



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

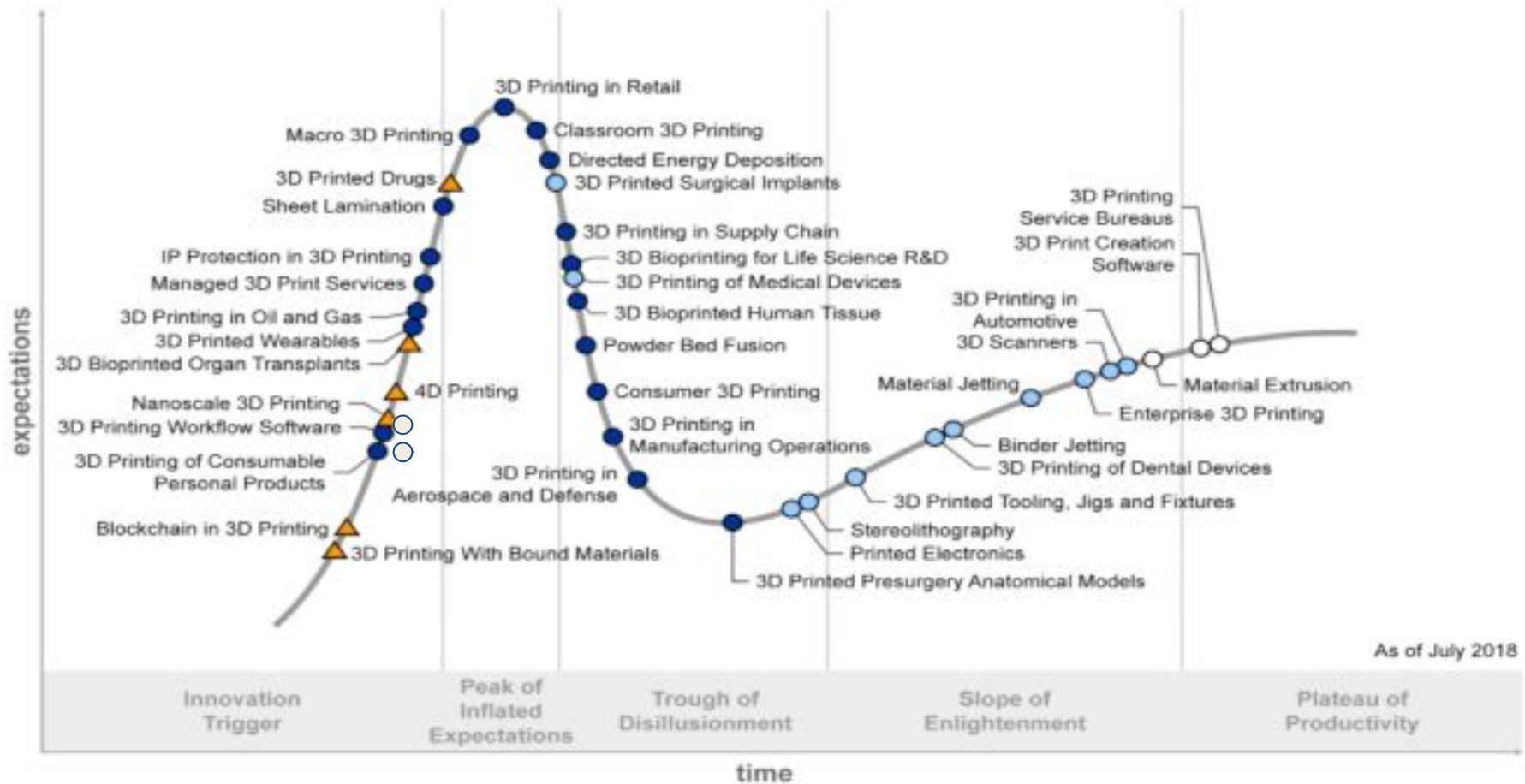
DESARROLLO DE APLICACIÓN PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE IMPRESORAS 3D FDM UTILIZANDO OCTOPRINT

Trabajo de titulación presentado en conformidad
de los requisitos para optar al título de
Ingeniero Civil en Mecánica.

2020 – PABLO ALEJANDRO RUZ DONOSO



ANTECEDENTES





UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

ANTECEDENTES

ISO/ASTM 52900

ISO 14224:2016

SAE JA1012



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

ANTECEDENTES





OBJETIVOS DEL PROYECTO

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.



OBJETIVOS DEL PROYECTO

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las variables implicadas en el proceso de impresión 3D que permitan obtener indicadores relacionados al mantenimiento.
2. Investigar compatibilidad entre hardware, software, protocolos de comunicación, y códigos de programación a utilizar.
3. Identificar registros y fichas técnicas de impresoras 3D.



OBJETIVOS DEL PROYECTO

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4. Determinar 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 orientada al usuario.



