



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 obtener el título de Ingeniero Civil en Mecánica

2020 - Pablo Alejandro Ruz Donoso

Antecedentes





Antecedentes

- ISO/ASTM 52900
- ISO 14224 2016
- SAE JA1012



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

Antecedentes





Objetivos

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

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.
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.



Descripción del problema

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.



Descripción del problema

Imposibilidad de monitorización de máquinas.

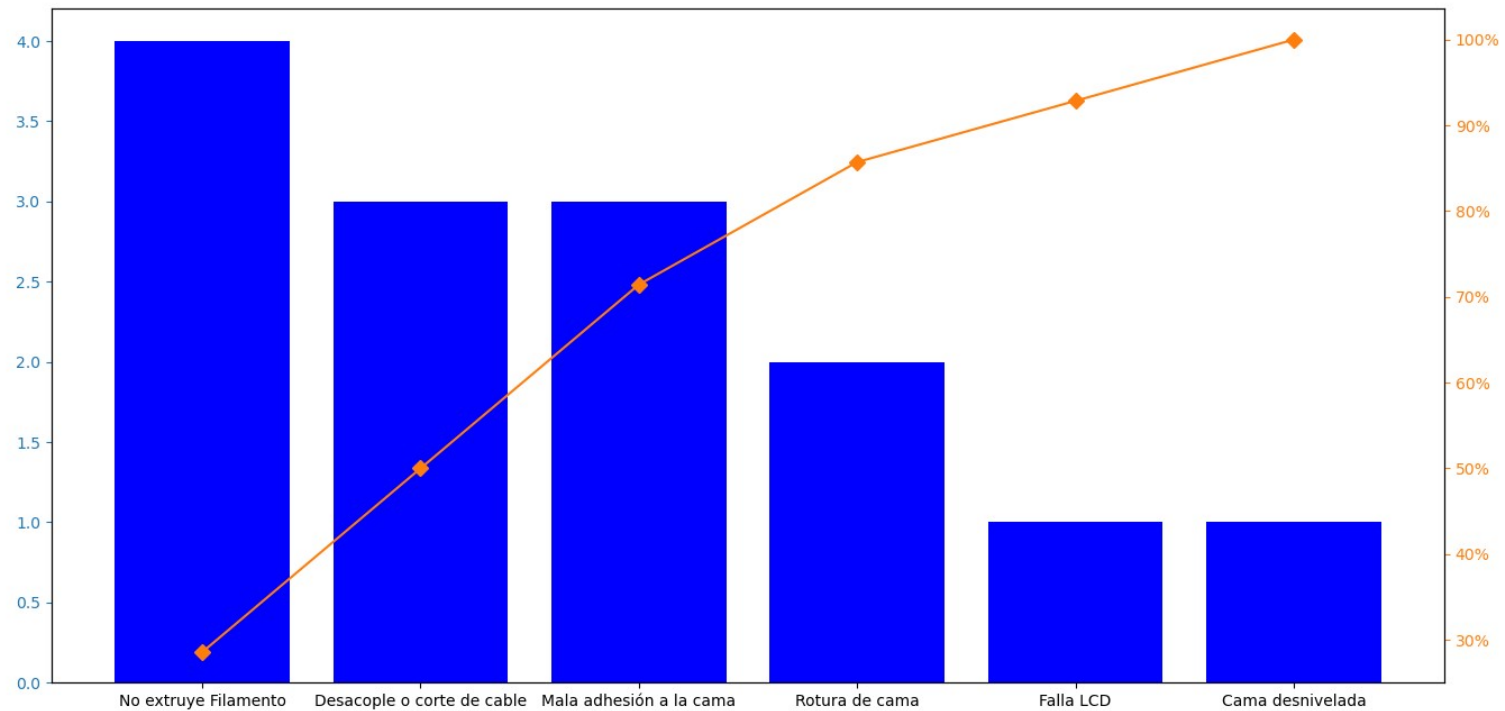
Impresoras detenidas frecuentemente por mantenimiento correctivo o identificación de fallas.

