

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL

TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

**“MONITOREO DE LA FABRICACIÓN DE LOS  
INTERCAMBIADORES COMPACTOS USANDO  
EL MÉTODO DE FUNDICIÓN POR CERA  
PERDIDA”**

**AUTOR: PUEBLA MONTERO CRISTIAN JAVIER**

**DIRECTOR: ING. HERNÁN VINICIO LARA PADILLA PhD**

**07-03- 2023**





# CONTENIDO

- Antecedentes y Justificación
- Alcance
- Estado del arte
- Metodología
- Diseño y Construcción
- Pruebas y Resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



# Antecedentes y justificación

## Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

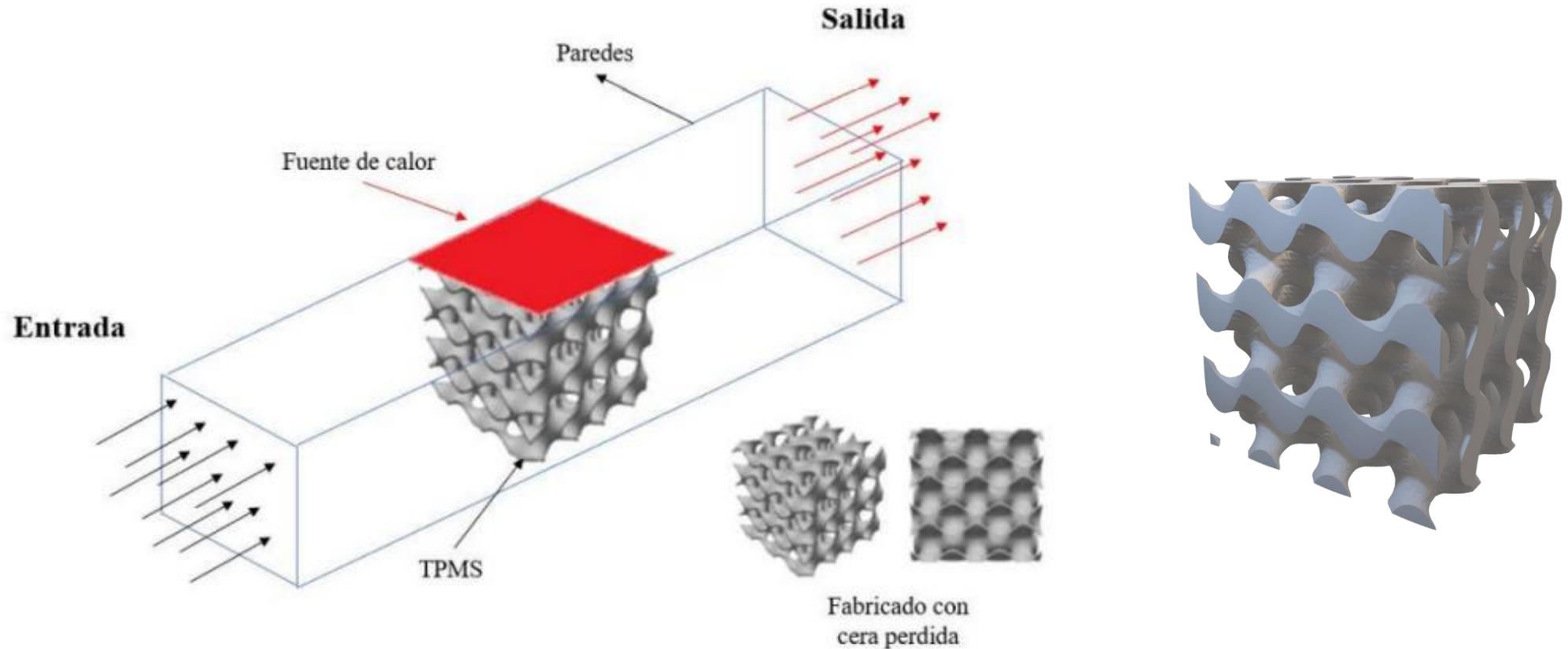
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Antecedentes y Justificación

Diseño, fabricación y validación de intercambiadores de calor compactos usando núcleos de superficies mínimas triples periódicas.

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

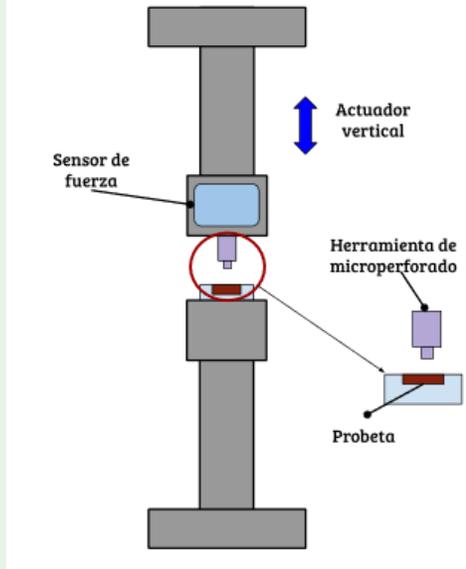
Pruebas y Resultados

Conclusiones

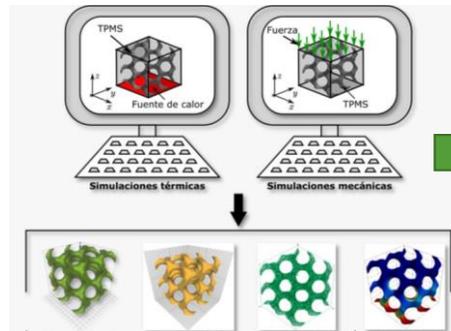
Recomendaciones

Trabajos futuros

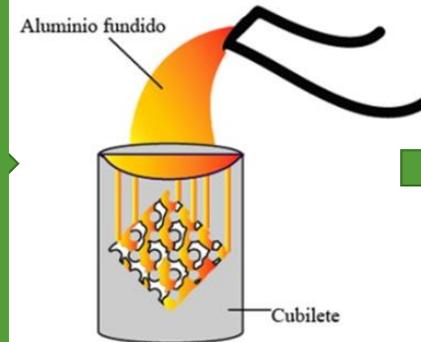
## Caracterización de las fotoresinas



## Diseño y simulación de la TPMS



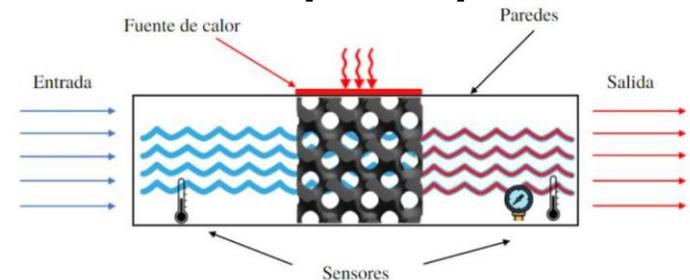
## Fundición de la TPMS



## Monitoreo de la fundición



## Análisis del prototipo físico





Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

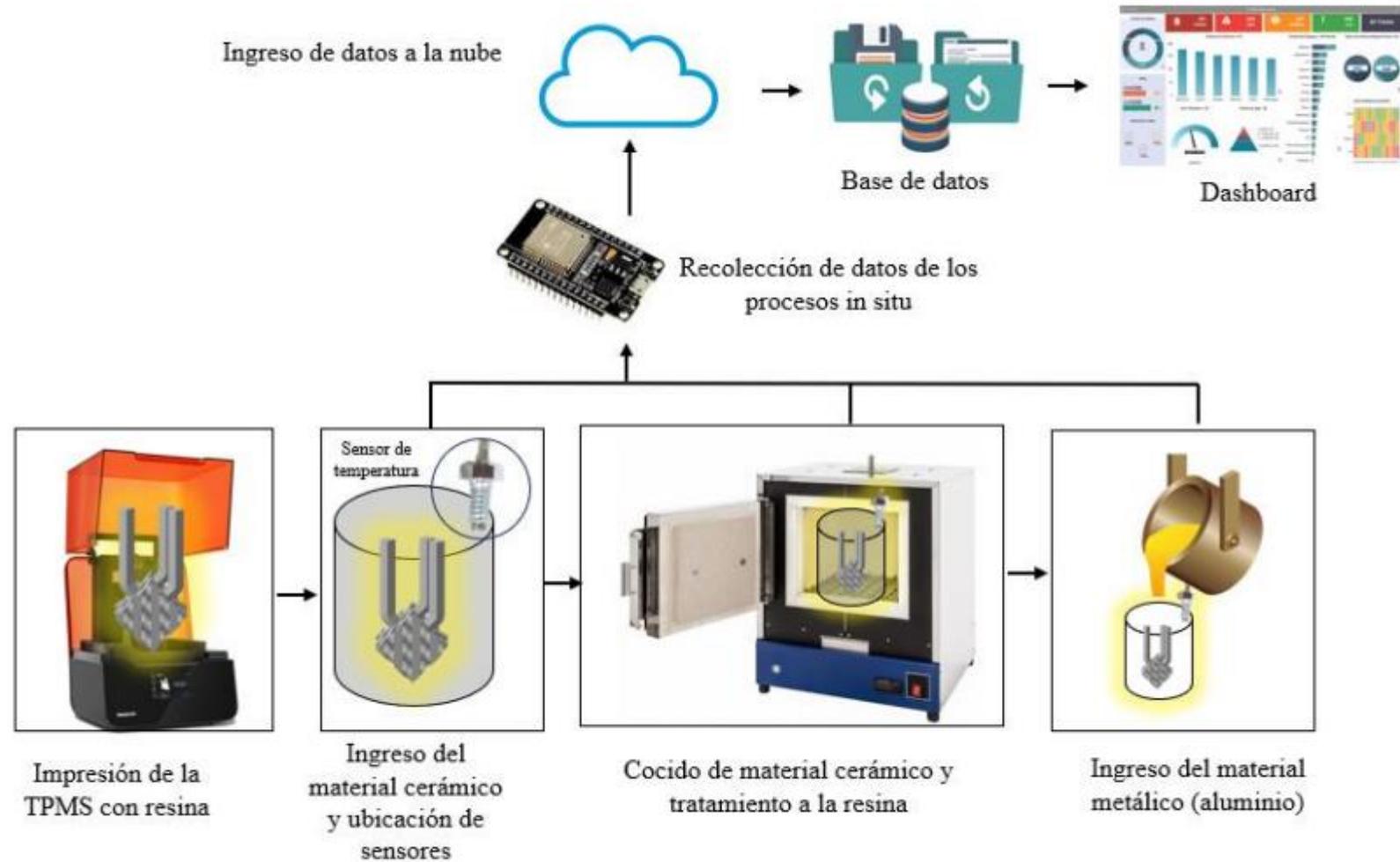
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Alcance





Antecedentes y  
justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Objetivos

## GENERAL

- Monitorear la fabricación de los intercambiadores compactos usando el método de fundición por cera perdida.

## ESPECÍFICOS

- Identificar los parámetros críticos de la fundición por cera perdida y seleccionar los sensores más adecuados para las presentaciones.
- Diseñar y construir la plataforma de instrumentación IoT para monitoreo in-situ.
- Realizar el acondicionamiento y la implementación de los sensores para el monitoreo in-situ de la fundición.
- Implementar y probar la plataforma IoT de monitoreo in-situ para la fundición.
- Analizar el desempeño de plataforma usando herramientas estadísticas como cartas de control para variables según ASTM-E2587



# Manufactura Aditiva

## Estereolitografía (SLA).

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

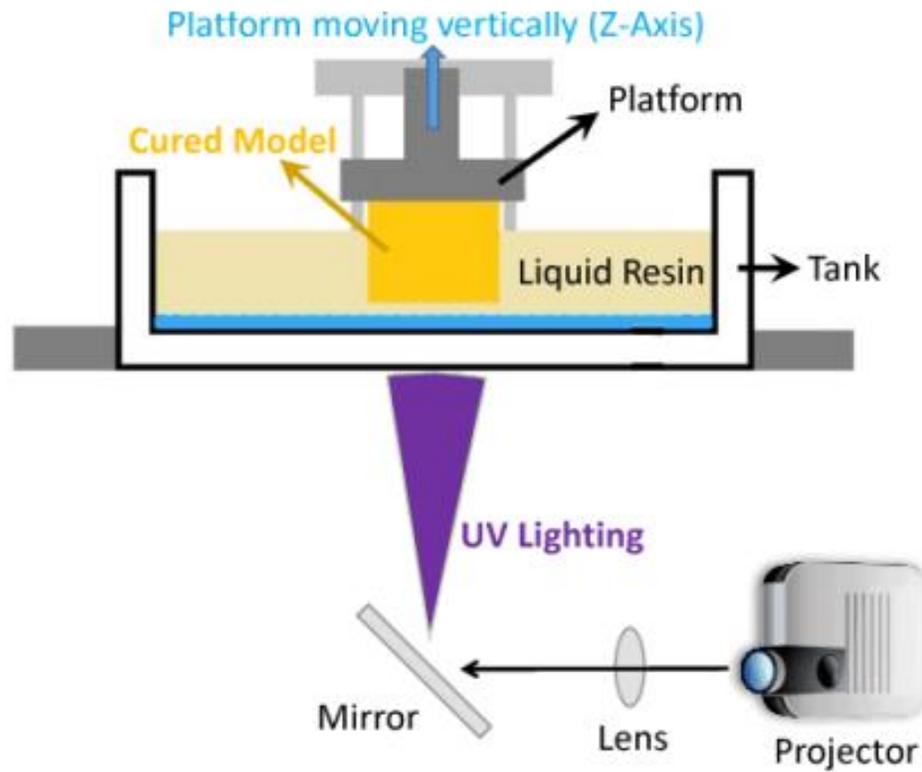
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Nota. Adaptado de (Europe, 2022)



Antecedentes y  
justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Industria 4.0