PROBLEMA

DESCRIPCIÓN

Imposibilidad de monitorización
de máquinas.

Impresoras detenidas
frecuentemente por
mantenimiento correctivo o
identificación de fallas.

Existencia nula o insuficiente de
datos referidos a los
mantenimientos realizados y el
material utilizado.



PROBLEMA

DEFINICIÓN

Imposibilidad de monitorización de máquinas.

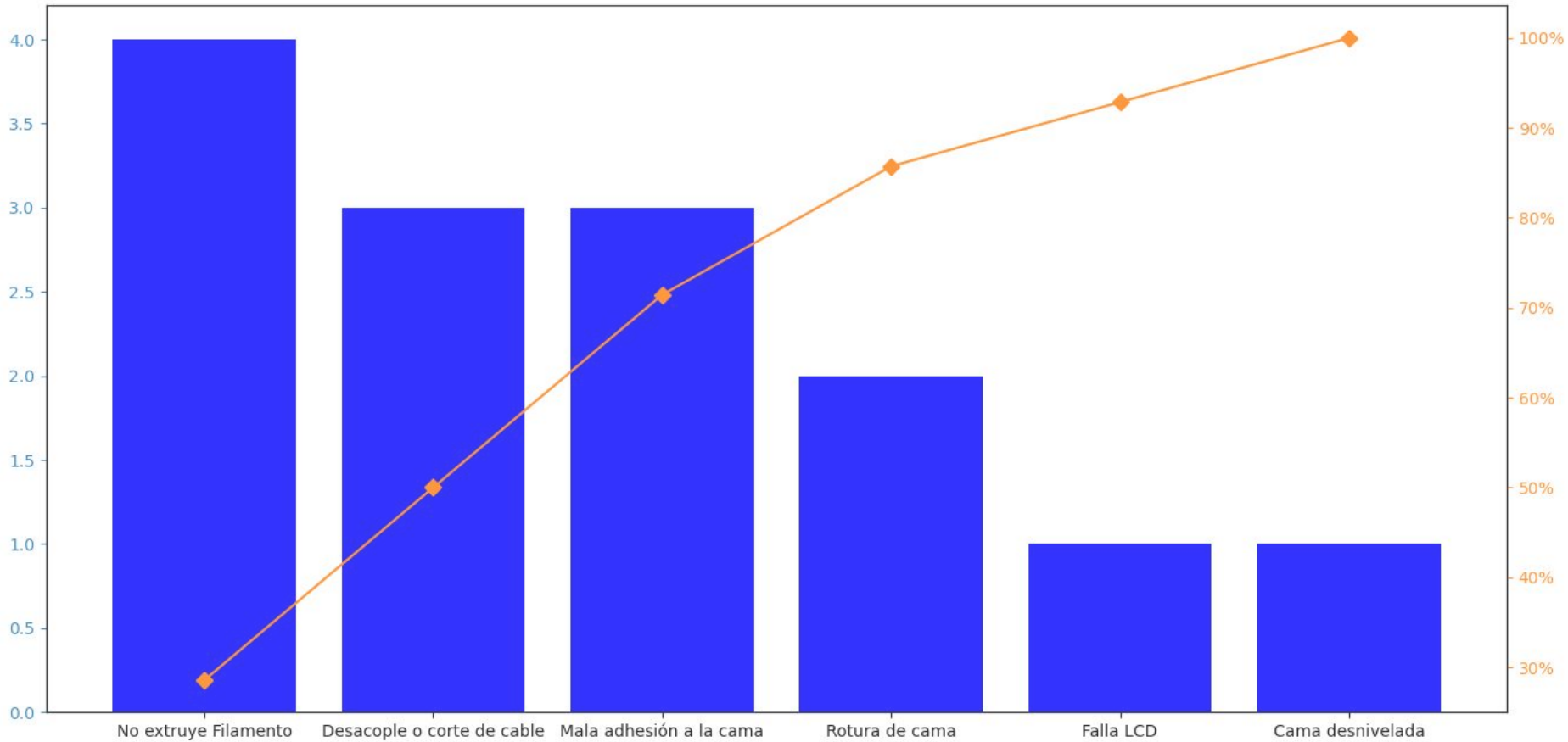
Impresoras detenidas frecuentemente por mantenimiento correctivo o identificación de fallas.