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



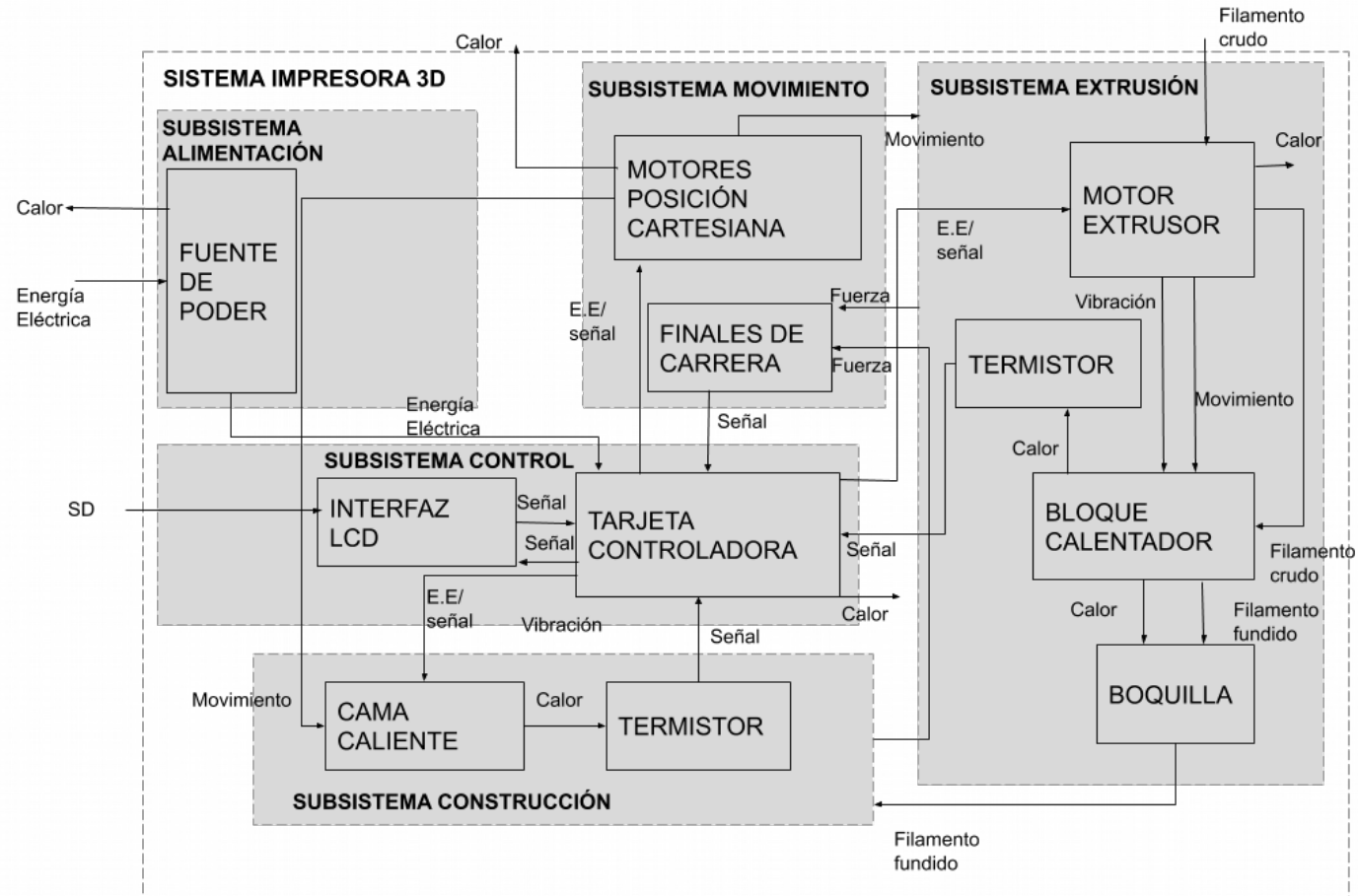
Resultados

RCM: Análisis de falla



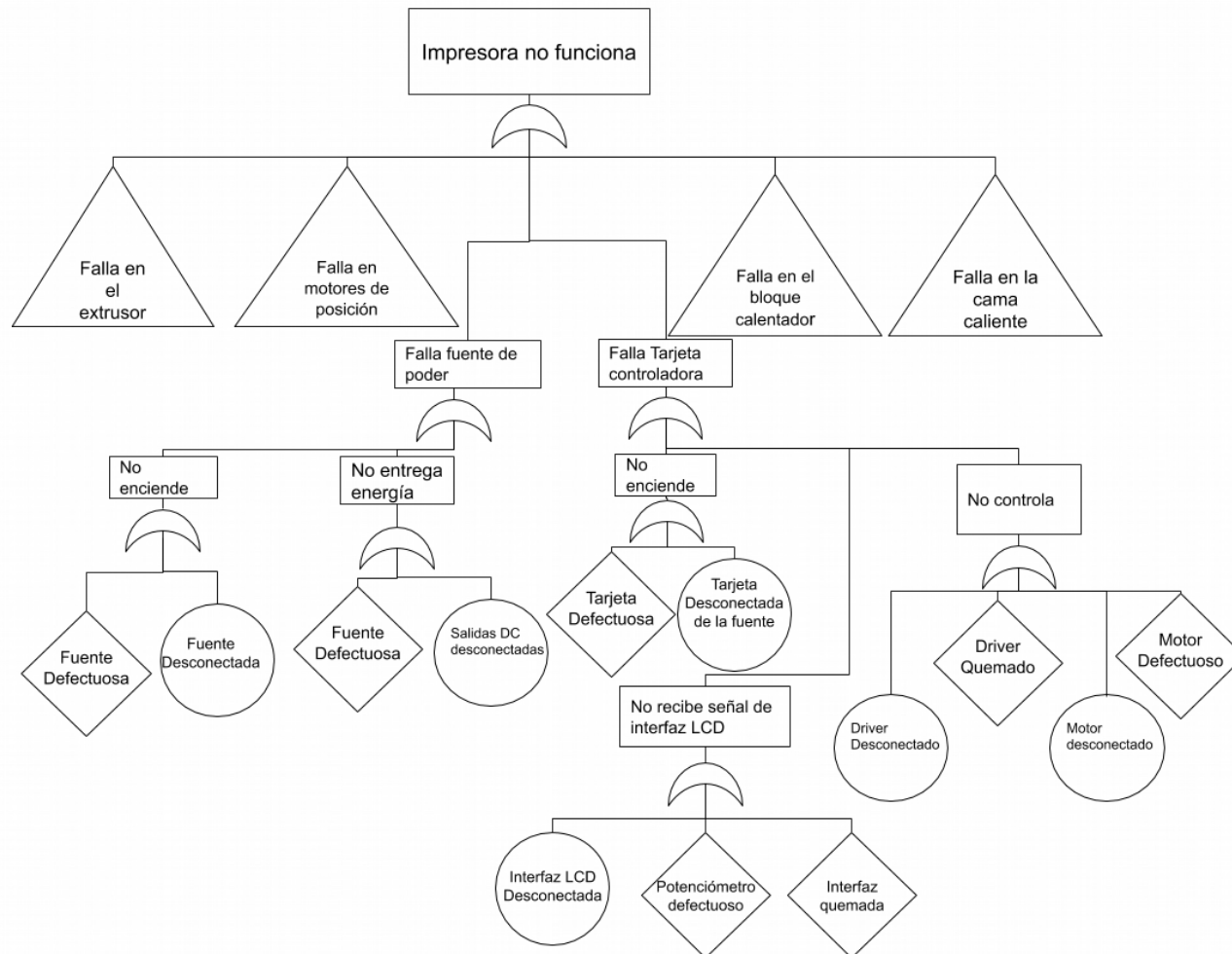
Resultados

RCM: Delimitación de funciones



Resultados

RCM: Árbol de Fallas





Resultados

RCM: AMEF

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