- Big data,
- Internet de las cosas
- Procesos visuales/realidad virtual
- Robótica, inteligencia artificial/aprendizaje automático
- Reconocimiento de voz
- Computación en la nube/ Virtualización

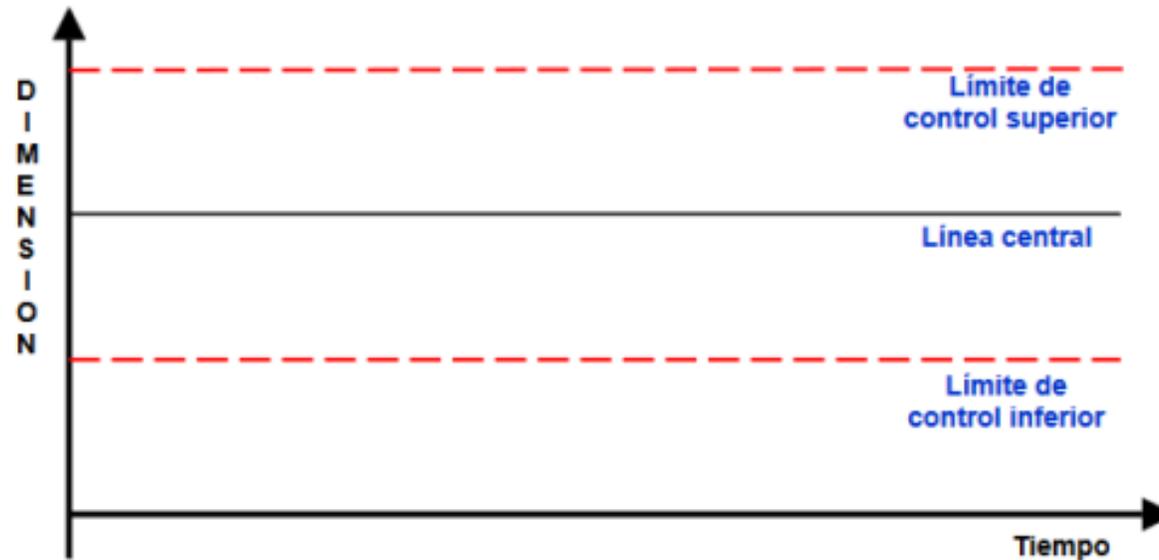


*Nota.* Adaptado de (CIC, 2022)



# Cartas de control y calidad

Las cartas de control son una herramienta que de acuerdo con la norma E2587 se utilizan para supervisar continuamente las características del producto o del proceso con el fin de determinar si un proceso se encuentra o no en un estado de control estadístico



*Nota.* Adaptado de (Mustafa, 2002)

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

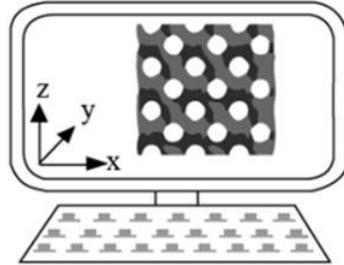
Recomendaciones

Trabajos futuros

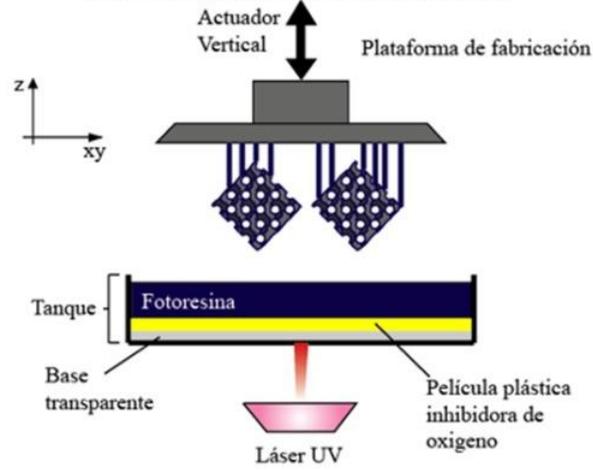


# Fundición por cera perdida

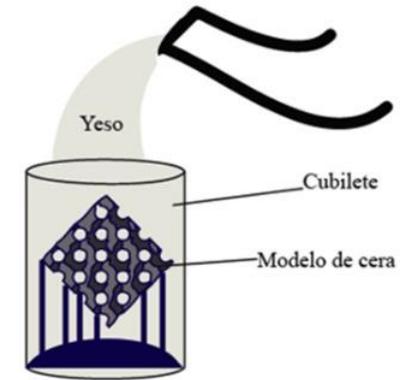
Diseño de los modelos



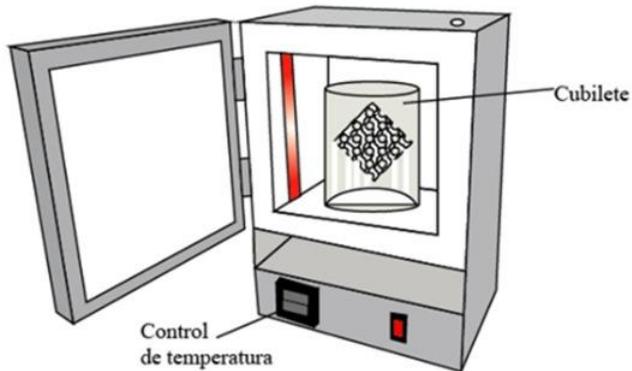
Fabricación de modelos de cera



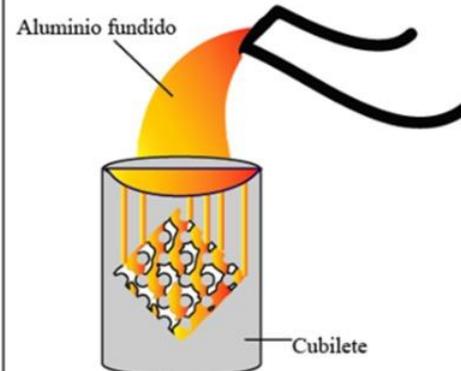
Fabricación del molde



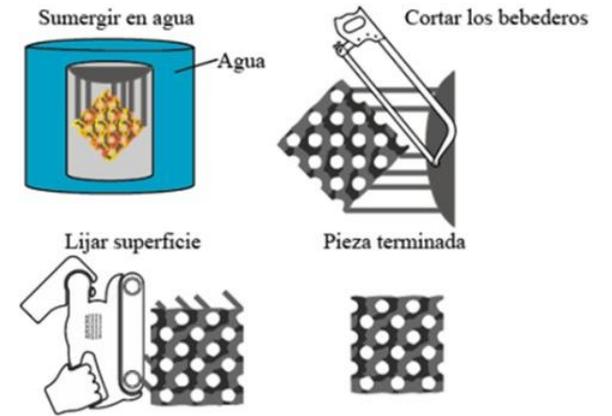
Desparafinado y quemado del molde



Fundido y vertido del metal



Recuperación de la pieza y post procesado



Nota. Imágenes obtenidas de (Veintimilla, 2023)

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Parámetros de fundición

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

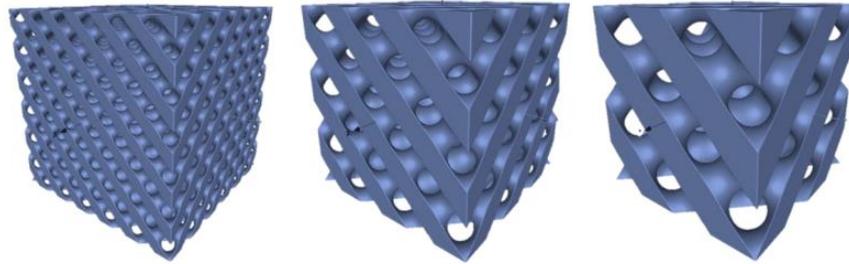
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Diseño y modelamiento del TPMS



- Dimensiones 30x30x30 mm
- Porosidad 0.5
- Longitud de celda unidad: 5, 10 ,15

Diseño experimental De Taguchi

Temp	DSA	L
Factor A	Factor B	Factor C
150	1,00	5
150	0,75	10
150	0,50	15
345	1,00	10
345	0,75	15
345	0,50	5
540	1,00	15
540	0,75	5
540	0,50	10

- Factor A: Temperatura del molde durante la fundición.
- Factor B: Sistema de alimentación.
- Factor C: Longitud de celda unitaria



# Parámetros de fundición

Impresión 3D  
Estereolitografía SLA (Form3)

Resinas

- WAX 40



- WAX Resin



*Nota.* Adaptado de (Formlabs, s.f)

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Parámetros de fundición

Material cerámico

Material metálico



Metodología de ASHBY



Materiales	Conductividad térmica ( $\frac{W}{m^{\circ}C}$ )	Coefficiente de expansión térmica ( $\frac{\mu strain}{^{\circ}C}$ )	Índice de material $\frac{\lambda}{\alpha}$	Costo aprox.* \$/kg	Relación costo vs índice de material
Aleaciones de aluminio	162	23.3	6.95	2.56	0.368

Nota. Adaptado de (Certus Investment Powder Technologies Co., Ltd., established in Istanbul s. f)

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

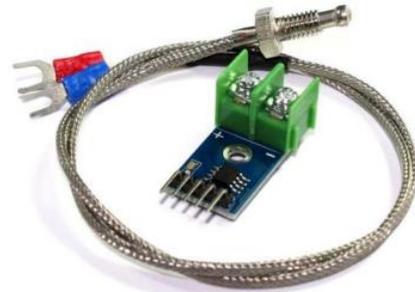
Trabajos futuros



# Diseño y construcción

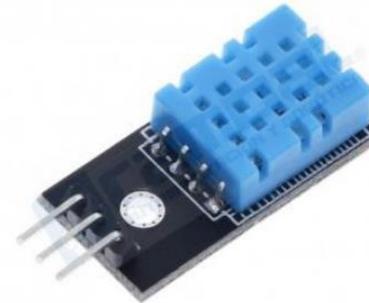
## Sensores y factores

### Termopar tipo K y modulo MAX6675



- Voltaje de operación: 5V DC
- Corriente de trabajo: 50mA
- Rango de Temperaturas Termocupla K: -200°C hasta 1300°C
- Rango de temperatura MAX6675: 0° - 1023°C
- Tiempo de respuesta: 170 a 220 ms

### Sensor de temperatura y humedad DTH11



- Voltaje de Operación: 3V - 5V DC
- Corriente de trabajo: 2.5 mA
- Rango de Temperaturas : 0 a 50 °C
- Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.
- Tiempo de respuesta: 1 s.

### Tarjeta de adquisición de datos ESP32



- Voltaje de operación: 5V
- Corriente de trabajo: 80 mA
- Conectividad inalámbrica: o Wi-Fi: 802.11 b/g/n o Bluetooth: v4.2

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

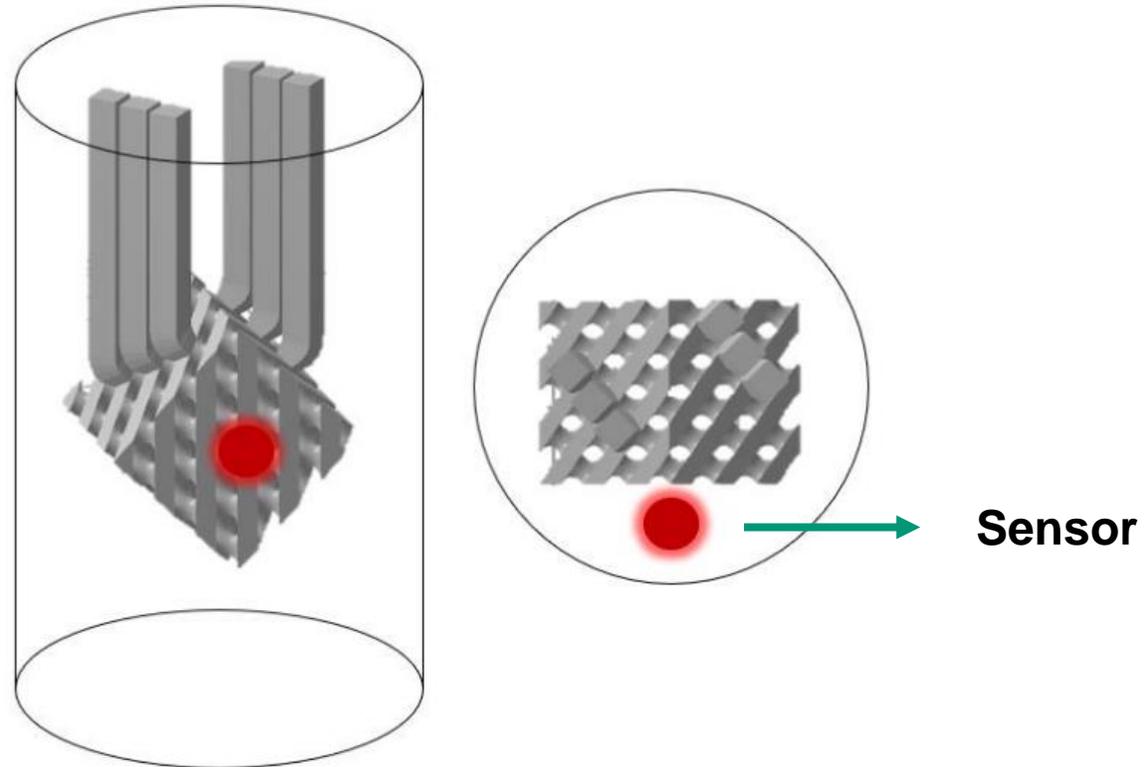
Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño y construcción

## Ubicación del termopar tipo k



Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño y construcción

## Tiempo de muestreo

Duración de los procesos en materia de fundición

Proceso	Tiempo	Tiempo en segundos (s)
Quemado de resina WAX40	14h	50400
Quemado de resina WAX resin	17h	61200
Fundición	4min	240