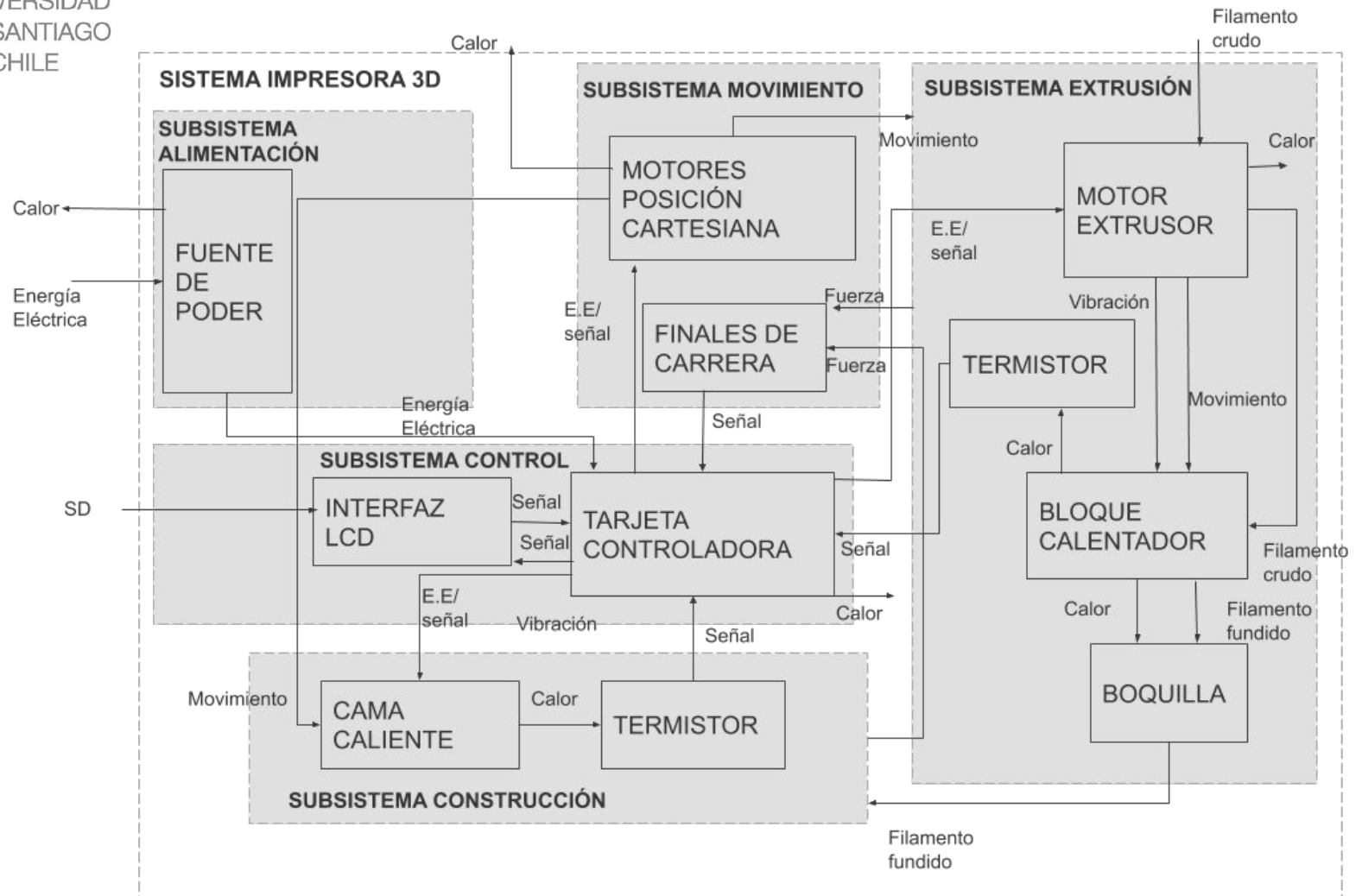
Existencia nula o insuficiente de datos referidos a los mantenimientos realizados y el material utilizado.



RCM: Análisis de Fallas

RESULTADOS





RCM: Delimitación de funciones

RESULTADOS



RCM: Árbol de Fallas

RESULTADOS



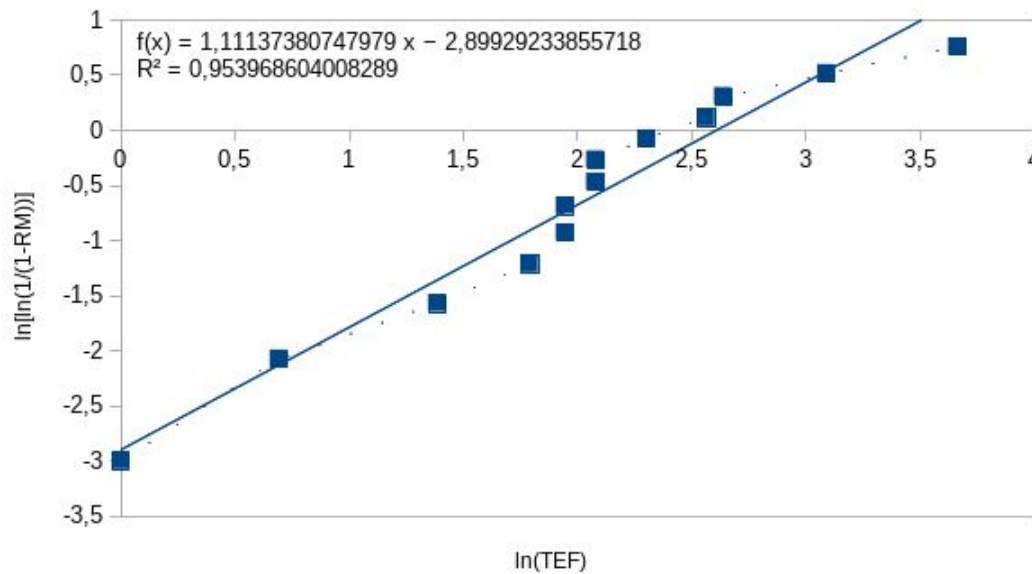
HOJA DE INFORMACIÓN RCM	ACTIVO		ACTIVO N°	
	SUBSISTEMA		SUBSISTEMA N°	
COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIO- NAL	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LAS FALLAS