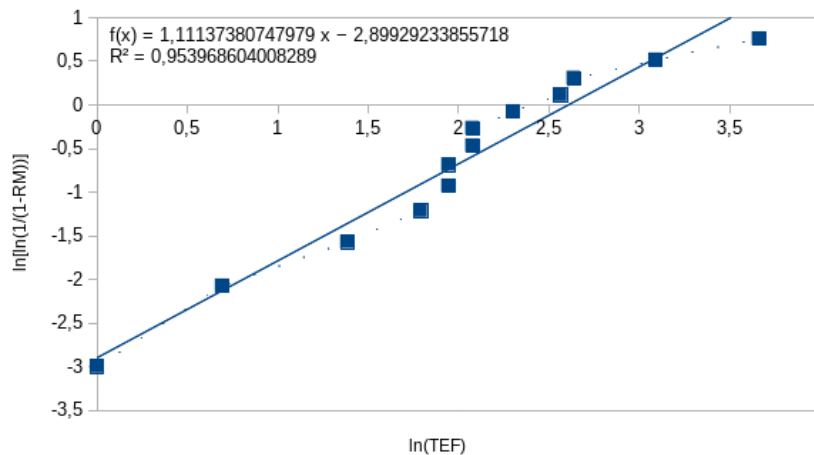
HOJA DE DECISIÓN RCM							SISTEMA/ACTIVO					ACTIVO N°					
							SUBSISTEMA					SUBSISTEMA N°					
Referencia de Información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Tareas a falta de			Tareas Propuestas		Frecuencia Inicial		A realizar por