Se espera un mínimo de 200 datos para el proceso de fundición

$$\frac{200 \text{ datos}}{240 \text{ s}} = 0.83 \frac{\text{datos}}{\text{s}} \rightarrow \frac{240 \text{ s}}{200 \text{ datos}} = 1.2 \frac{\text{s}}{\text{dato}}$$

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

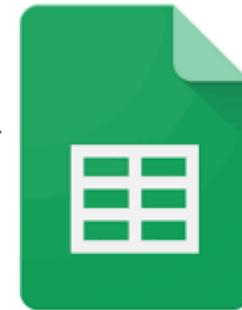


# Diseño y construcción

Base de datos



Firestore



Google  
Sheets

Antecedentes y  
justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño y construcción

## Dashboard

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

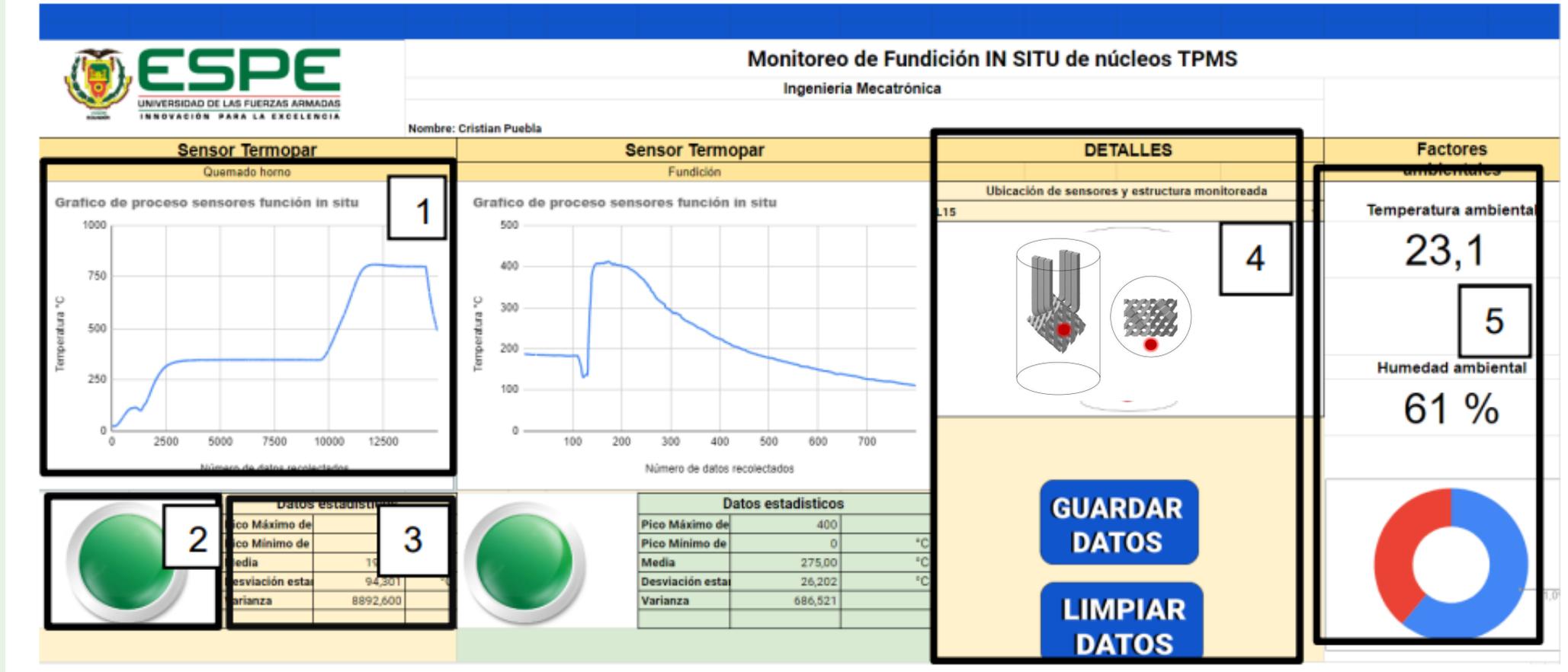
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Diseño y construcción

## Encapsulado

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

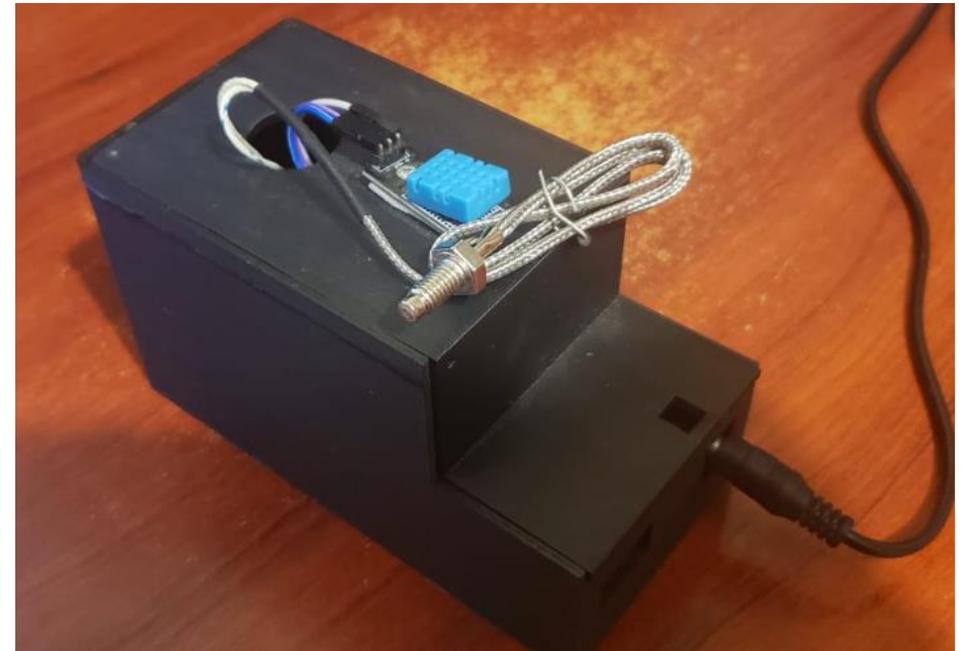
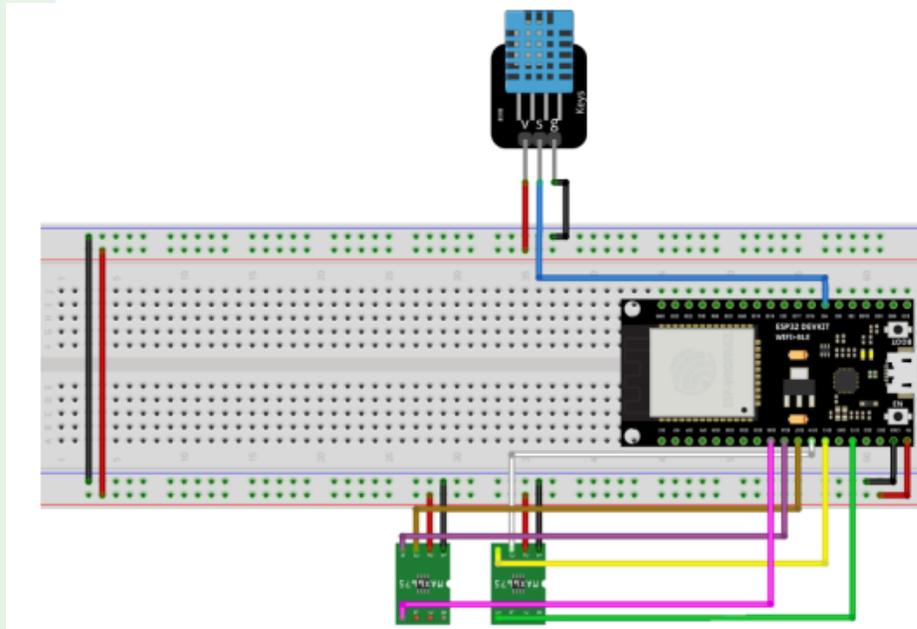
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

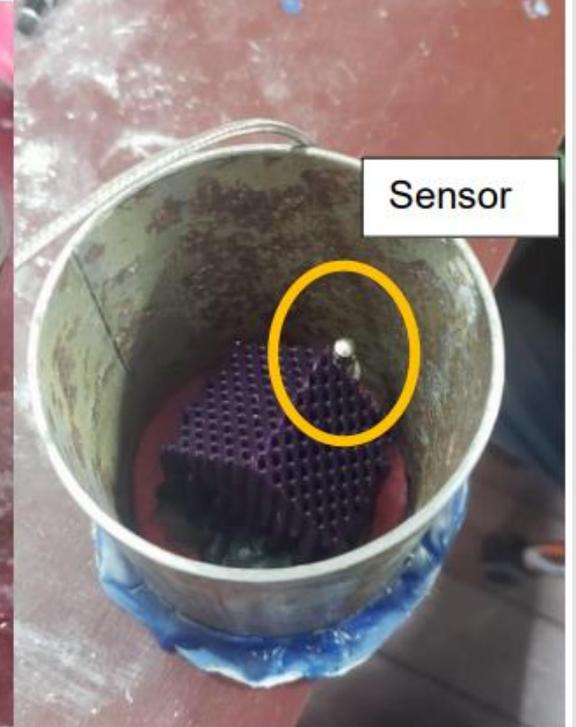




# Diseño y construcción

## Desarrollo

1. Realizar el modelo en cera que sea consumible



Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño y construcción

## Desarrollo

2. Incorporar el modelo en un adecuado material refractario que soporte altas temperaturas y que reproduzca todos los detalles del modelo.



Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño y construcción

## Desarrollo

3. Quemar el modelo para que deje un molde negativo dentro del material refractario



4. Fundición llenando el molde con el metal



Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

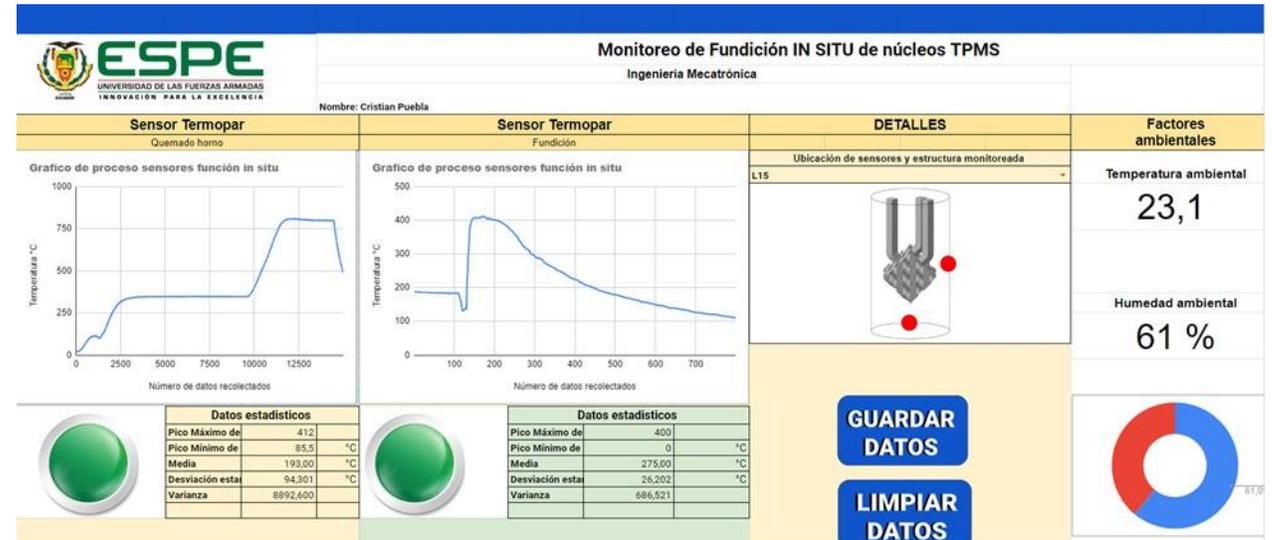
Trabajos futuros



# Diseño y construcción

## Desarrollo

### 5. Obtención del modelo metálico destruyendo el molde



Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Pruebas y resultados

## Resultado del diseño experimental

Para evaluar el resultado del diseño experimental se tomó en cuenta 2 características:  
**calidad superficial y peso real vs peso teórico**

### Calidad Superficial

1. Presenta superficies incompletas
2. Superficie con mucha porosidad superficial y la presente porosidades profundas
3. Superficie con mucha porosidad superficial
4. Superficie con una cantidad moderada de porosidad superficial
5. Presenta poco o ningún defecto de porosidad superficial

### Peso real vs peso teórico

$$Error = \frac{Peso\ teórico - Peso\ real}{Peso\ teórico} * 100\%$$

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



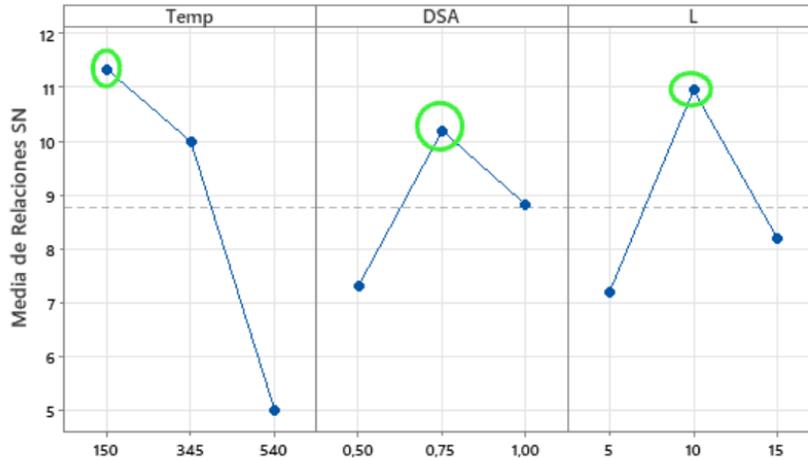
# Pruebas y resultados

## Calidad Superficial

Tabla de respuesta de relación de señal a ruidos

Nivel	Temp	DSA	L
1	3,833	2,333	2,500
2	3,333	3,667	3,667
3	1,833	3,000	2,833
Delta	2,000	1,333	1,167
Clasificar	1	2	3