HOJA DE DECISIÓN RCM		SISTEMA/ACTIVO				ACTIVO N°		
		SUBSISTEMA				SUBSISTEMA N°		
Referencia de Información	Evaluación de consecuencias	H1	H2	H3	Tareas a falta de	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
		S1	S2	S3				
		O1	O2	O3				
		N1	N2	N3				
F FF MF	H S E O				H4 H5 S4			



RESULTADOS

Resultados obtenidos de la linealización de los datos



β	1,1113738
b	-2,8992923
θ	13,58201254

Resultados obtenidos a través de la librería *Scipy* de Python

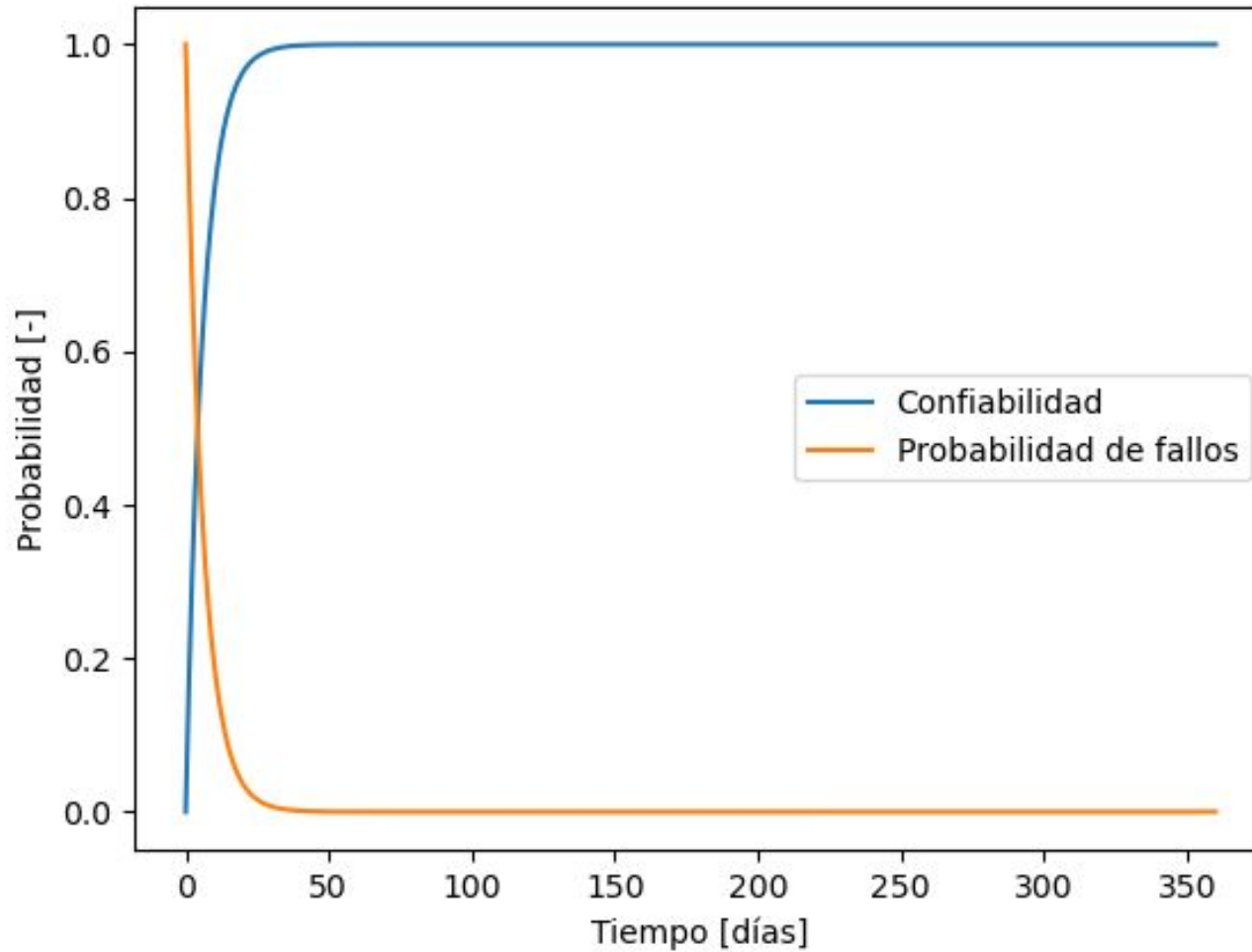
```
shape: 0.9554383829299531 scale: 13.133371155314343
```

```
ShapiroResult(statistic=0.9501206874847412, pvalue=0.6913892030715942)
```