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
F	FF	MF	H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



Resultados

RCM: Análisis estadístico de Weibull

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

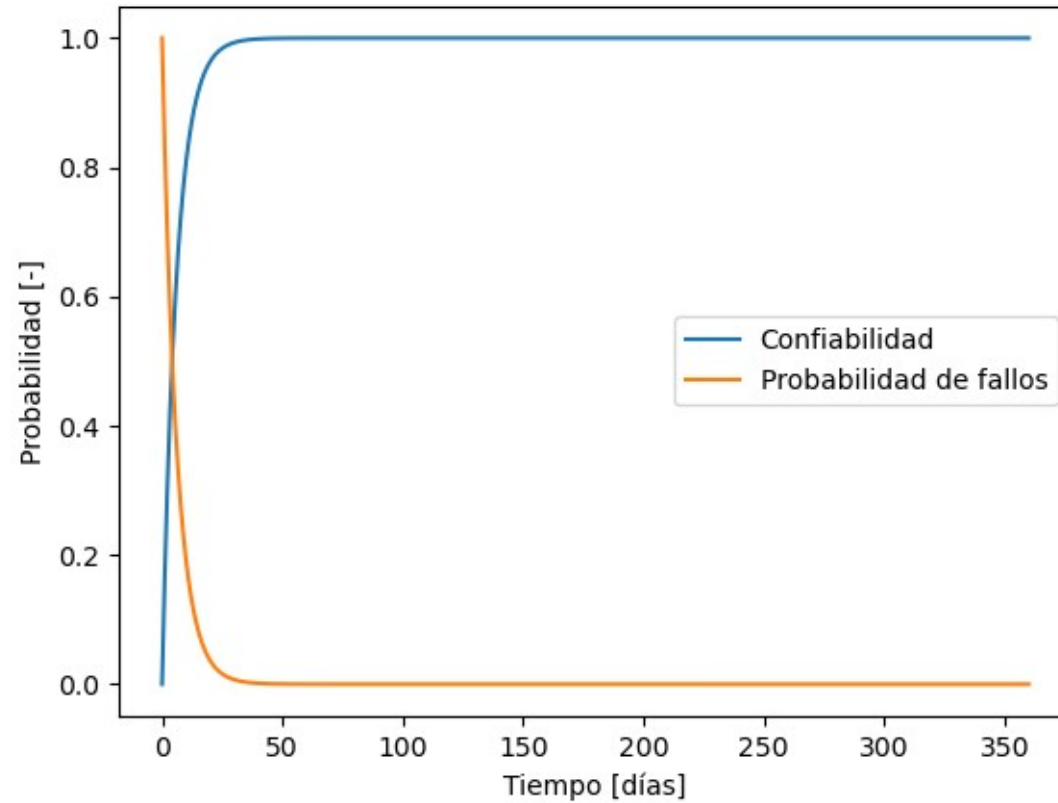
```
shape: 0.9554383829299531 scale: 13.133371155314343
```

