

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

ÍNDICE DE CONTENIDOS

vi

2.1.1. Historia de la impresión 3D	6
2.1.2. Métodos de impresión 3D	8
2.1.3. Impresoras 3D FDM	8
2.1.4. Tipologías de impresión 3D FDM	8
2.2. Mantenimiento	8
2.2.1. Historia y evolución del mantenimiento	8
2.2.2. Mantenimiento correctivo	11
2.2.3. Mantenimiento preventivo	11
2.2.4. Mantenimiento centrado en la condición	11
2.2.5. Mantenimiento centrado en la confiabilidad	11
2.2.6. Confiabilidad	11
2.2.6.1. Función densidad de probabilidad	12
2.2.6.2. Media y varianza de una variable continua	12
2.2.6.3. Distribución normal	13
2.2.6.4. Distribución exponencial	13
2.2.6.5. Distribución de Weibull	14
2.3. Lean Manufacturing	15
2.3.1. Historia Lean Manufacturing	15
2.3.2. Herramientas de mantenimiento	15
2.4. Design Thinking	15
2.4.1. Metodologías ágiles	15
2.4.2. Design Thinking	15
2.4.3. Fases del Design Thinking	15
2.5. Herramientas de software	15
2.5.1. Lenguajes de programación orientada a objetos	15
2.5.2. Lenguajes de hojas de estilo	15
2.5.3. Bases de datos	15

2.5.4. Arquitectura Cliente-Servidor	15
2.5.5. API	15
2.5.6. Ordenadores de placa reducida	15
Referencias	16
Apéndices	16
Manual de Usuario	17
.1. Requerimientos	17
.2. Instalación	17

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Mi Figura	6
--------------------------	---

ÍNDICE DE TABLAS

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.

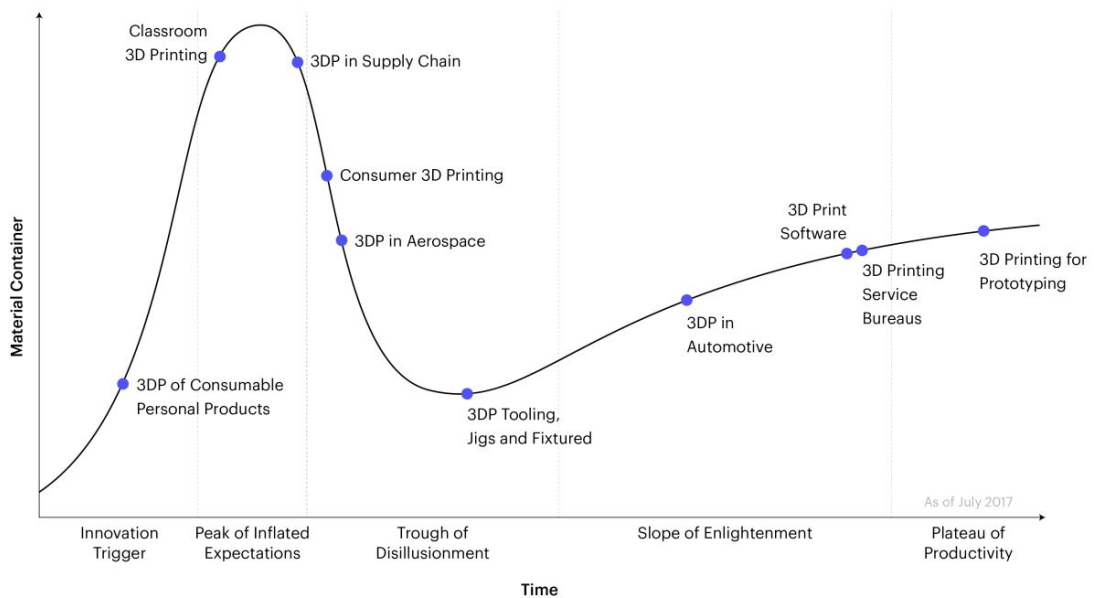


FIGURA 2.1: Mi Figura

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

El comienzo de la generación del concepto 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 materiales podían ser utilizados 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 Frances 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 ‘Chuck’ Hull 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).

2.1.2 Métodos de impresión 3D

2.1.3 Impresoras 3D FDM

2.1.4 Tipologías de impresión 3D FDM

2.2 MANTENIMIENTO

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 manufacturera realcen la importancia del mantenimiento. 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).

2.2.2 Mantenimiento correctivo

2.2.3 Mantenimiento preventivo

2.2.4 Mantenimiento centrado en la condición

2.2.5 Mantenimiento centrado en la confiabilidad

2.2.6 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). Esta segunda definición da a entender que existen herramientas

estadísticas que pueden ser utilizadas para obtener información acerca del cómo se comportan las fallas en el tiempo.

2.2.6.1 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.

2.2.6.2 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:

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

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:

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

2.2.6.3 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,

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

2.2.6.4 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 :

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

2.2.6.5 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

REFERENCIAS

- 3Dhub (2018). What is 3d printing? the definitive guide.
<https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/>.
- 3dsourced (2020). The complete history of 3d printing: From 1980 to 2020.
<https://engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/6262/Infographic-The-History-of-3D-Printing.aspx>.
- Berchon, M. and Luyt, B. (2014). *La impresión 3D: Guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes profesionales, artistas y manitas en general*. Editorial Gustavo Gill.
- Fernández, F. G. (2005). *Teoría y práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*. Fundación Confemetal.
- Greguric, L. (2018). History of 3d printing: When was 3d printing invented.
<https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>.
- 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?
<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.
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.

MANUAL DE USUARIO

.1 REQUERIMIENTOS

blablabla....

.2 INSTALACIÓN

blablabla....

blablabla....