Gráfica de efectos principales para Relaciones SN  
Medias de datos



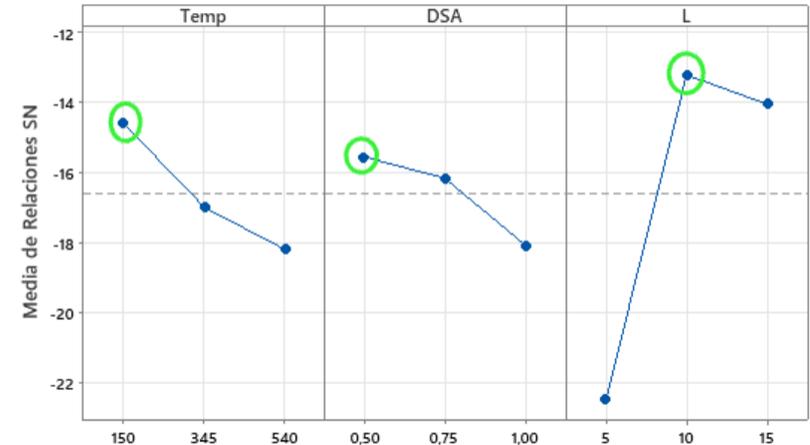
Señal a ruido: Más grande es mejor

## Peso real vs peso teórico

Tabla de respuesta de relación de señal a ruidos

Nivel	Temp	DSA	L
1	-14,61	-15,57	-22,51
2	-17,00	-16,17	-13,24
3	-18,20	-18,08	-14,07
Delta	3,59	2,51	9,27
Clasificar	2	3	1

Gráfica de efectos principales para Relaciones SN  
Medias de datos



Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

**Pruebas y Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Pruebas y resultados

## Monitoreo de quemado (WAX40)

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

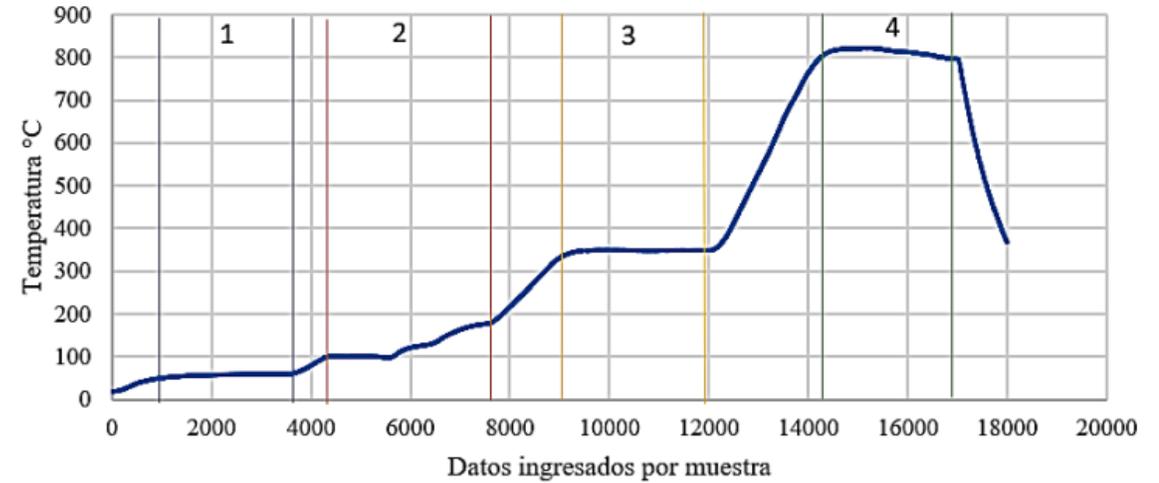
Diseño y construcción

**Pruebas y Resultados**

Conclusiones

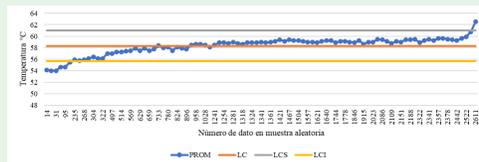
Recomendaciones

Trabajos futuros

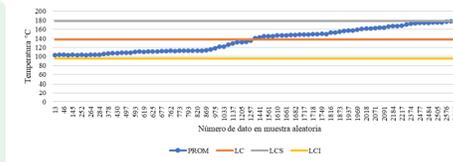


### Graficas de control

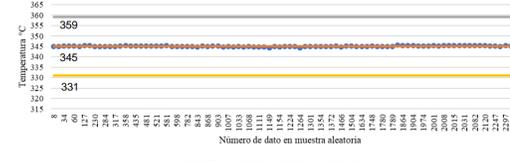
#### Fase 1: 55°C



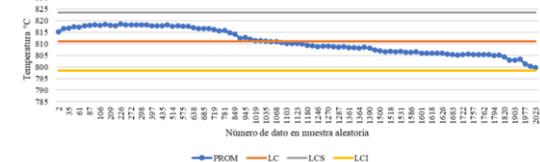
#### Fase 2: 150°C



#### Fase 3: 300°C



#### Fase 4: 790°C





# Pruebas y resultados

## Monitoreo de quemado (WAXRESIN)

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

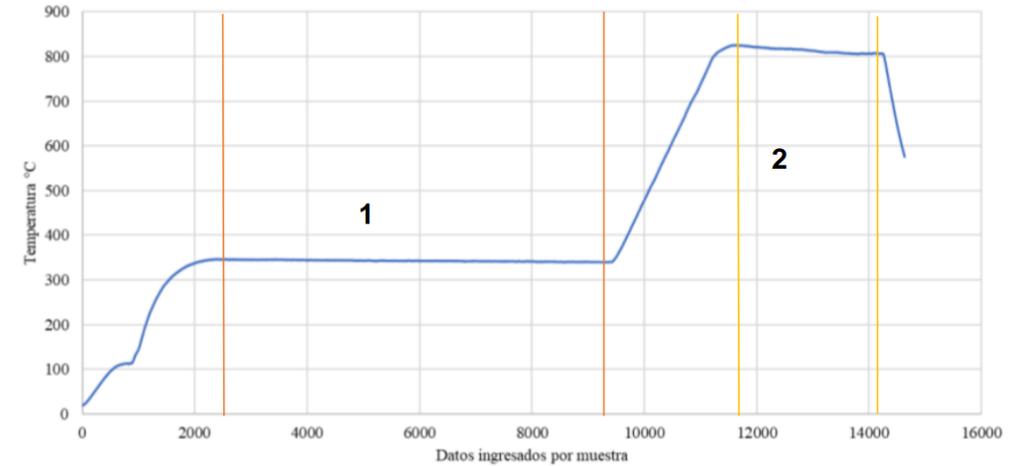
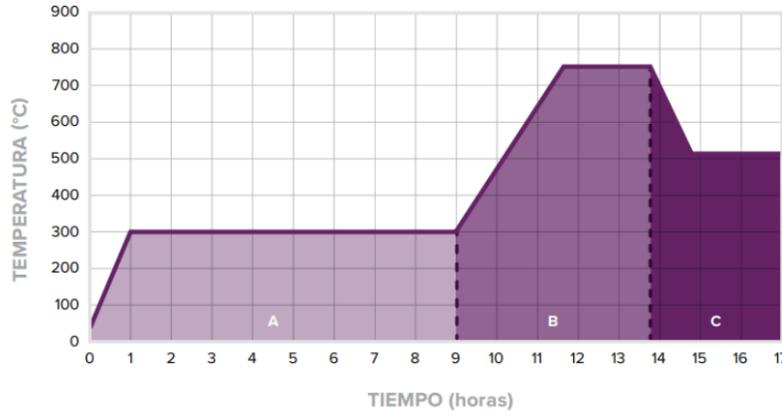
Diseño y construcción

**Pruebas y Resultados**

Conclusiones

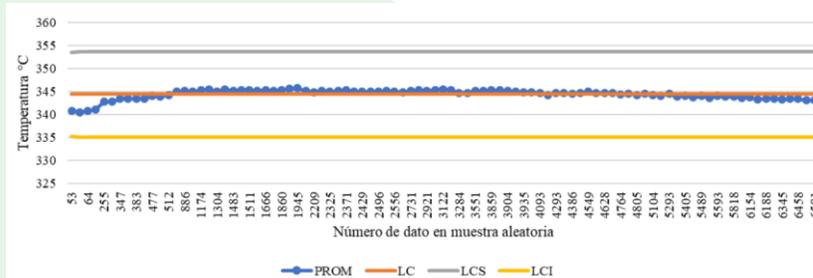
Recomendaciones

Trabajos futuros

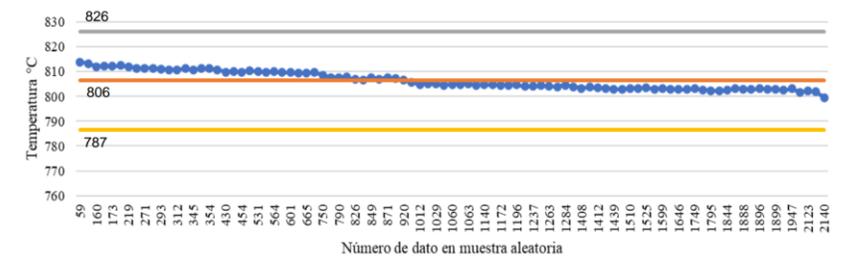


### Gráficas de control

#### Fase 1: 300°C



#### Fase 2: 790°C





# Pruebas y resultados

## Monitoreo de fundición

### Monitoreo de fundición 150 °C



130 °C

$$\frac{200 \text{ datos}}{240 \text{ s}} = 0.83 \frac{\text{datos}}{\text{s}} \rightarrow \frac{240 \text{ s}}{200 \text{ datos}} = 1.2 \frac{\text{s}}{\text{dato}}$$

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

**Pruebas y Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

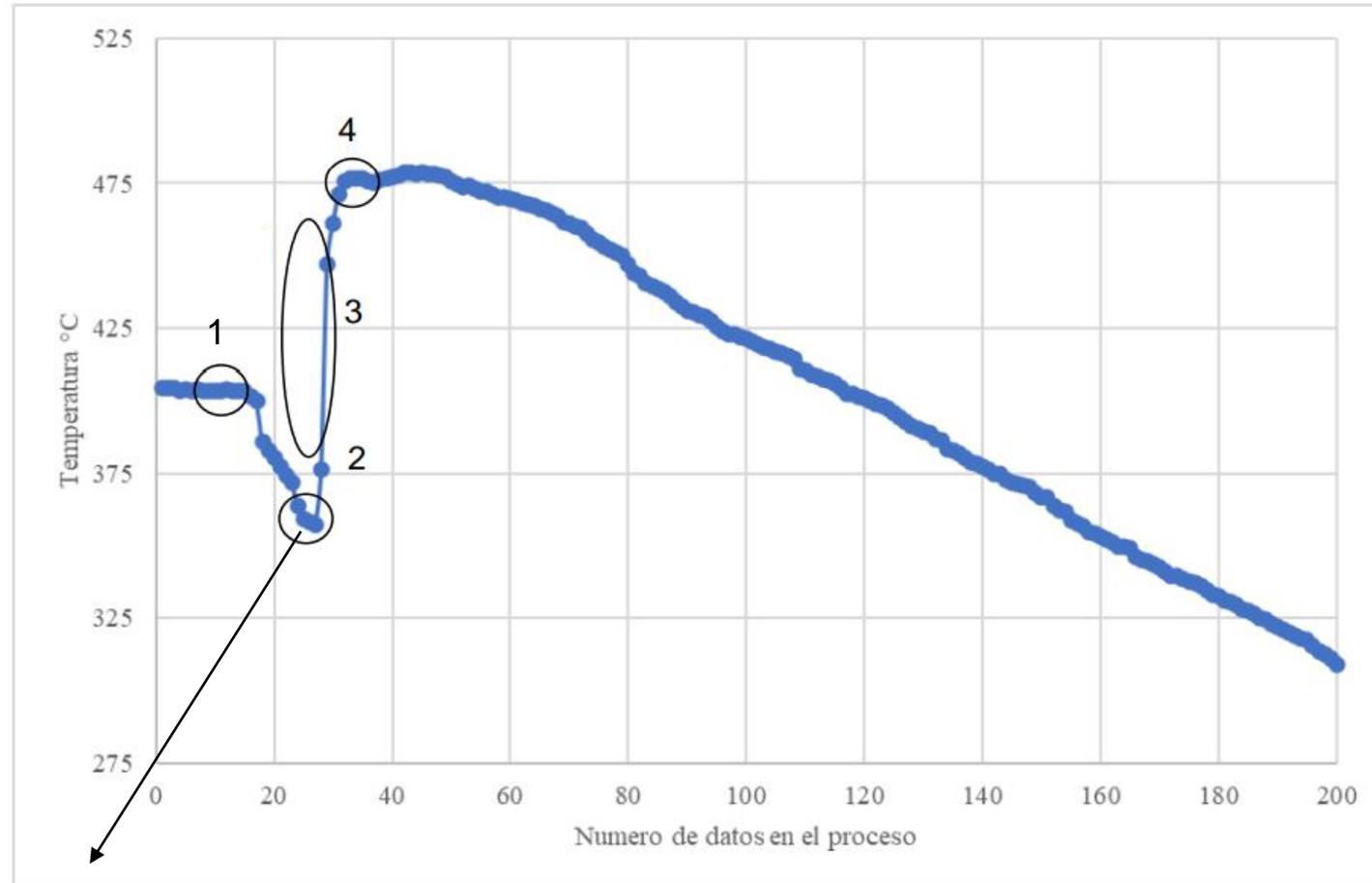
Trabajos futuros



# Pruebas y resultados

## Monitoreo de fundición

Monitoreo de fundición 345 °C



357 °C

$$\frac{200 \text{ datos}}{240 \text{ s}} = 0.83 \frac{\text{datos}}{\text{s}} \rightarrow \frac{240 \text{ s}}{200 \text{ datos}} = 1.2 \frac{\text{s}}{\text{dato}}$$