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




Resultados

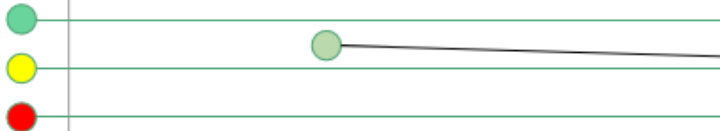
RCM: Confiabilidad



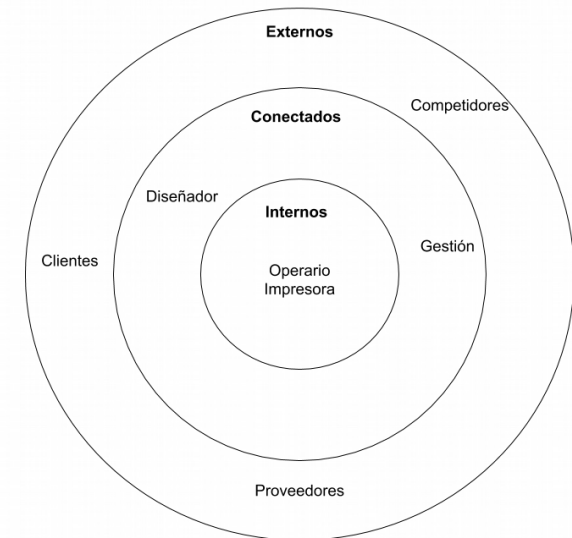


Resultados

Design Thinking: Empatizar

Fases	1.1 Configurar parámetros impresión en laminado
Objetivos	Eficiencia del proceso de impresión (más mejores piezas en el menor tiempo)
Actividad	Se carga el archivo en .stl en el programa laminador y se introduce tarjeta SD. Se seleccionan los parámetros necesarios dependiendo de análisis de uso. Luego, se verifica que el seteo realizado cumpla con la cantidad máxima de material permitida, y el tiempo destinado para la producción. Finalmente, se obtiene el archivo en formato .gcode
Puntos de contacto	Computador tarjeta MicroSD
Pensamientos	Preocupación por la situación actual de la impresora (limpieza, estado), o por que en el archivo tenga parámetros equivocados e imprima mal. Preocupación por si existirá disponibilidad de impresoras al momento de terminar de configurar la impresión.
Sensaciones	
Conclusiones	<p>El usuario se siente satisfecho, porque existen diversas posibilidades de configurar el proceso, y están interiorizados en este proceso, por tanto se cuenta como una virtud.</p> <p>Una preocupación es que la información referida al proceso de impresión no suele ser correcta (los tiempos son infravalorados y el tiempo real siempre es mayor al tiempo entregado por el laminador).</p> <p>Podría existir una oportunidad mejora en caso que se tuviera certeza del estado de la máquina a utilizar (está limpia, no ha fallado anteriormente) para piezas similares, y que pudiese estimar de mejor manera el tiempo de impresión real.</p>