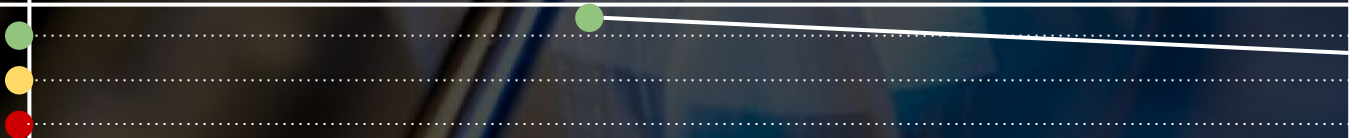

RCM: Confiabilidad

RESULTADOS



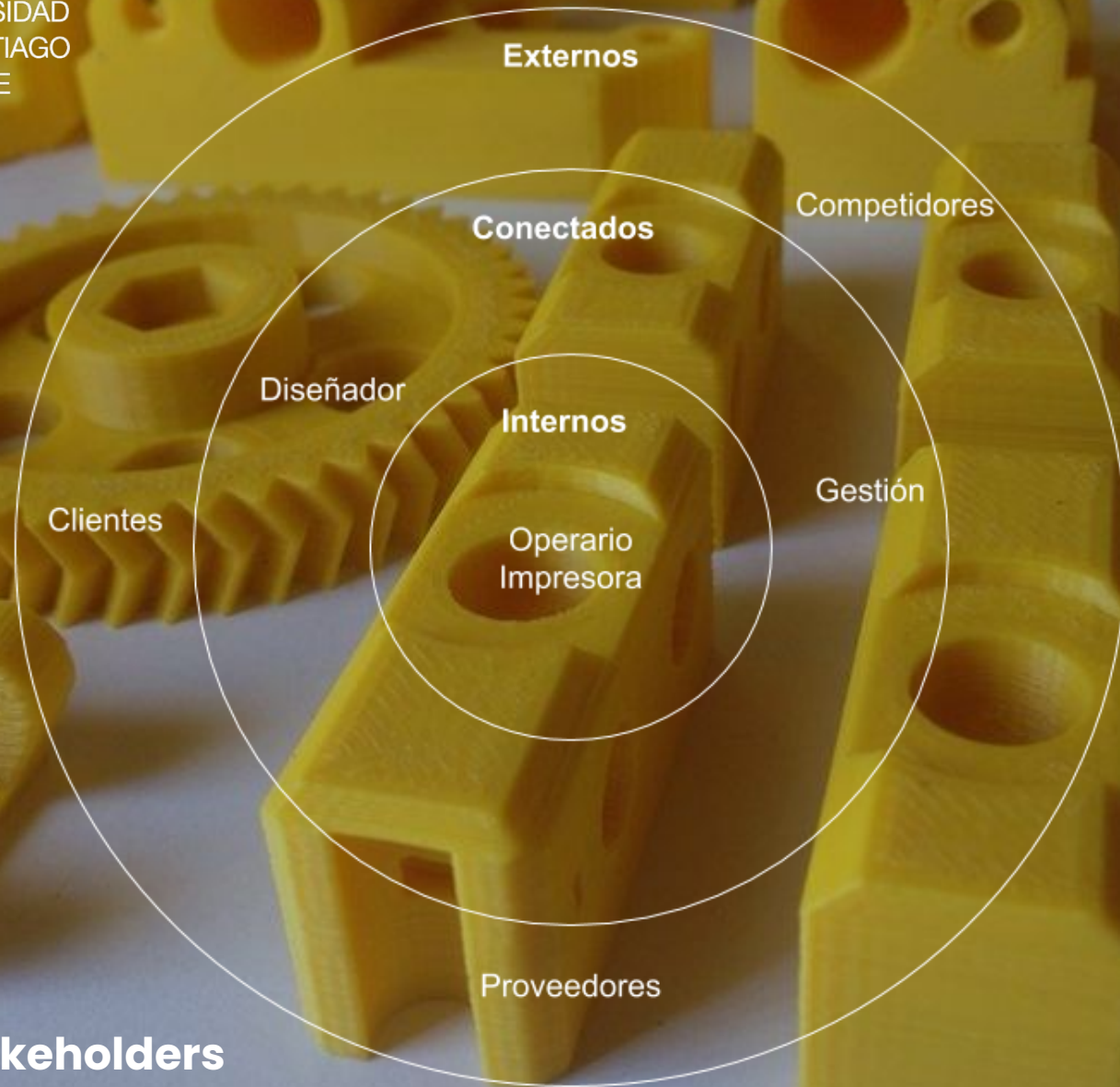


Design Thinking: Empatizar

FASES	Configurar parámetros de impresión en laminado
OBJETIVOS	Eficiencia de proceso de impresión (más y mejores piezas en menor tiempo)
PUNTOS DE CONTACTO	Se carga el archivo en .stl en el programa laminador y se introduce la tarjeta SD. Se seleccionan los parámetros necesarios dependiendo del análisis de uso. Luego, se verifica que la parametrización realizado cumpla con la cantidad máxima de material permitida y el tiempo destinado para la producción, finalmente se obtiene el archivo en formato . gcode
PENSAMIENTOS	Preocupación por la situación actual de la impresión (Limpieza, estado) o por que en el archivo tenga los parámetros equivocados o imprima mal
SENSACIONES	
CONCLUSIONES	<p>El usuario se siente satisfecho, porque existen diversas posibilidades de configurar el proceso en el cual estan interiorizados, por lo tanto se cuenta como virtud.</p> <p>Una preocupación es que la información referida al proceso de impresión no suele ser correcta (tiempos infravalorados, mayor tiempo al entregado por el laminador)</p> <p>Podría existir una oportunidad de mejora en casa de que se tuviera certeza del estado de maquina a utilizar, limpieza, cantidad de fallos en piezas similares, para poder determinar de mejor manera el tiempo dei impresión real.</p>



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE



Mapa de Stakeholders

Design Thinking: Empatizar



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

¿Quién?

Operario con varias
responsabilidades

¿Qué?

Aplicación desde
el computador
o móvil

¿Cómo?

De manera
gradual

**Técnica
5W**

¿Dónde?

Taller 3Dlux,
a través de interfaz
gráfica

¿Cuándo?

Mientras las
máquinas estén
operativas

Design Thinking: definir
RESULTADOS



Design Thinking: investigar

RESULTADOS

Búsqueda de referentes

- Público objetivo
- Relación con impresión 3D
- Mantenimiento de activos
- Gestión de procesos