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

**Pruebas y Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Pruebas y resultados

## Monitoreo de fundición

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

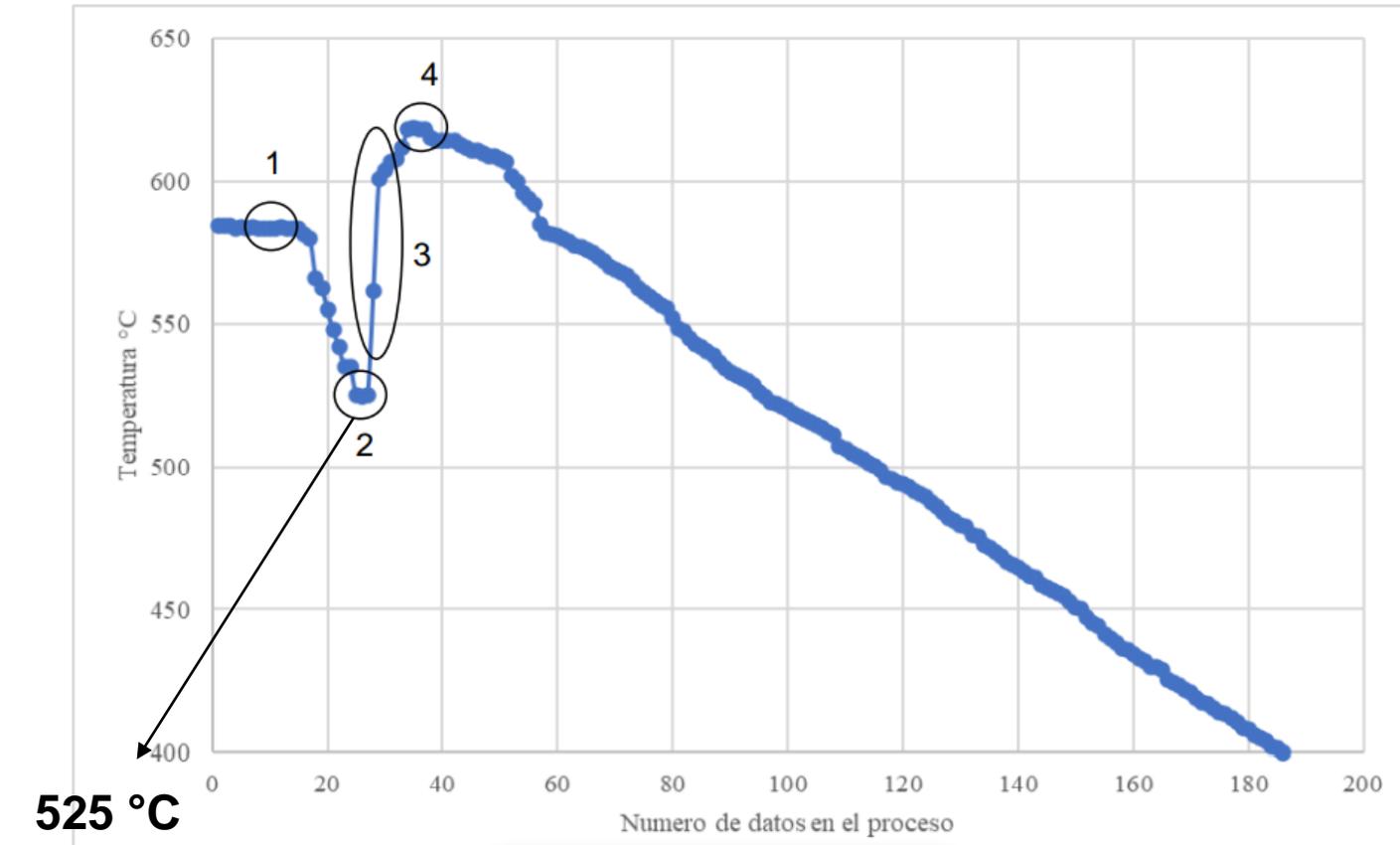
**Pruebas y Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Monitoreo de fundición 540 °C



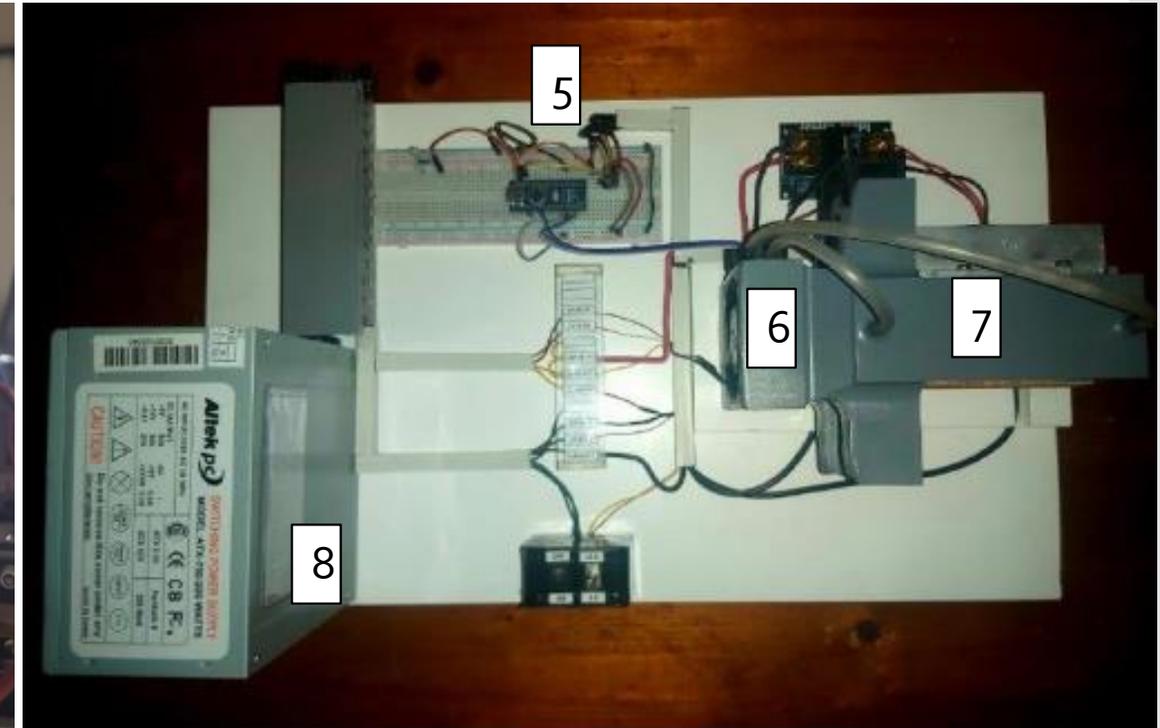
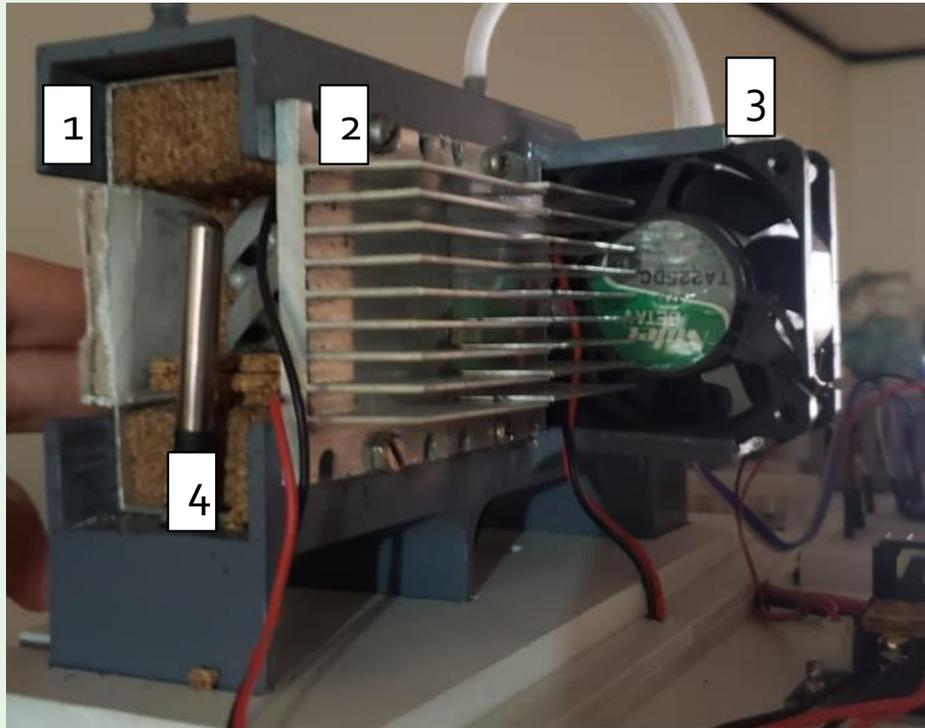
$$\frac{200 \text{ datos}}{240 \text{ s}} = 0.83 \frac{\text{datos}}{\text{s}} \rightarrow \frac{240 \text{ s}}{200 \text{ datos}} = 1.2 \frac{\text{s}}{\text{dato}}$$



# Pruebas y resultados

## Monitoreo de funcionalidad

Para el monitoreo de funcionalidad se hizo uso del banco de pruebas realizado por (Andrade, 2022)



Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

**Pruebas y Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

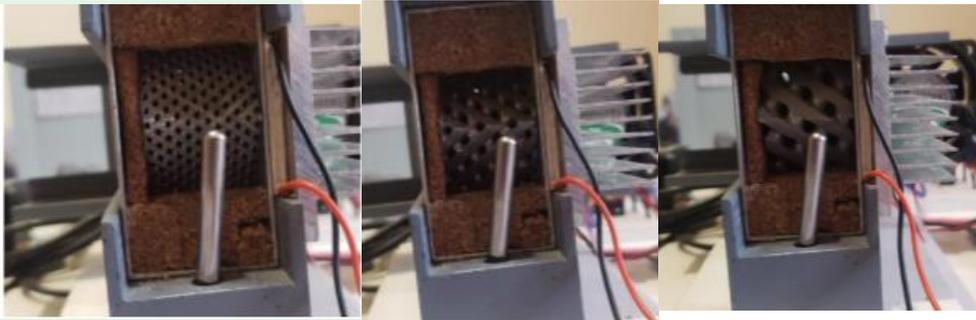


# Pruebas y resultados

## Monitoreo de funcionalidad

Las pruebas se realizaron con un intercambiador de calor comercial y los 3 tipos de TPMS fundidas L5, L10 y L15 a 2.6 y 6 m/s, tomando en cuenta la orientación de los orificios de la TPMS; inclinando estas a 0° y a 45°

### Inclinación a 45°



### Inclinación a 0°



Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

**Pruebas y Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Pruebas y resultados

## Monitoreo de funcionalidad

Antecedentes y justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

**Pruebas y Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Tipo	Ts [min]	Tp [min]	Delta temperatura [°C]	Delta Presión [KPa]
<b>2.6 m/s</b>				
<b>Comercial</b>	3	12	12.1	1.05
<b>L5 45°</b>	4	17	17	1.11
<b>L10 45°</b>	4	15	17.38	1.09
<b>L15 45°</b>	7.5	15	13.94	1.09
<b>L5 0°</b>	6	16.2	20.19	1.18
<b>L10 0°</b>	4.5	19.5	20.13	1.13
<b>L15 0°</b>	7.5	15	18.4	1.17
<b>6 m/s</b>				
<b>Comercial</b>	2	9	8.93	1.74
<b>L5 45°</b>	2.5	9	9.56	1.76
<b>L10 45°</b>	3	15	10.25	1.84
<b>L15 45°</b>	2	9	5.38	1.78
<b>L5 0°</b>	3	10.5	13.32	1.8
<b>L10 0°</b>	3	12	12.94	1.89
<b>L15 0°</b>	3	6	10.32	1.8



Antecedentes y  
justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- Se logró identificar el parámetro crítico del proceso que fue la temperatura y su actividad durante el quemado del cubilete y la fundición. Para este proceso se usó el termopar tipo K que cumplió satisfactoriamente con el monitoreo en los 2 procesos mencionados. Sin embargo, aunque el termopar registró hasta el último dato de temperatura en el enfriamiento, este dejó de funcionar luego de la extracción de la TPMS, puesto que el cable que atravesaba el cubilete se carbonizó por la temperatura.
- El encapsulado que se diseñó para cubrir del polvo y residuos ambientales, protegió al circuito que correspondía a la ESP32, y a los módulos MAX6675 de los termopares tipo K correctamente. Y no se registró ningún fallo relacionado con esto.
- Los módulos MAX6675 que se encargaron de acondicionar la señal analógica de los termopares tipo K, funcionaron correctamente y permitieron que la señal analógica registrada por la ESP32 no registrara ningún valor incoherente.



ECUADOR

Antecedentes y  
justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- La plataforma usada para el monitoreo in situ, Firebase; cumplió correctamente con los estándares que se le impusieron, logrando registrar los datos de temperatura y humedad en tiempo real y a la frecuencia de muestreo impuesta en la ESP32. Esta plataforma resultó muy versátil gracias a la tecnología de Google, ya que permite conectarse con varias aplicaciones propias de la empresa.
- Las cartas de control X-R resultan ser herramientas muy eficaces para el control estadístico, ya que vislumbra otra perspectiva de los datos encontrados y permite visualizar de forma correcta la evolución del proceso en varias muestras de datos. Y como este puede verse afectado por parámetros externos inherentes al proceso.
- El monitoreo de procesos como este a nivel industrial y empresarial abre una puerta al futuro del análisis de datos en la industria 4.0 y el big data. En donde la recolección de datos con principios de mejora en la calidad está siendo y será una de las nuevas tendencias tecnológicas del mañana. Ya que el conocimiento registrado abre el camino a la automatización en donde la mano humana quedará obsoleta por el aprendizaje de las máquinas.