Journey Map

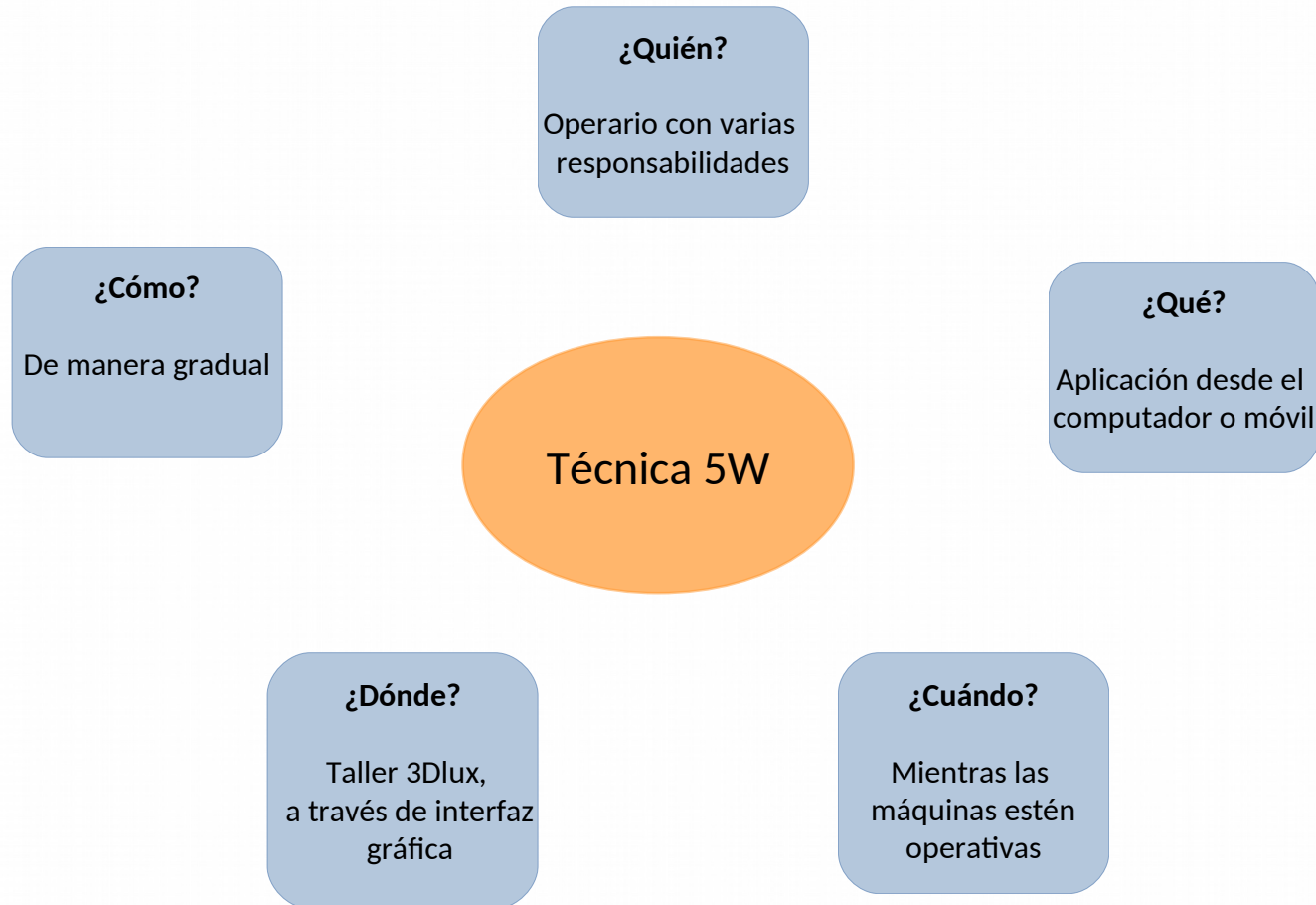


Mapa de Stakeholders



Resultados

Design Thinking: definir





Resultados

Design Thinking: Investigar

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

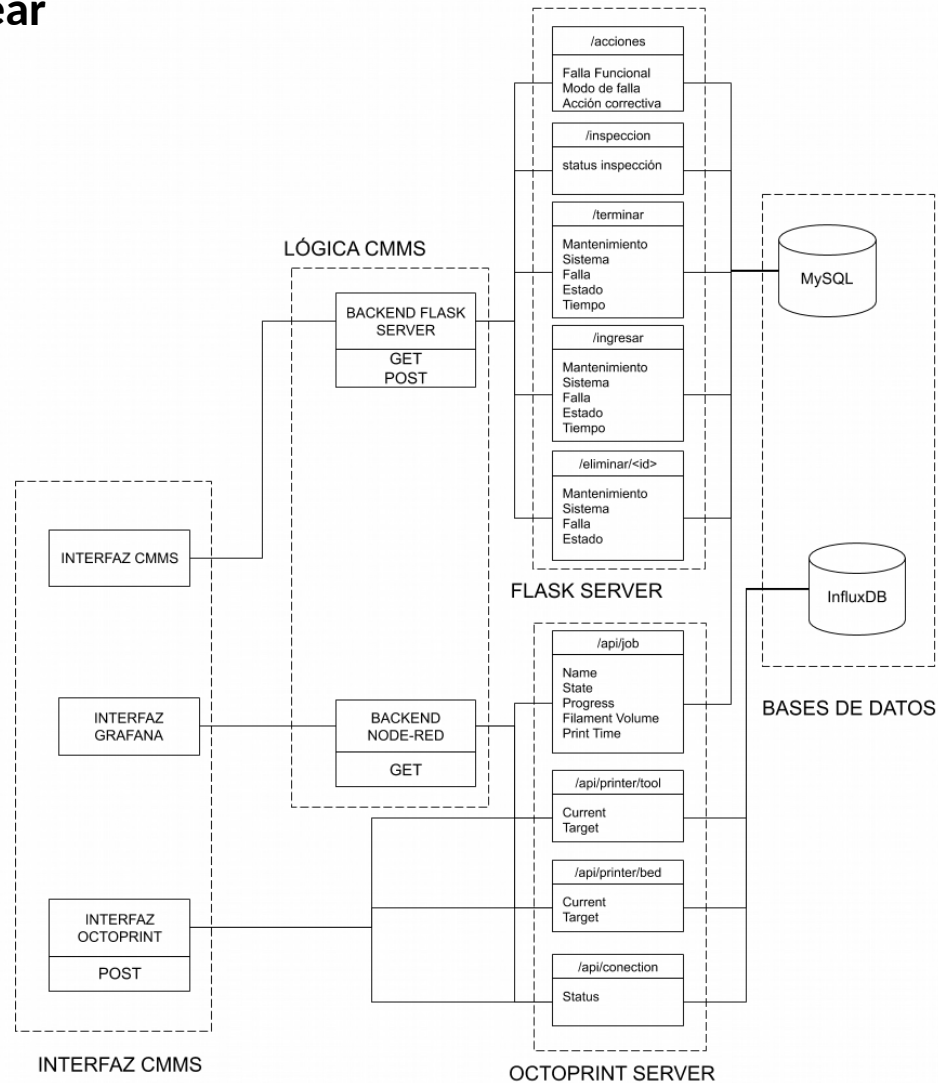
Herramientas de desarrollo

- Node-red
- Grafana
- Python
- Mysql



Resultados