Software y hardware a utilizar

- Raspberry Pi
- Octoprint
- Interfaz Gráfica
- API
- Request HTTP

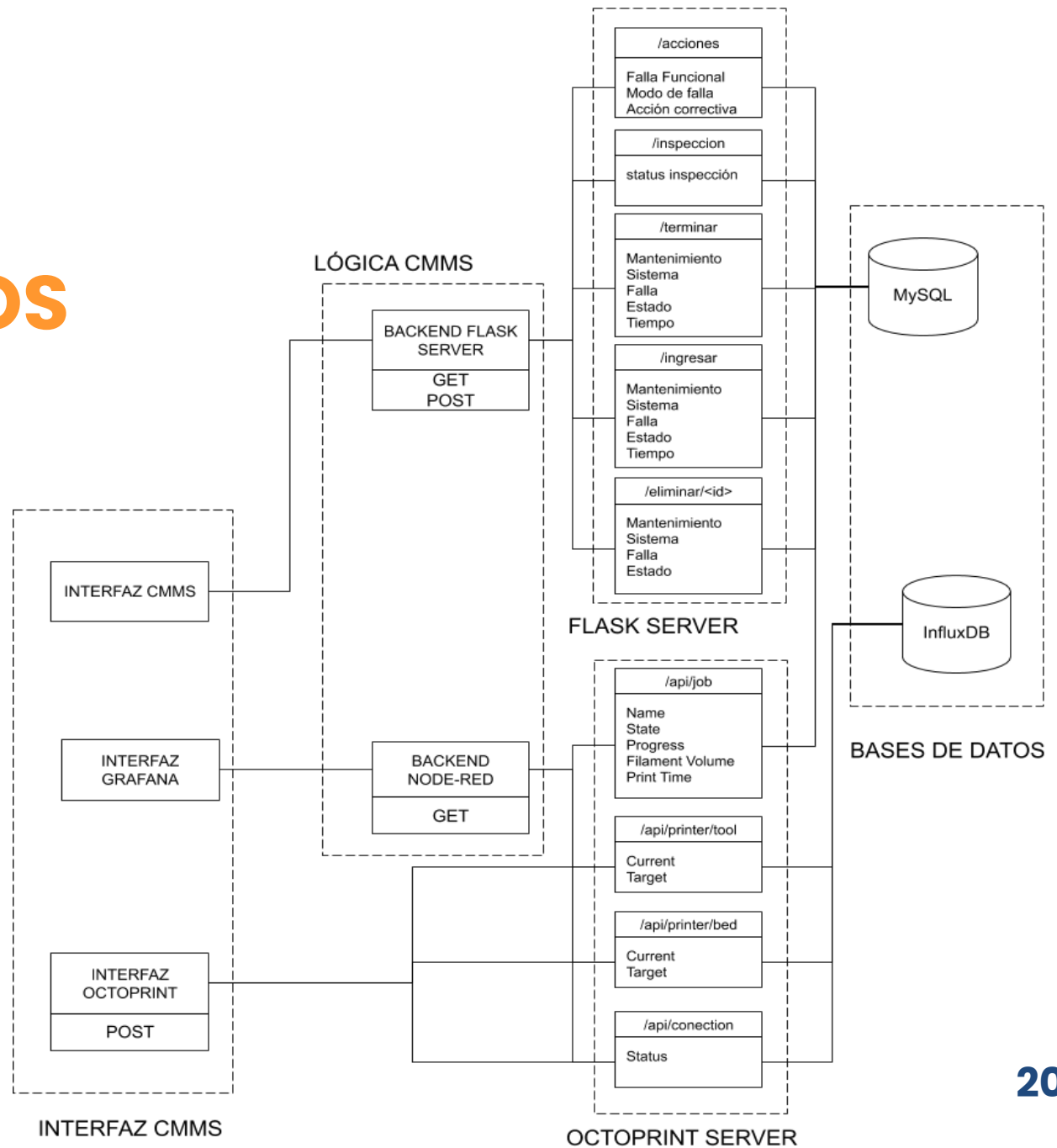
Herramientas de desarrollo

- Node-red
- Grafana
- Python
- Mysql



Design Thinking: Idear

RESULTADOS

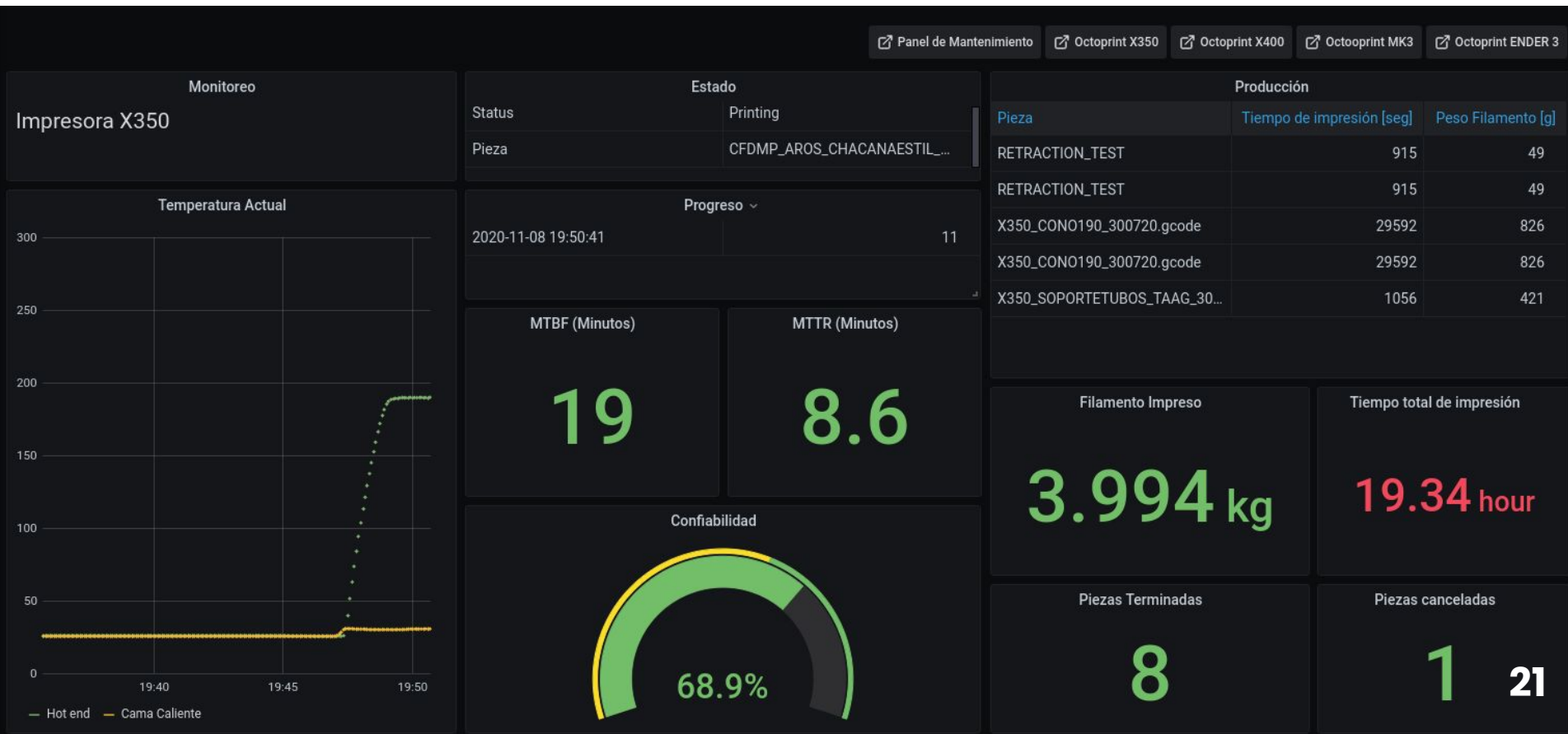




UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

Design Thinking: Prototipar

RESULTADOS





Design Thinking: Prototipar

RESULTADOS

OCTOCMMS ▾

METRICAS

OctoPrint X350

OctoPrint X400

OctoPrint PRUSA MK3

OctoPrint ENDER 3

Registro de falla

impresora

mantenimiento

sistema

falla

Iniciar mantenimiento correctivo

Terminar Mantenimiento

Última Acción de Mantenimiento

Marca Temporal	Impresora	Mantenimiento	Sistema	Falla	Estado	Operaciones
2020-11-03 23:57:30	X350	correctivo	extrusion	boquilla tapada	Terminado	<div>Eliminar registro</div>
2020-11-03 23:48:50	X350	correctivo	extrusion	boquilla tapada	En proceso	<div>Eliminar registro</div>
2020-11-03 23:37:55	X350	Correctivo	Termico	Calentador no llega a temperatura	Terminado	<div>Eliminar registro</div>
2020-11-03 23:29:24	X350	Correctivo	Termico	Calentador no llega a temperatura	En proceso	<div>Eliminar registro</div>



Design Thinking: Prototipar

RESULTADOS

OCTOCMMS ▾

METRICAS

OctoPrint X350

OctoPrint X400

OctoPrint PRUSA MK3

OctoPrint ENDER 3

Inspección previa a utilizar la máquina