Antecedentes y  
justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Recomendaciones

- Aunque en el desarrollo de esta investigación practica se usó como Dashboard, a la hoja de cálculo de Google. Google ofrece múltiples herramientas como Looker studio que fue diseñado específicamente para realizar análisis de datos y tener graficas de control. No se usó en esta práctica puesto que, al tener más de 5000 datos en cada gráfica, la plataforma colapsaba y se hacía lenta.
- Se recomienda también, hacer uso del hosting gratuito que proporciona Firebase como alejamiento de una página web para registro instantáneo de datos en diferentes aplicaciones. Para fundiciones parecidas en donde el cable del termopar este comprometido en el cubilete, se recomiendo el uso de lana de roca y cinta aislante para que el cable no se carbonice y el sensor no se pierda



Antecedentes y  
justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Trabajos futuros

- Evaluación del rendimiento térmico de los intercambiadores de calor compactos con núcleos TPMS.
- Realizar más diseños de TPMS con estructuras más complejas



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN



# ¿Preguntas?

Introduction to Stereolithography

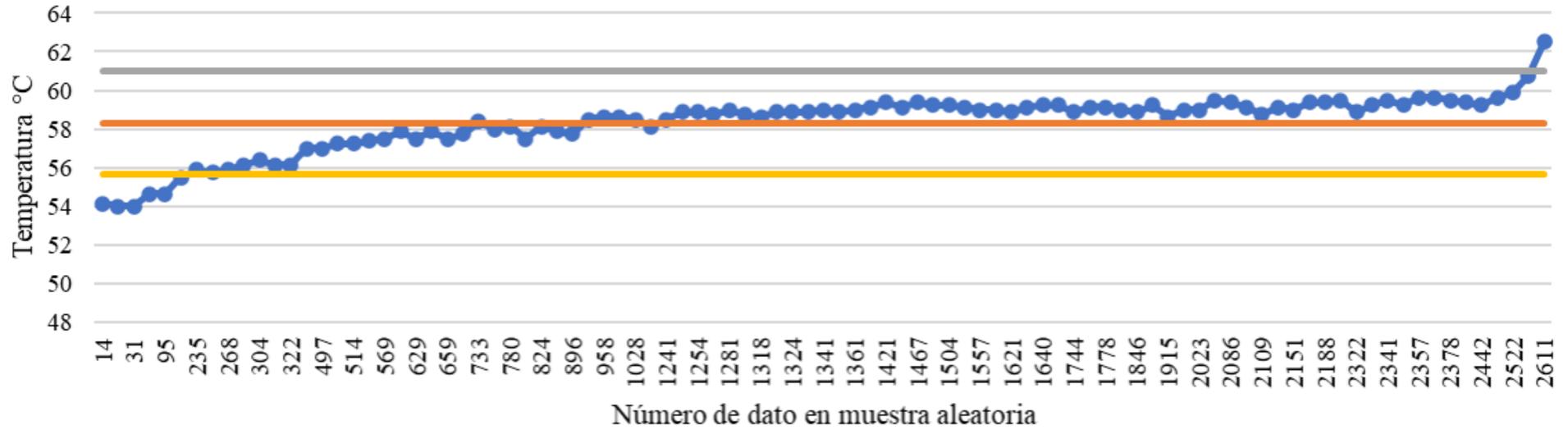


Control de medias

Control de Rangos

# Fase 1: 55°C

[Regresar](#)



● PROM    — LC    — LCS    — LCI



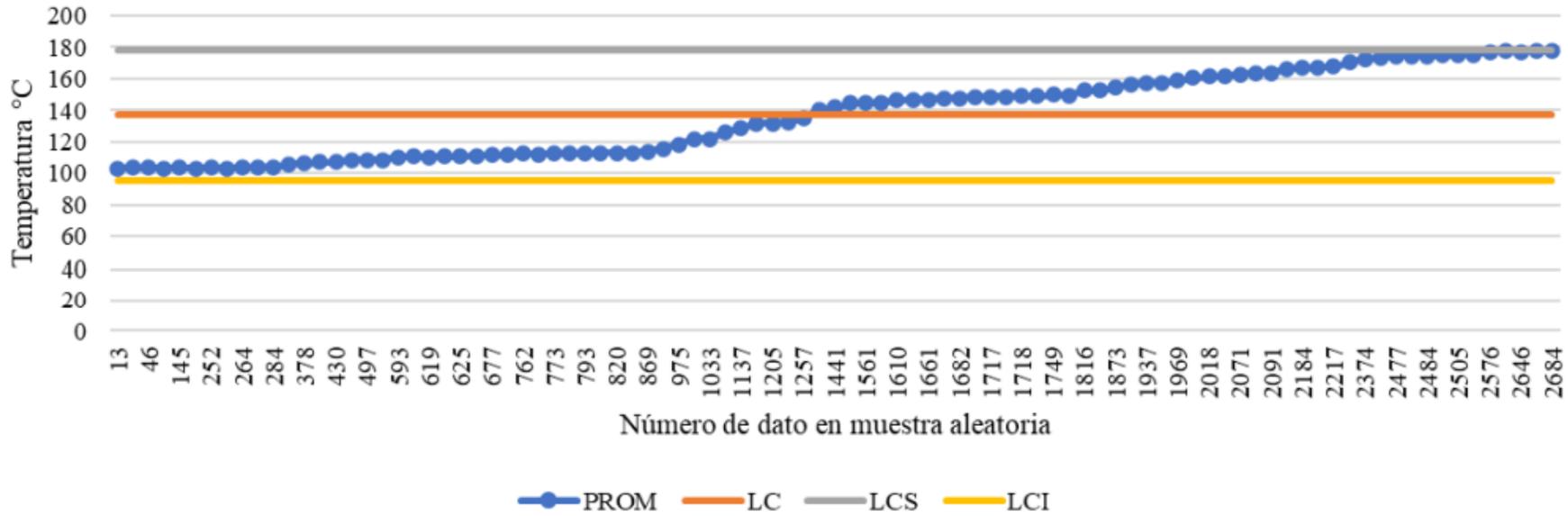
● R    — LC    — LCS    — LCI



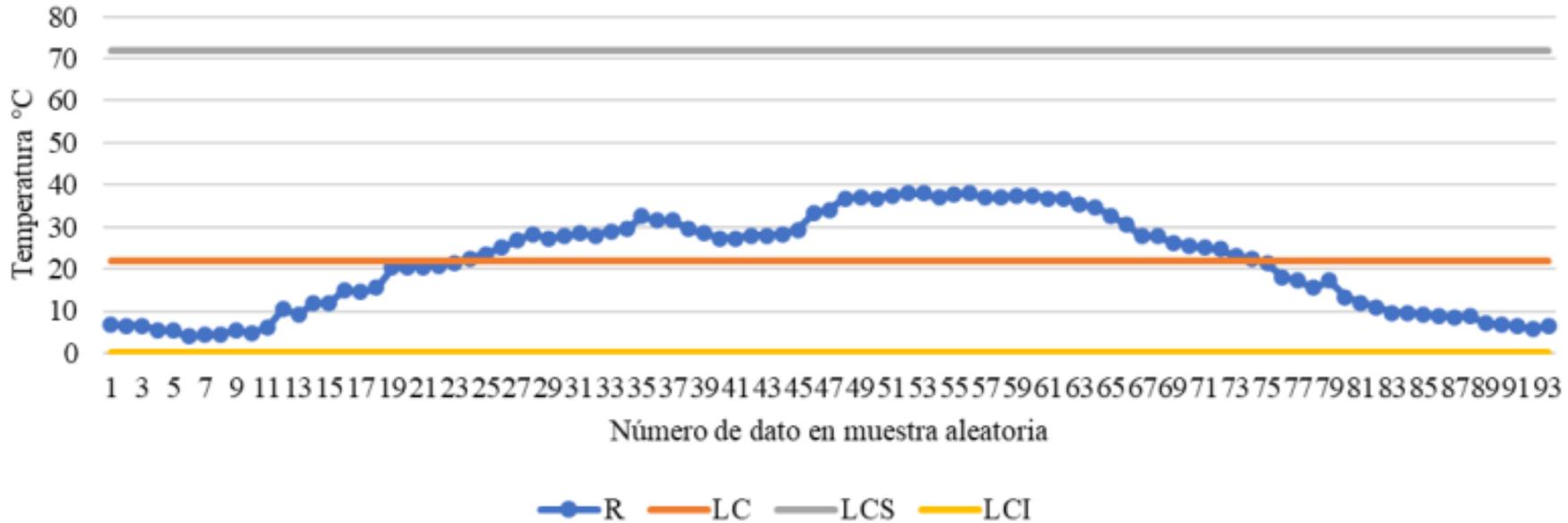
# Fase 2: 150°C

[Regresar](#)

Control de medias



Control de Rangos

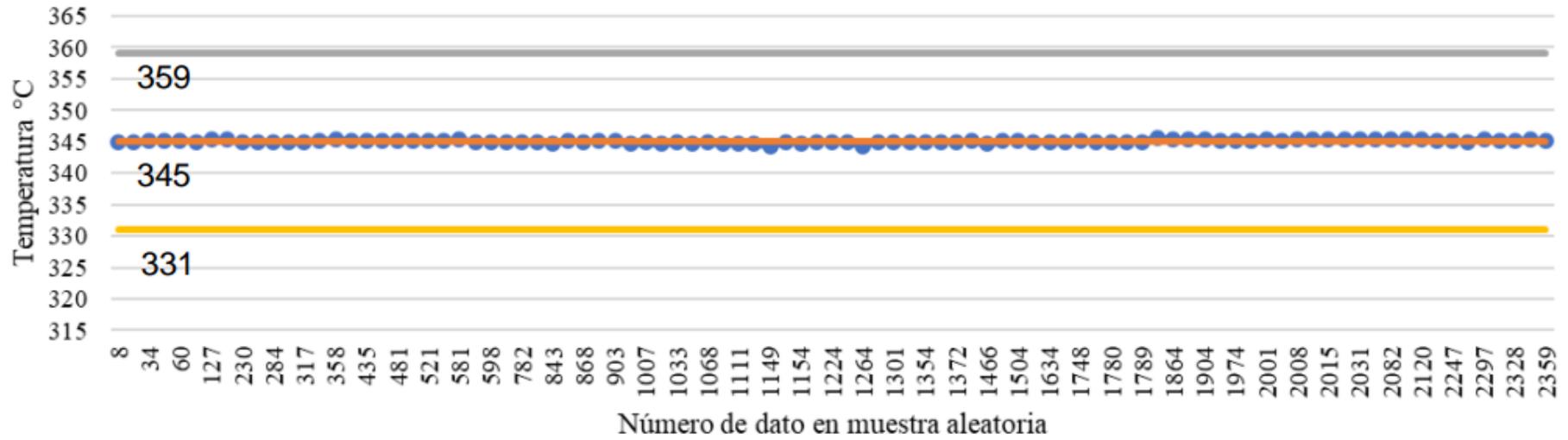




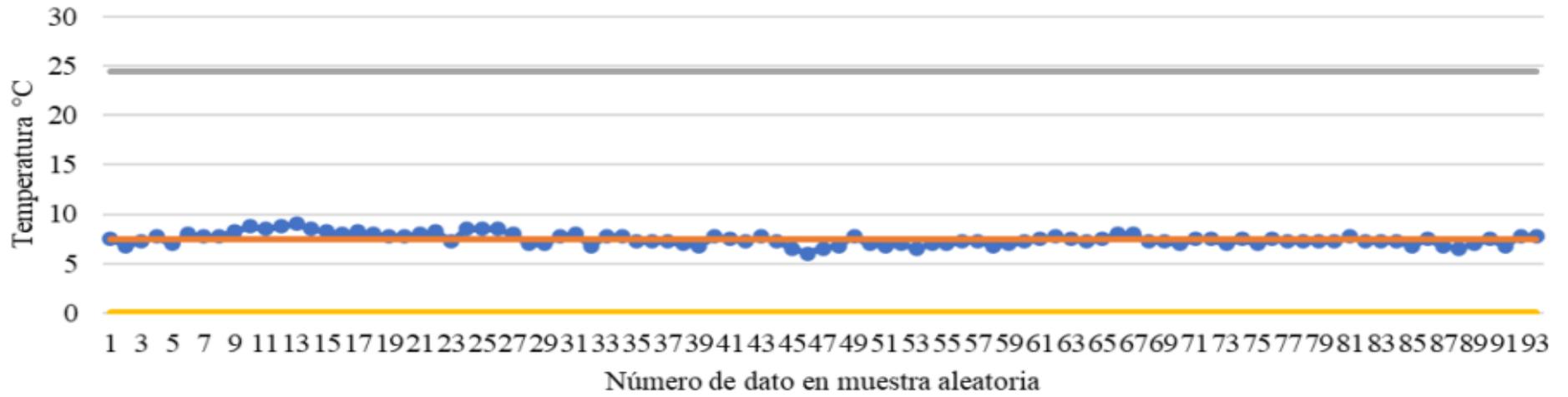
# Fase 3: 300°C

[Regresar](#)