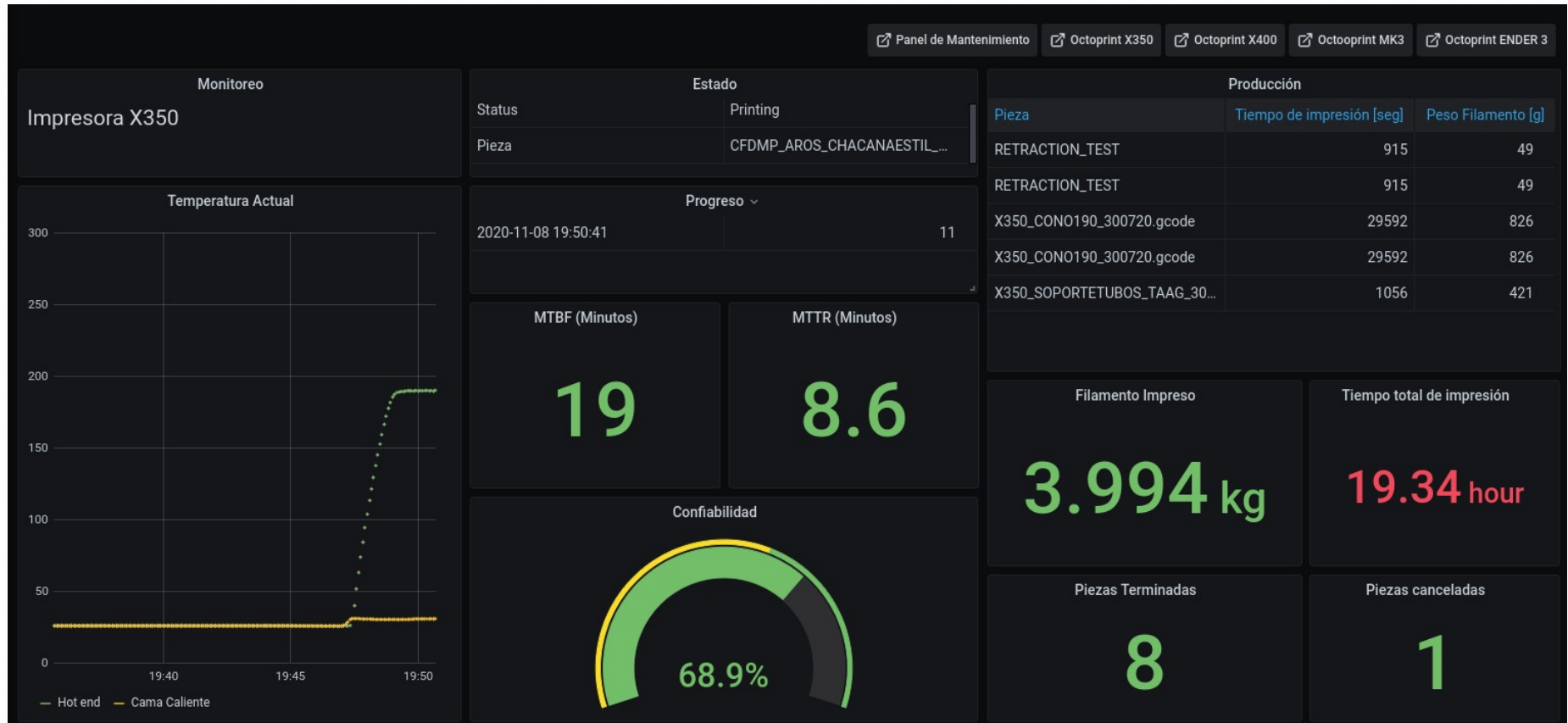
Design Thinking: Idear





Resultados

Design Thinking: Prototipar





Resultados

Design Thinking: Prototipar

OCTOCMS

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>



Resultados

Design Thinking: Prototipar

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

- **Limpieza y lubricación:** Limpiar barras con papel absorbente y agregar lubricante en el contacto de las barras con los rodamientos.
- **Limpieza 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.
- **Limpieza 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



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.



Proyecciones

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