Recuperado de: <https://all3dp.com/history-of-the-reprop-project/>.
- Aransyash, D., Rosa, F., and Colombo, G. (2019). Smart maintenance: A wearable augmented reality application integrated with cmms to minimize unscheduled downtime. *Computer-Aided Design and Applications*.
- Arun, L. (2012). Proposal for the fourth generation of maintenance and the future trends & challenges in production. Master's thesis, Mälardalen University Sweden.
- Berchon, M. and Luyt, B. (2014). *La impresión 3D: Guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes profesionales, artistas y manitas en general*. Editorial Gustavo Gill.
- Cruz, B. (2018). Aplicación de modelo rcm bajo las normas sae ja1011 y ja1012 para mejorar la gestión de mantenimiento en la máquina flexoplegadora de cartón martin 618. Universidad de Santiago de Chile.
- de León, F. G. (1998). *Tecnologías del Mantenimiento Industrial*. Universidad de Murcia. Servicio de Publicaciones.
- Fera, M., Macchiaroli, R., Fruggiero, F., and Lambiase, A. (2018). Production management fundamentals for additive manufacturing. *IntechOpen*.

- Fernández, F. G. (2005). *Teoría y práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*. Fundación Confemetal.
- Garrido, S. G. (2010). *Organización y Gestión Integral el Mantenimiento*. Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Greguric, L. (2018). History of 3d printing: When was 3d printing invented. Recuperado de: <https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>.
- Hide, M. (2013). Fourth generation maintenance. *Strategic Maintenance Ltd*.
- Houle, L. (2016). Fourth-generation maintenance. *Technical Quarterly*.
- Jorquera Ortega, A. (2016). *Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- leao, L. (2017). Cad vs cae vs cam: What is the difference? Recuperado de: <https://www.e3seriescenters.com/modern-electrical-engineering-blog/cad-vs-cae-vs-cam-what-is-the-difference/>.
- Maxey, K. (2013). Infographic: The history of 3d printing. Recuperado de: engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/6262/Infographic-The-History-of-3D-Printing.aspx.
- Mesa, D. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento.
- Palencia, O. G. (2012). *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial*. Ediciones de la U.
- Renstrom, J. (2012). Monkey see, monkey make. Recuperado de: <https://couldthishappen.com/2012/02/monkey-see-monkey-make/>.
- SAE (1999). *SAE JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centred Maintenance(RCM) Processes*. The Engineering Society For Advancing Mobility Land, Sea Air and Space.
- Shenoy, D. (2005). *Maintenance Resources Management Adapting MRP*. Taylor & Francis e-Library.
- Sifonte, J. (2017). Norma sae ja1011 – criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm). Recuperado de: <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>.
- Torre, R. (2013). Apuntes sobre el proyecto reprop. Recuperado de: <http://www.laboralcentrodearte.org/es/files/2013/bloglaboral/apuntes-sobre-el-proyecto-reprop>.

MANUAL DE USUARIO

.1 REQUERIMIENTOS

blablabla....

.2 INSTALACIÓN

blablabla....

blablabla....