- **Alimentación Eléctrica:** Revise la conexión de la fuente de alimentación de la máquina
- **Conexión a OCTOCMMS:** Revise su conexión a internet y que la máquina esté debidamente conectada al software
- **Sistema Mecánico:** deshabilite motores y mueva manualmente el carro extrusor y cama según corresponda
- **Nivelación de la cama:** deshabilite los motores y verique distancia vertical entre boquilla y cama. Esta debe ser aproximadamente la mitad del diámetro de la boquilla y paralela al plano de desplazamiento x-y
- **Sistema térmico:** Revise que boquilla y cama estén limpias y sin restos de filamento extruido, y que la cama no tenga restos de plástico o superficies de apoyo. Precaliente desde Octoprint y verifique que llegue correctamente a la temperatura configurada.
- **Sistema de extrusión:** una vez precalentada la boquilla, extruir filamento y verificar uniformidad del flujo

Listo

Última revisión previa

Estado

2020-11-15 20:05:18

Realizada

Inspección Semanal

- **Limpeza y lubricación:** Limpiar barras con papel absorbente y agregar lubricante en el contacto de las barras con los rodamientos.
- **Limpeza de extrusor en caliente:** Caliente el extrusor sobre un 20% de la temperatura configurada e inserte aguja limpiadora por la salida de la boquilla. Inserte el filamento y verifique que el flujo de material es uniforme y vertical

Listo

Última revisión semanal

Estado

2020-11-15 20:14:13

Realizada

Inspección Mensual

- **Gabinete y placa:** Desenergizar máquina, revisar y limpiar gabinete de placa controladora con alcohol isopropilico.
- **Limpeza de extrusor en caliente:** Caliente el extrusor sobre un 20% de la temperatura configurada e inserte aguja limpiadora por la salida de la boquilla. Inserte el filamento y verifique que el flujo de material es uniforme y vertical
- **Revisar estado de conexiones en cables de termistor y calentador**

Listo

Última revisión Mensual

Estado

2020-11-15 20:14:45

Realizada

23



CONCLUSIONES

- RCM permite identificar equipos críticos, análisis de la máquina, fallas, registro y planes de mantenimiento.
- Análisis estadístico de Weibull y su validación con test de Shapiro es útil para estimar confiabilidad y tasa de fallos.
- Utilización de Raspberry Pi para el control remoto de impresoras 3D.
- Datos obtenidos por HTTP en funciones de Node-red permite calcular matemáticamente indicadores como peso total, tiempo de impresión total, MTTR, MTBF.
- Se utilizaron bases de datos de series de tiempo para indicadores, y relacionales para gestión de datos.
- Interfaz tipo Dashboard con indicadores, control y registro de datos.



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

PROYECCIONES

- Utilización de actuadores y sensores para mayor control y medición de otras variables.
- Nuevas iteraciones para obtención de MVP.
- Escalabilidad y QA.