Control de medias



Control de Rangos

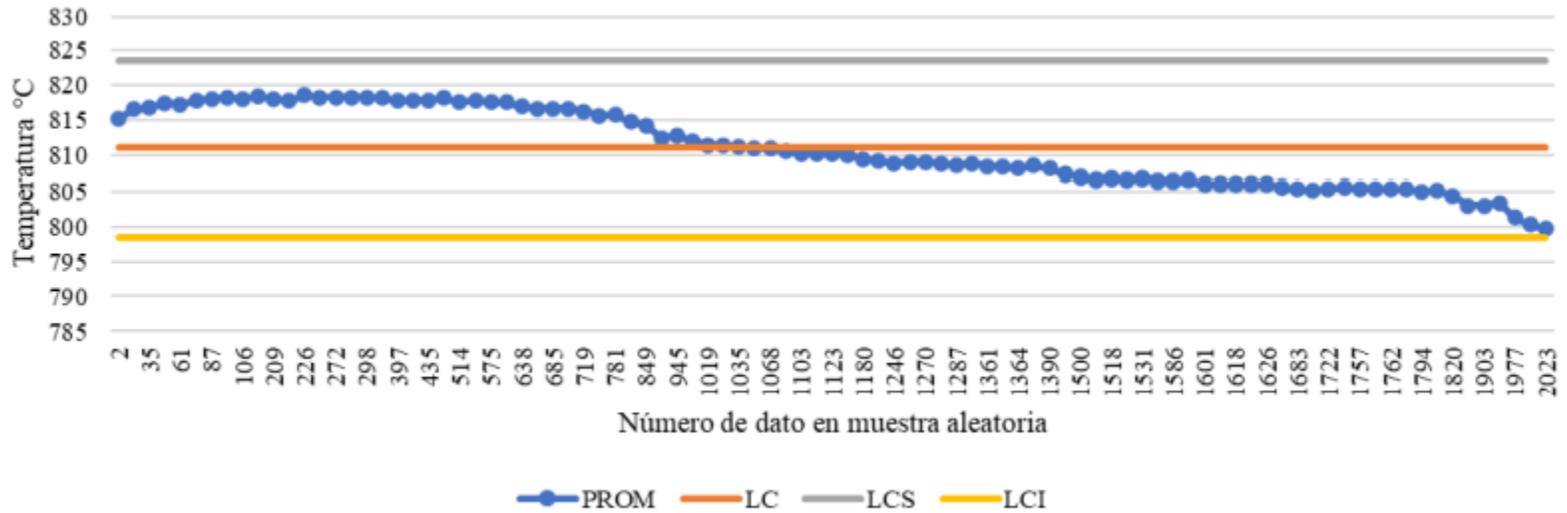




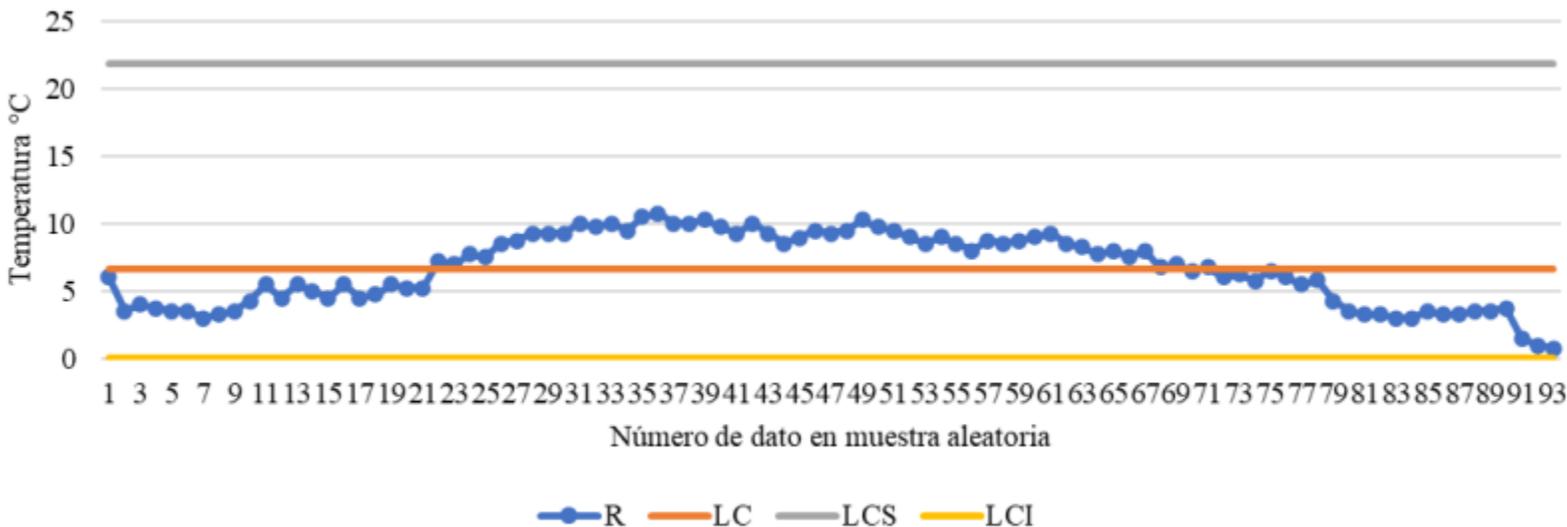
# Fase 4: 790°C

[Regresar](#)

Control de medias



Control de Rangos

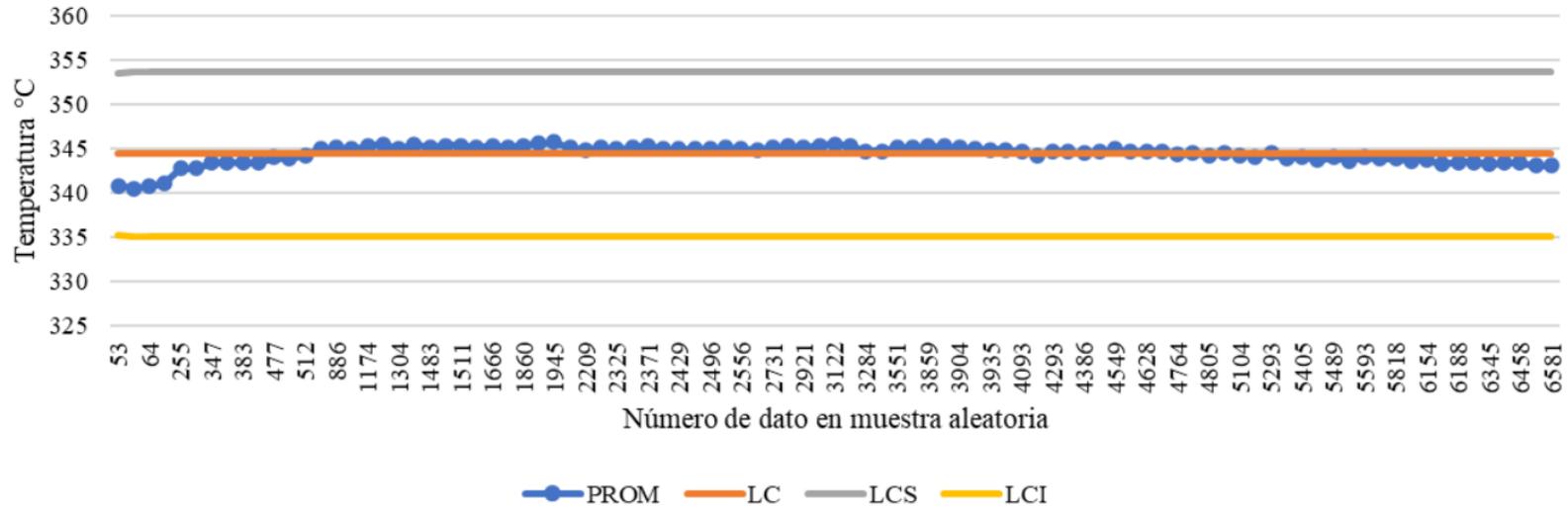




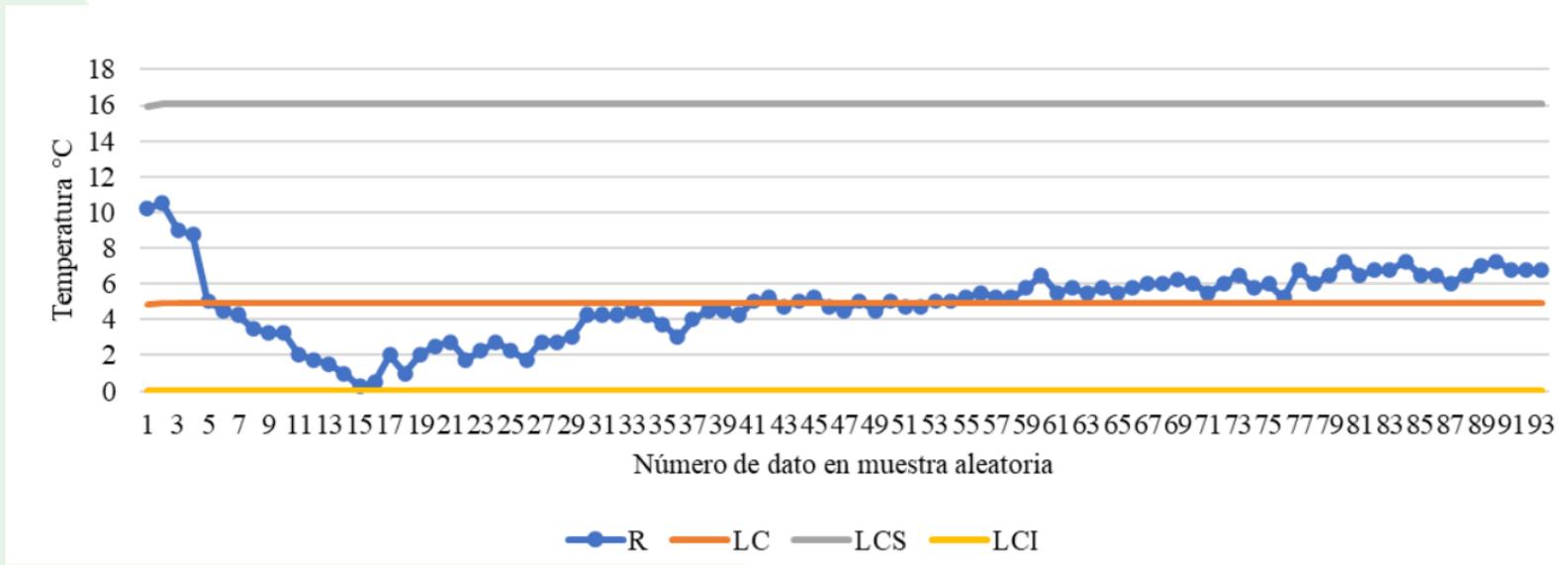
# Fase 1: 300°C

[Regresar](#)

Control de medias



Control de Rangos

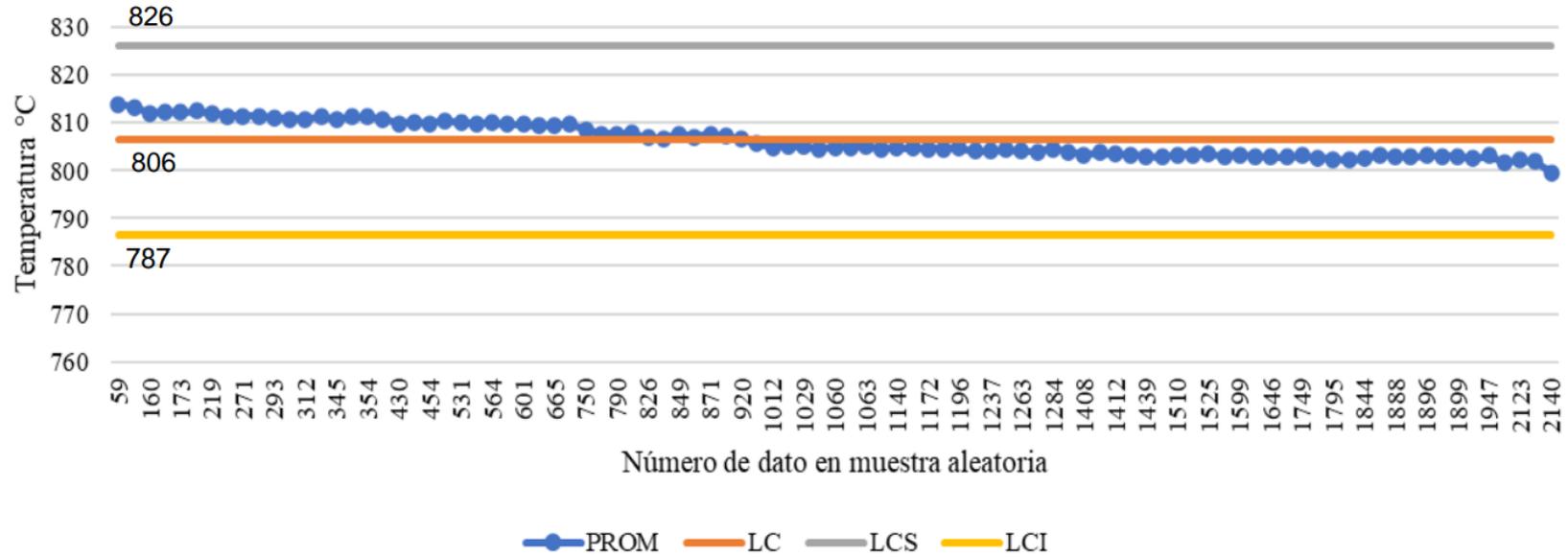




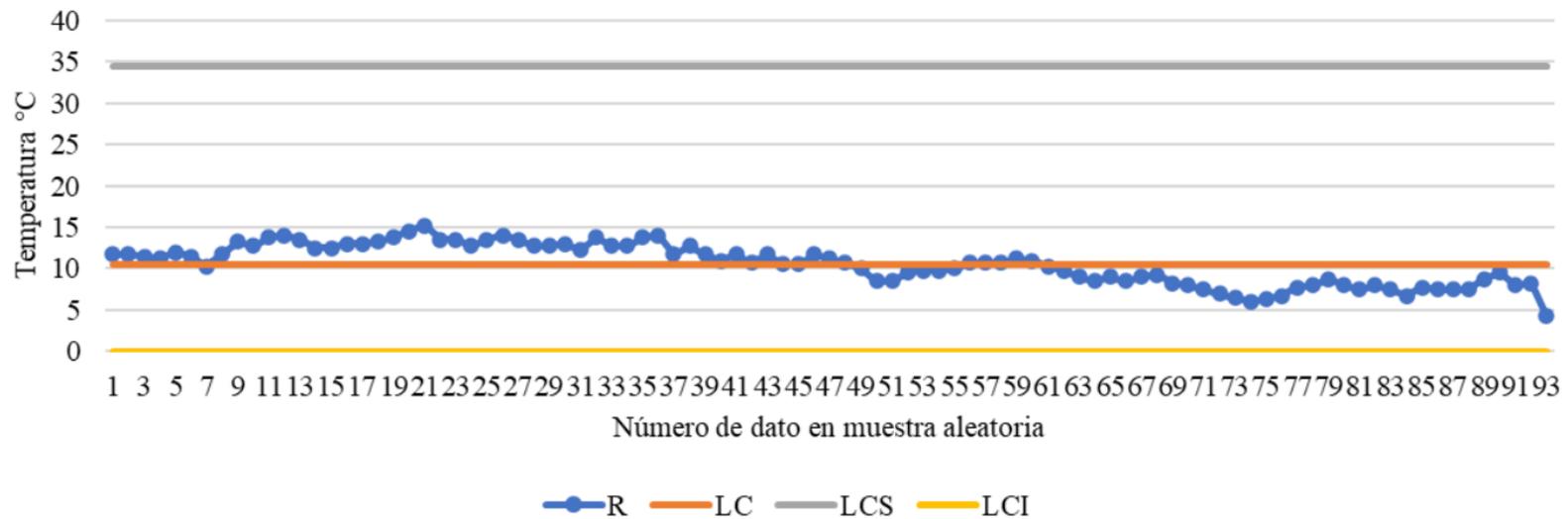
## Fase 2: 790°C

[Regresar](#)

Control de medias



Control de Rangos





Antecedentes y  
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Parámetros de fundición

Material cerámico



Proceso	Tiempo
Mezclado de material cerámico	Minutos
Pesar polvo con precisión	-----
Añadir polvo al agua	-----
Mezclado	5
Vertimiento en el cubilete	2
Exposición al vacío	1
Tiempo total de trabajo	8

*Nota.* Adaptado de (Certus Investment Powder Technologies Co., Ltd., established in Istanbul s. f)

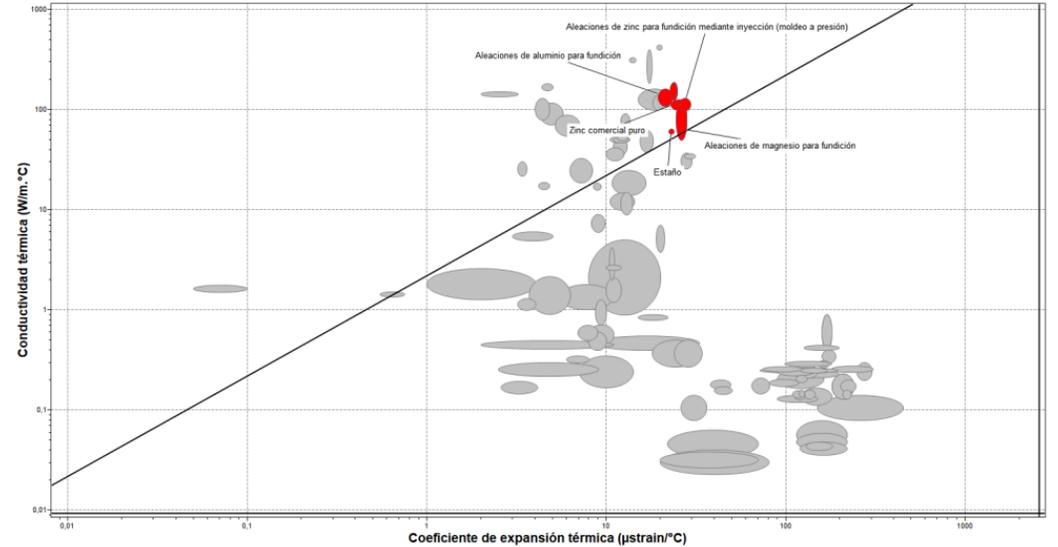


# Parámetros de fundición

## Material metálico

### Metodología de ASHBY

Traducción	
<b>Función</b>	Transferir la mayor cantidad de calor desde una base caliente hacia la estructura TPMS. <i>No negociables</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Alto coeficiente de conductividad térmica</li> <li>Bajo coeficiente de expansión térmica</li> </ul>
<b>Restricciones</b>	<i>Negociables</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Buena colabilidad para la fundición</li> <li>Disponibilidad en Ecuador</li> <li>Económico</li> <li>Temperatura máxima de servicio al menos de 300 °C</li> </ul>
<b>Objetivos</b>	Maximizar la relación entre la conductividad térmica y el coeficiente de expansión térmica pues ayudaría tanto para el tema de la expansión del material durante el tiempo de empleo del intercambiador como la contracción que sufre el metal al pasar de estado líquido a sólido durante el proceso de solidificación.
<b>Variables libres</b>	Selección del material.



Materiales	Conductividad térmica ( $\frac{W}{m \cdot C}$ )	Coefficiente de expansión térmica ( $\frac{\mu strain}{^{\circ}C}$ )	Índice de material $\frac{\lambda}{\alpha}$	Costo aprox.* \$/kg	Relación costo vs índice de material
<b>Aleaciones de aluminio</b>	162	23.3	6.95	2.56	0.368
<b>Aleaciones de magnesio</b>	125	28	4.46	2.58	0.578
<b>Aleaciones de zinc</b>	129	29.3	4.40	3.90	0.886
<b>Estaño</b>	61.5	23.5	2.61	18.7	7.164
<b>Zinc puro</b>	125	28	4.46	2.77	0.621

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

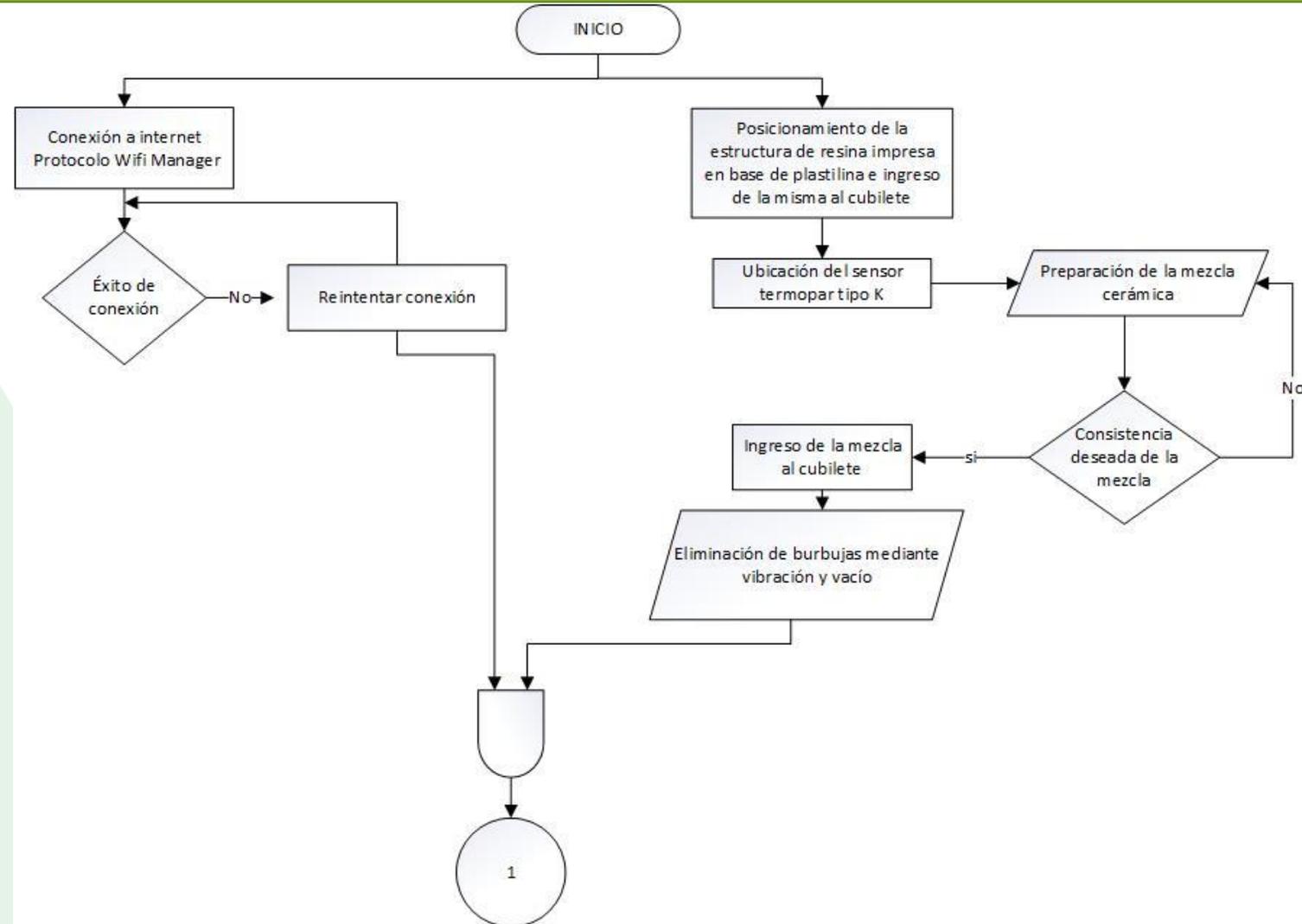
Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño y construcción

## Estructura de todo el sistema



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

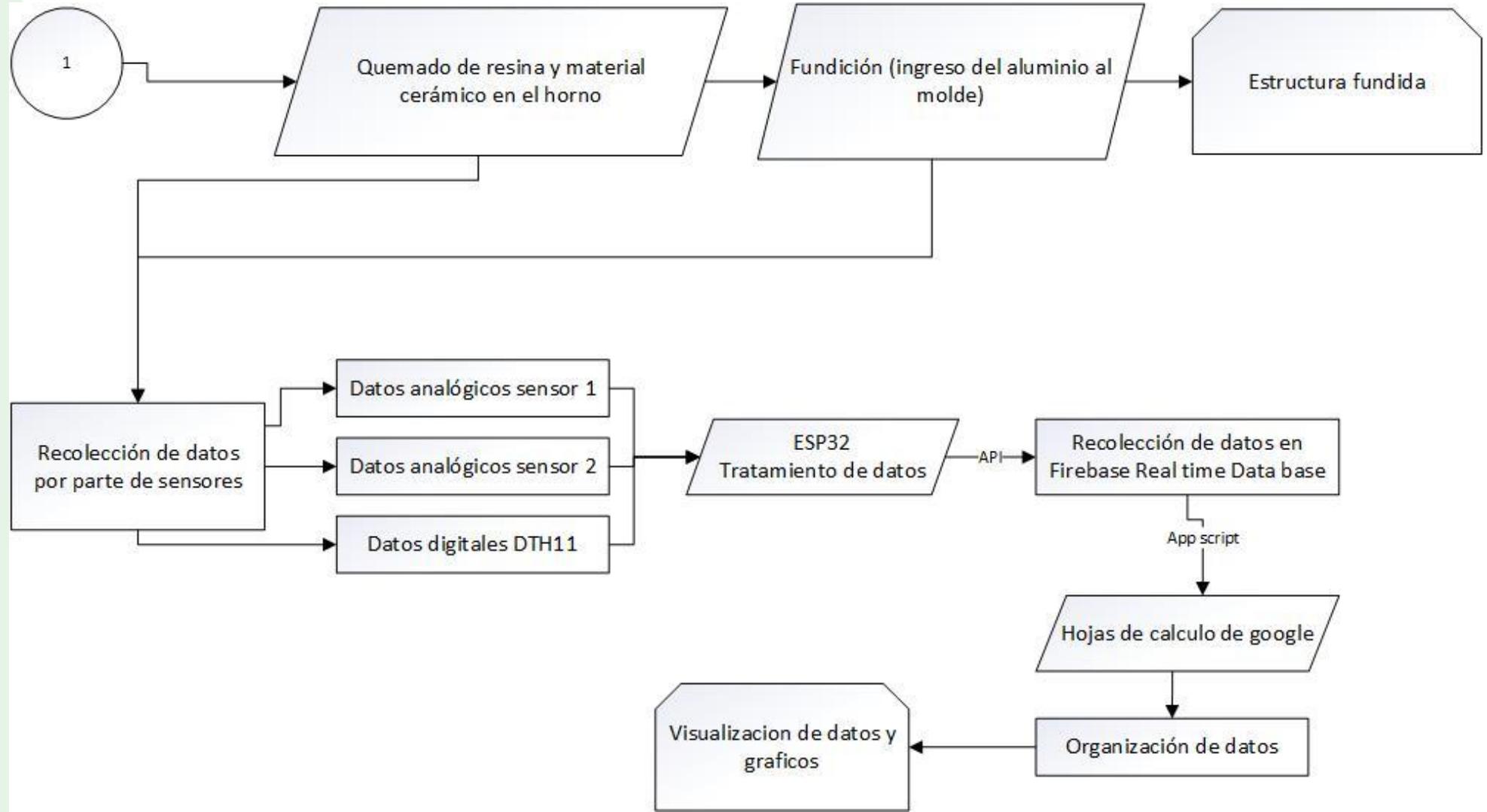
Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño y construcción

## Estructura de todo el sistema



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros