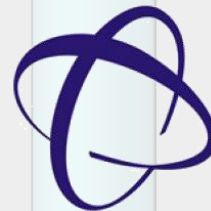




INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

Thermal Design and Simulation of a Circuit Board for Aerospace

TRABAJO FIN DE GRADO 2021-2022

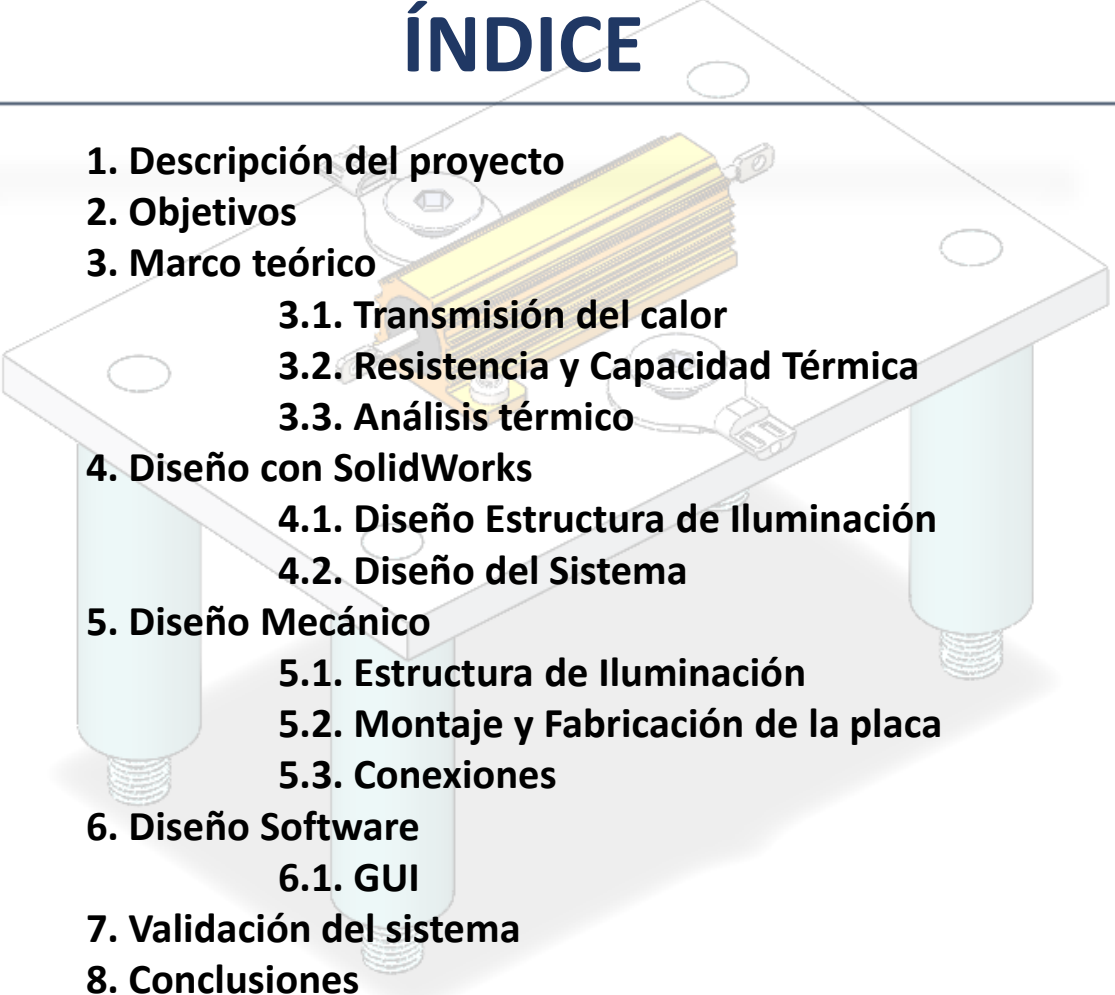


Facultad de
Ciencias

Autor: Miguel Atienza Ariza
Tutor: Andrés María Roldán Aranda

Departamento:
Electrónica y Tecnología de Computadores

ÍNDICE

- 
- A 3D CAD model of a circuit board assembly. The board is light grey with several circular holes. A yellow component, possibly a heat sink or a specialized chip, is mounted on the board. The board is supported by four light blue cylindrical standoffs. A USB connector is visible on the right side of the board.
1. Descripción del proyecto
 2. Objetivos
 3. Marco teórico
 - 3.1. Transmisión del calor
 - 3.2. Resistencia y Capacidad Térmica
 - 3.3. Análisis térmico
 4. Diseño con SolidWorks
 - 4.1. Diseño Estructura de Iluminación
 - 4.2. Diseño del Sistema
 5. Diseño Mecánico
 - 5.1. Estructura de Iluminación
 - 5.2. Montaje y Fabricación de la placa
 - 5.3. Conexiones
 6. Diseño Software
 - 6.1. GUI
 7. Validación del sistema
 8. Conclusiones



1. Descripción del proyecto

En las misiones del espacio profundo no hay convección natural disponible en la Tierra. Los diseños electrónicos para los satélites deben asegurar que la energía disipada por los componentes sea radiada por conducción hasta el borde exterior de la placa donde se transfiere esa energía térmica a la caja que alberga la placa.

Mediante una cámara térmica de vacío (TVAC) disponible en el laboratorio, se realizará un sistema de medición y acondicionamiento de la cámara para la realización de estudios térmicos.

1. Descripción del proyecto

Vacío



Bomba de vacío
TRIVAC D16B



HiPace80
Turbopump

Presión de Vacío



Vacuómetro

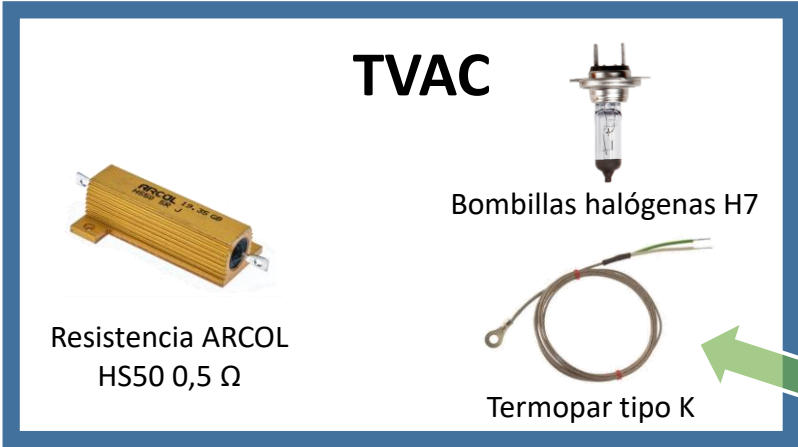
Suministro de Potencia y Medición



AGILENT N6705A



SIGLENT SPD3303X



TVAC



Resistencia ARCOL
HS50 0,5 Ω



Bombillas halógenas H7



Termopar tipo K

Medición temperatura termopares



Thermometer YC-747UD

Temperatura de la TVAC



Isotemp Chiller



2. Objetivos

- Acondicionamiento de la cámara térmica de vacío para la realización de pruebas térmicas.
- Desarrollo de un modelo para el estudio de la resistencia de contacto térmico entre dos elementos.
- Desarrollo de un sistema de iluminación y temperatura de la cámara térmica de vacío
- Sistema para medir y controlar el equipo usado.
- Visualización de datos en tiempo real.

3. Marco Teórico: Transmisión del calor

Calor: Intercambio de energía entre dos cuerpos que se encuentran a diferente temperatura.

Temperatura: Propiedad escalar, nivel térmico de un cuerpo.

Transmisión del calor:

- Conducción $Q_{cond} = \frac{kA(T_f - T_i)}{L}$
- Convección: $Q_{conv} = hA(T_s - T_f)$
 - Forzada
 - Natural
- Radiación: $Q_{rad} = A\epsilon\sigma(T_s^4 - T_f^4)$
 - Ley de Planck
 - Ley del desplazamiento de Wien
 - Ley de Stefan-Boltzmann

Mechanisms of Heat Transfer - Convection

$$q = h\Delta T$$

where

q is the local heat flux density [W.m⁻²]

h is the heat transfer coefficient [W.m⁻².K]

ΔT is the temperature difference [K]

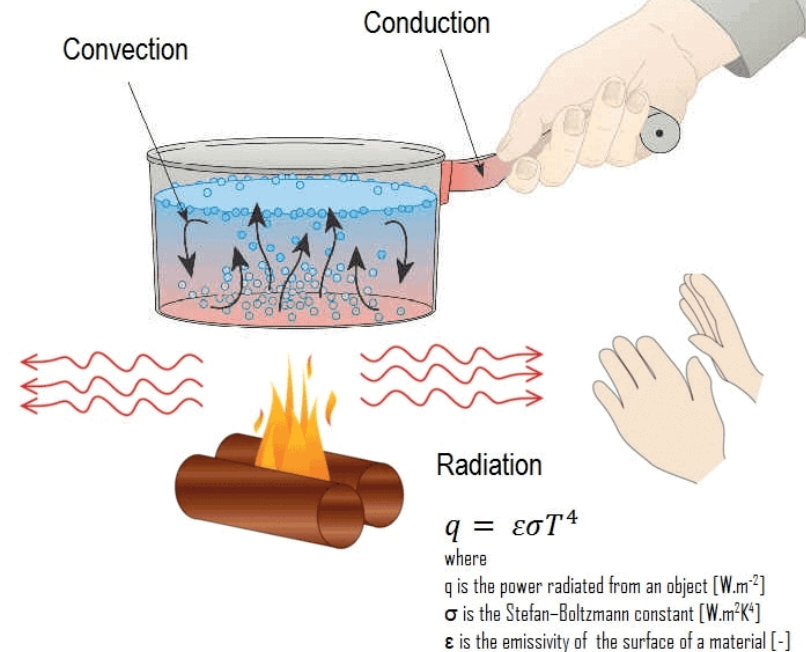
$$q = -k\nabla T$$

where

q is the local heat flux density [W.m⁻²]

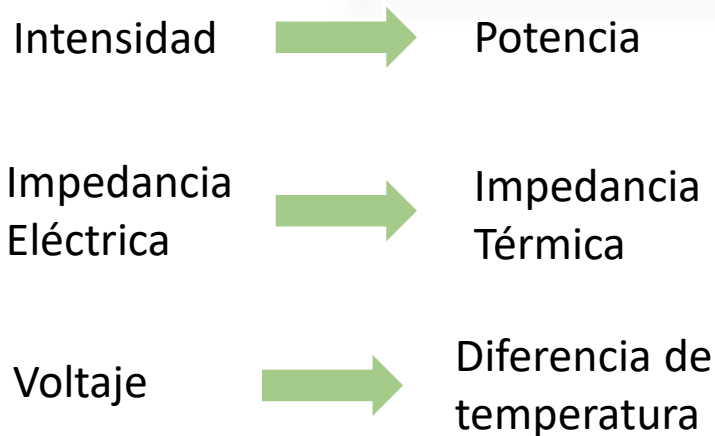
k is the materials conductivity [W.m⁻¹.K⁻¹]

∇T is the temperature gradient [K.m⁻¹]



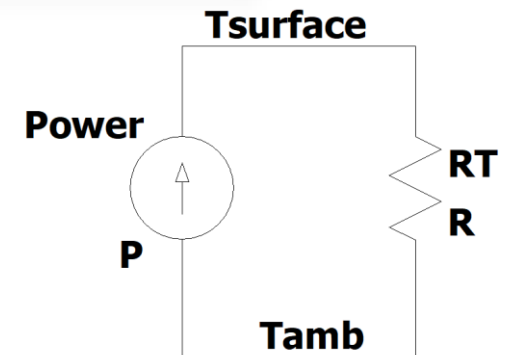
3. Marco Teórico: Resistencia y Capacidad térmica

Analogía con la ley de Ohm



- Resistencia térmica
- Capacidad térmica

Estado Estacionario



$$T_s - T_a = PR_T$$

Conducción de Calor

$$Q_{cond} = \frac{kA(T_f - T_i)}{L}$$



$$Q_{cond} = \frac{(T_f - T_i)}{R_T}$$



Resistencia Térmica

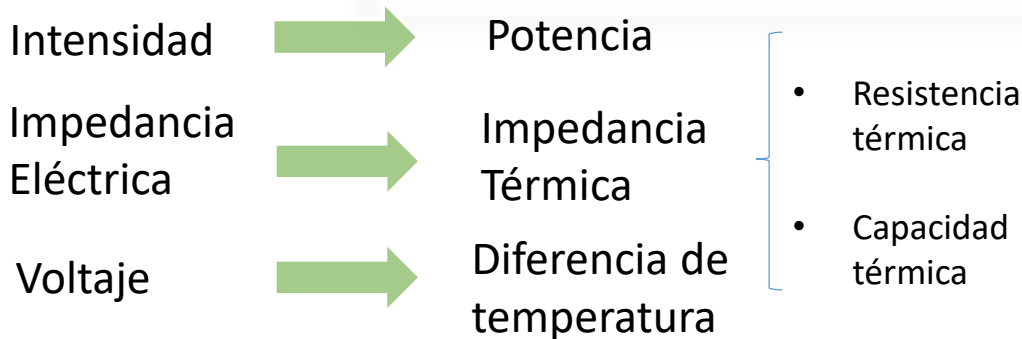
$$R_T = \frac{L}{kA}$$

Conductividad Térmica

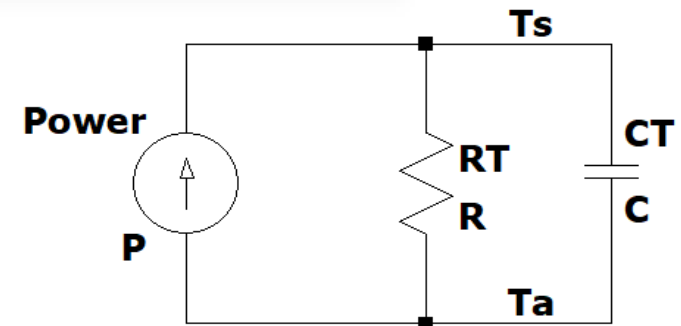
$$\sigma = \frac{1}{R_T}$$

3. Marco Teórico: Resistencia y Capacidad térmica

Analogía con la ley de Ohm



Estado Transitorio



Capacidad Térmica

$$C_T = c_s * d * V \quad \rightarrow \quad C_T = c_s * m$$

- C_T = Capacidad térmica
- c_s = Capacidad específica
- d = densidad
- V = Volumen que es calentado
- m = Masa

Transformada de Laplace:

$$T_s - T_a = P(R_T // C_T)$$

$$C_T = \frac{1}{s * C}$$

$$T_s - T_a = PR_T(1 - e^{-\frac{t}{R_T C_T}})$$



3. Marco Teórico: Resistencia y Capacidad térmica

Resistencia Térmica: Representa la capacidad del material para oponerse al flujo de calor. Depende de:

- Presión de contacto.
- Características de la superficie.
- Propiedades del material.
- Cargas de contacto.
- Medio intersticial de la interfase.

Capacidad Térmica: Representa la cantidad de calor necesario para incrementar 1 grado la temperatura de una cierta sustancia.

3. Marco Teórico: Análisis Térmico

Simulación Térmica

Modelación del comportamiento térmico del elemento calefactable mediante los parámetros:

- Calor específico.
- Conductividad térmica.
- Masa de la resistencia.

Estacionario

Transitorio

Parámetros de una aleación de acero en Simulaciones Térmicas

Property	Value	Units
Shear Modulus	7.7e+10	N/m ²
Mass Density	7800	kg/m ³
Tensile Strength	513613000	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	172339000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.1e-05	/K
Thermal Conductivity	18	W/(m·K)
Specific Heat	460	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

Estudio Experimental

Para el estudio de la conducción de calor se usarán:

- Resistencia de potencia ARCOL HS50 de 0,5 Ω.
- Placa de aluminio de 80x120mm con 6mm de grosor.

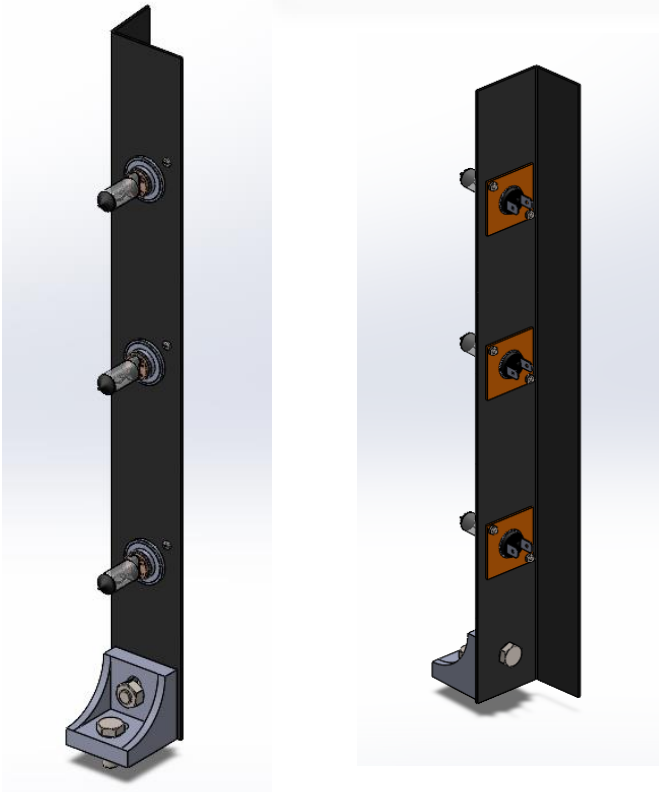
$$T_s - T_a = PR_T(1 - e^{-\frac{t}{R_T C_T}})$$

$$C_T = c_s * m \quad \sigma = \frac{1}{R_T}$$

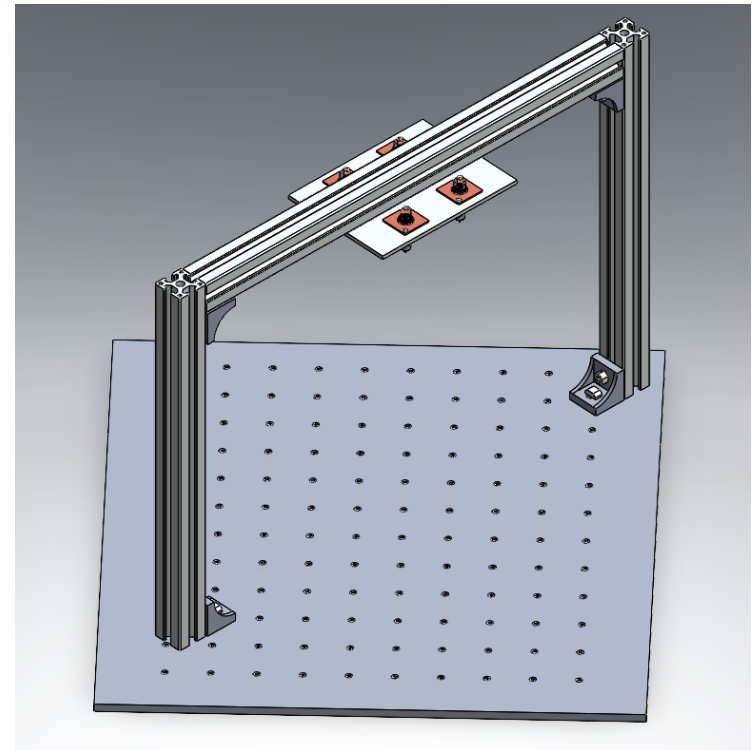
Masa y Potencia conocidos
 $P \approx cte$

4. Diseño con SolidWorks: Estructura de Iluminación

Versión 01

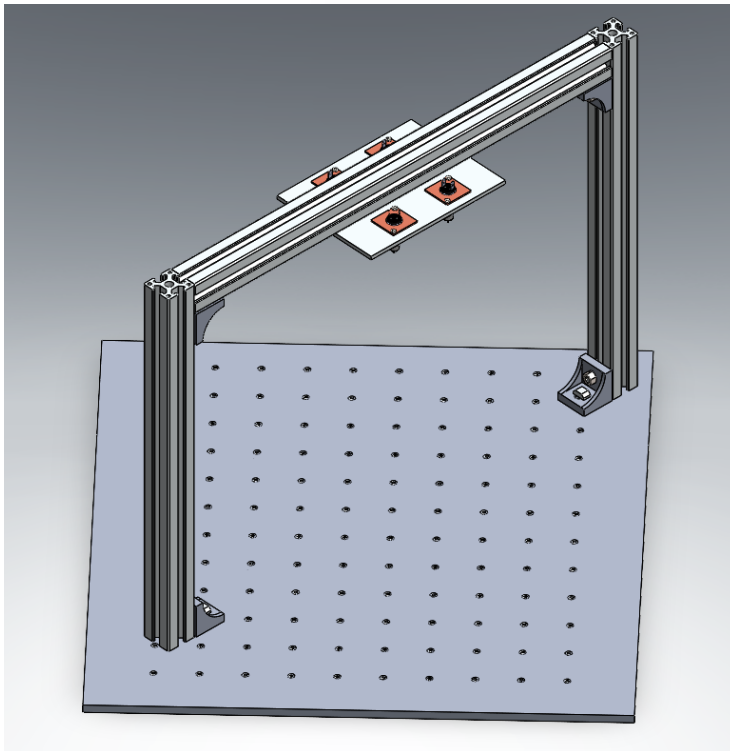


Versión 02



4. Diseño con SolidWorks: Estructura de Iluminación

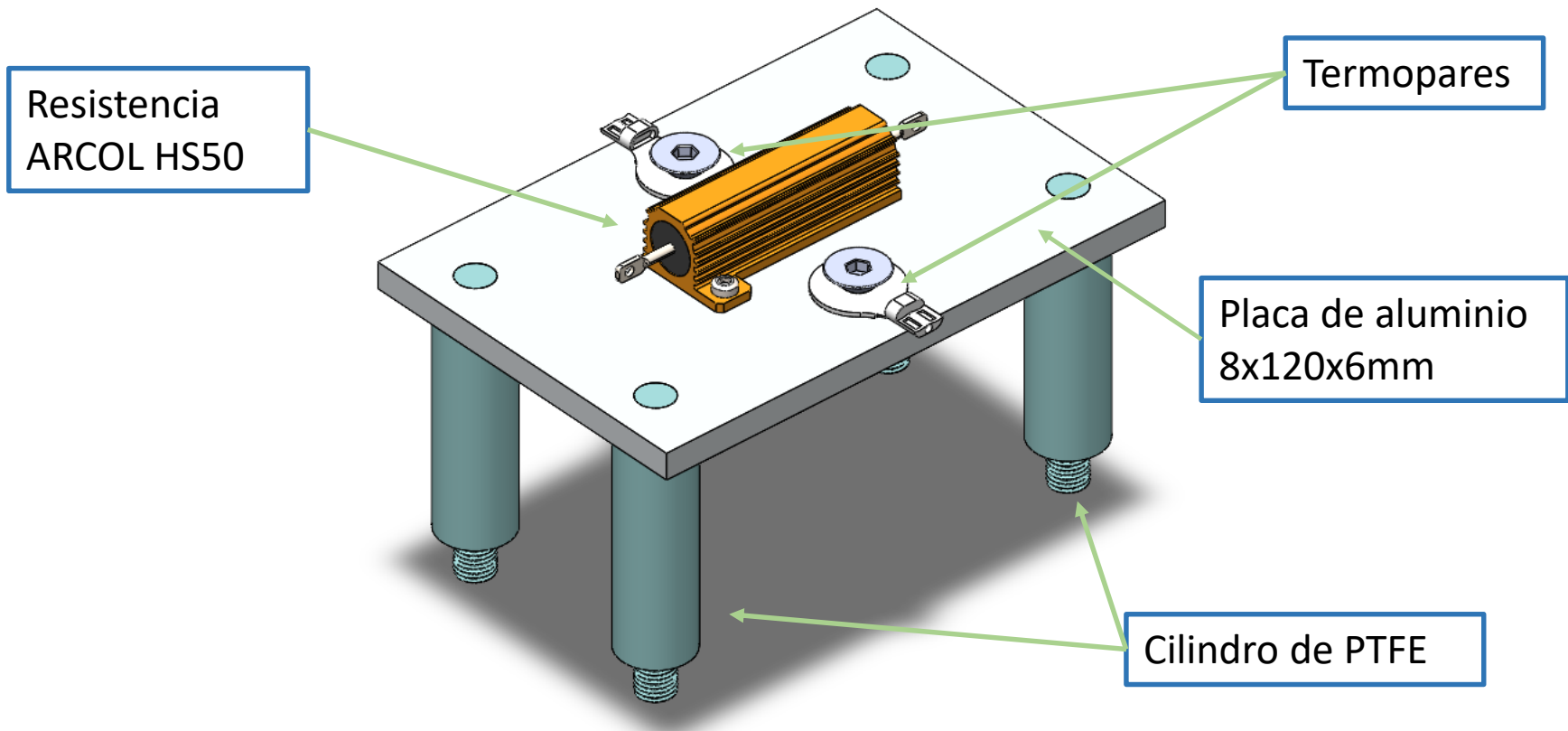
Elección: Versión 02



Ventajas

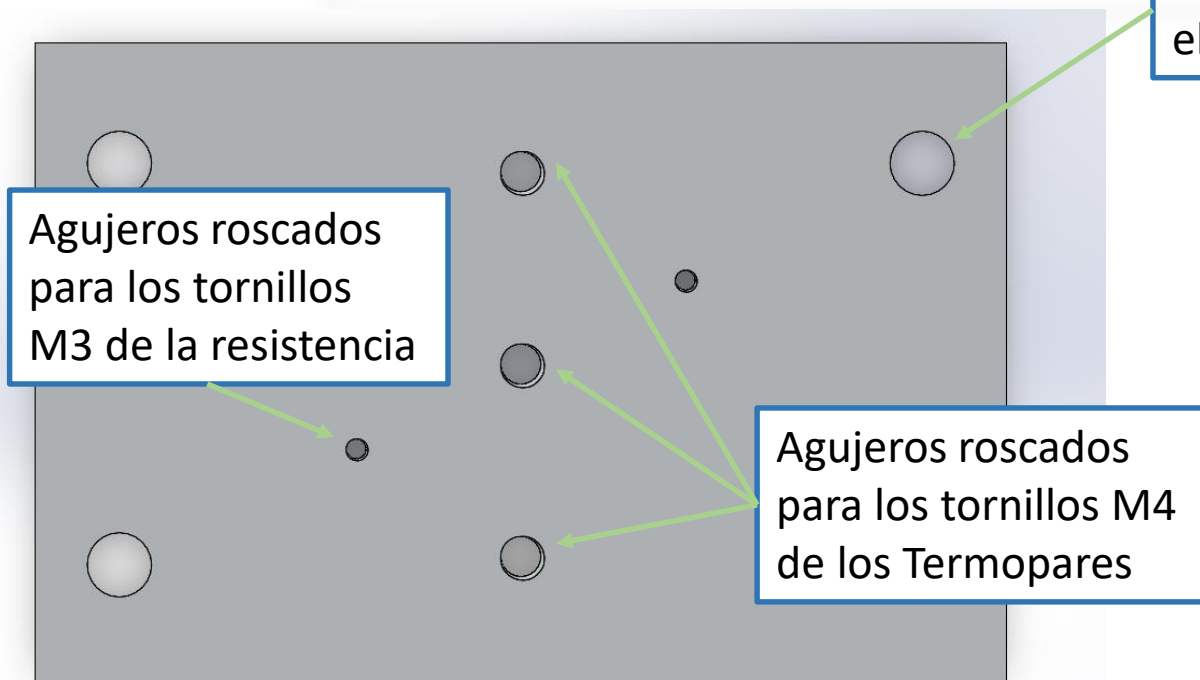
- Incidencia perpendicular de la luz a la placa.
- La estructura permite colgar las resistencias para su caracterización.

4. Diseño con SolidWorks: Diseño del sistema



4. Diseño con SolidWorks: Diseño del sistema

Modelo 1



Agujero 8 mm para
el cilindro de PTFE

Agujeros roscados
para los tornillos
M3 de la resistencia

Agujeros roscados
para los tornillos M4
de los Termopares

Características

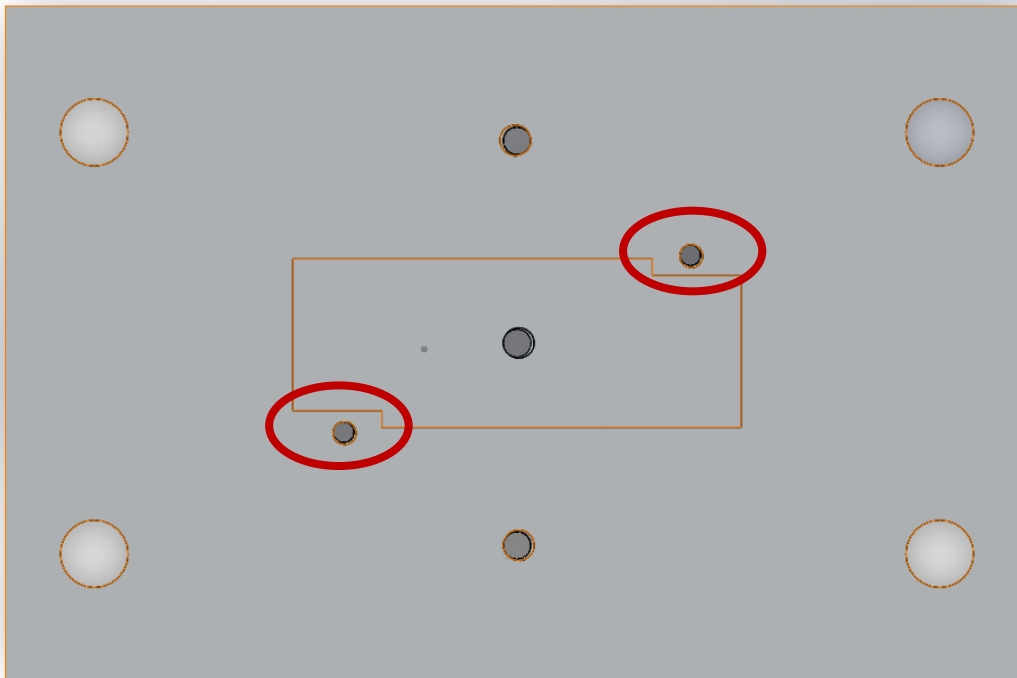
Contacto completo.

Estudio transferencia de
calor entre dos elementos.

Mayor presión de contacto.

4. Diseño con SolidWorks: Diseño del sistema

Modelo 2



Características

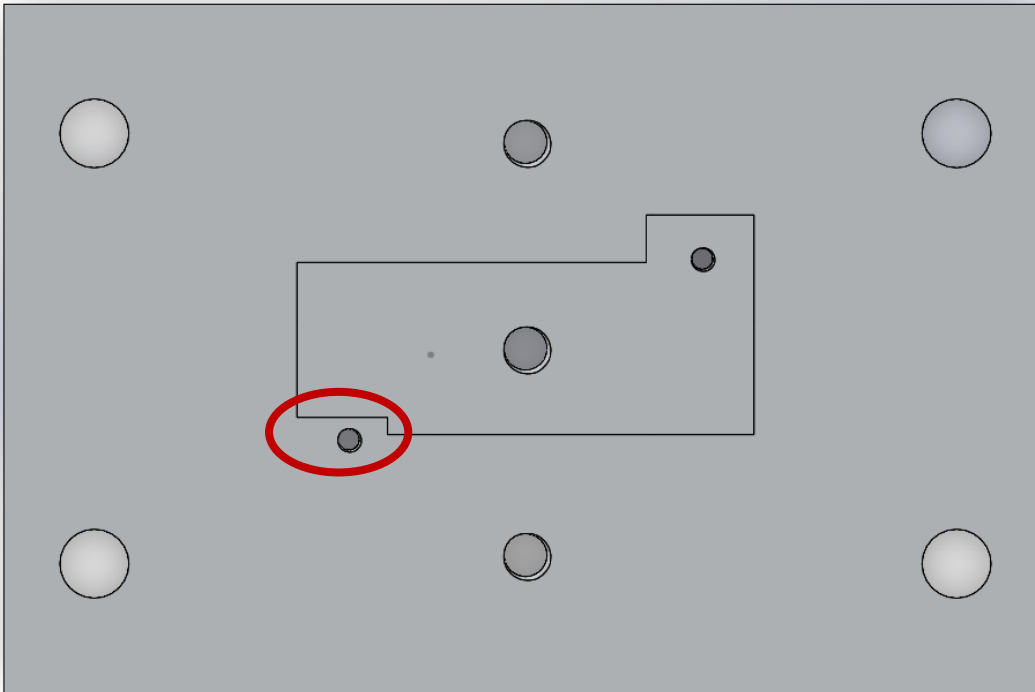
Contacto por 2 de las aletas de la resistencia.

Estudio de la transferencia de calor en la unión por los tornillos.

No se conoce exactamente la conductividad de contacto térmico de cada aleta.

4. Diseño con SolidWorks: Diseño del sistema

Modelo 3



Características

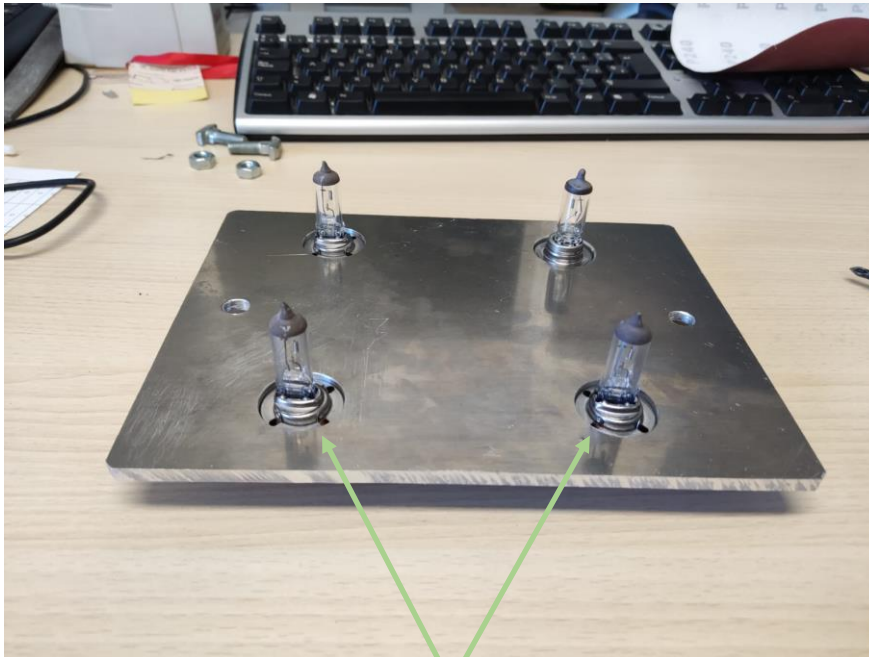
Contacto por una de las aletas de la resistencia.

Estudio transferencia de calor en la unión por un tornillo.

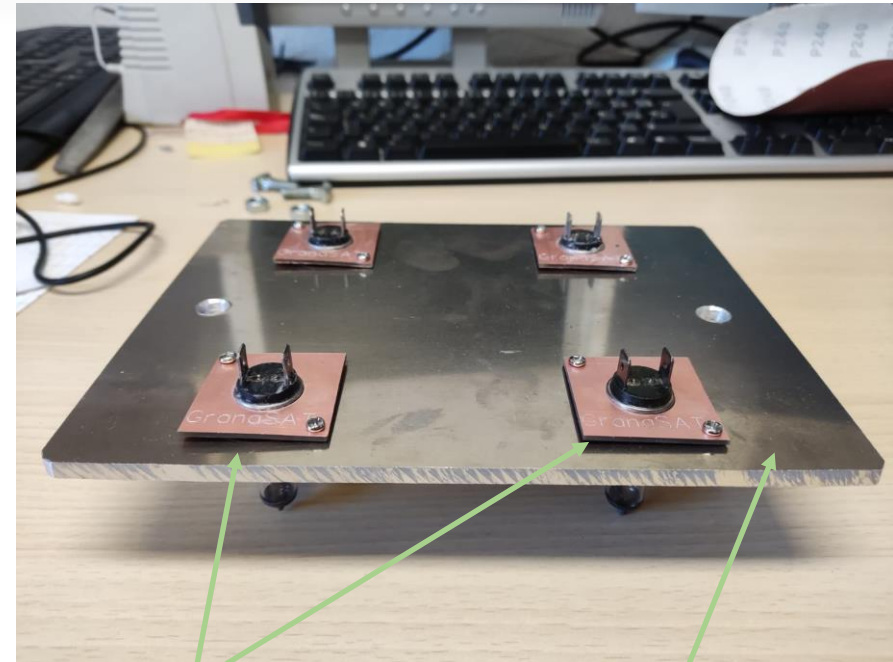
Mayor precisión en el estudio.

Menor presión de contacto.

5. Diseño Mecánico: Estructura de Iluminación



Bombillas de Halógenos H7 55W



Pletinas de cobre

Placa de aluminio

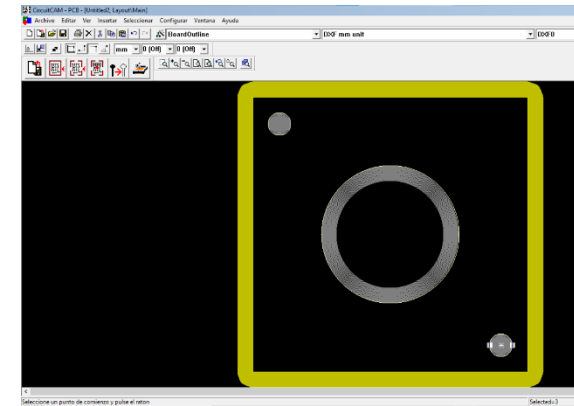
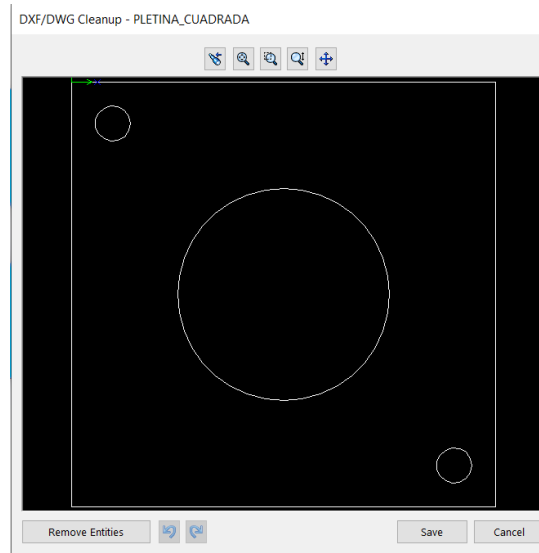
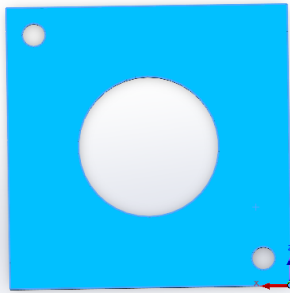
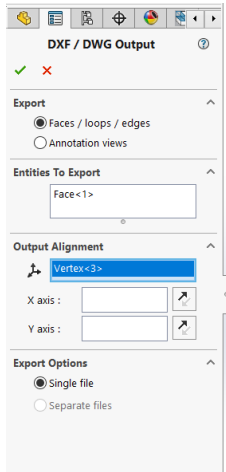
5. Diseño Mecánico: Estructura de Iluminación

Proceso para la fabricación de las pletinas

SolidWorks

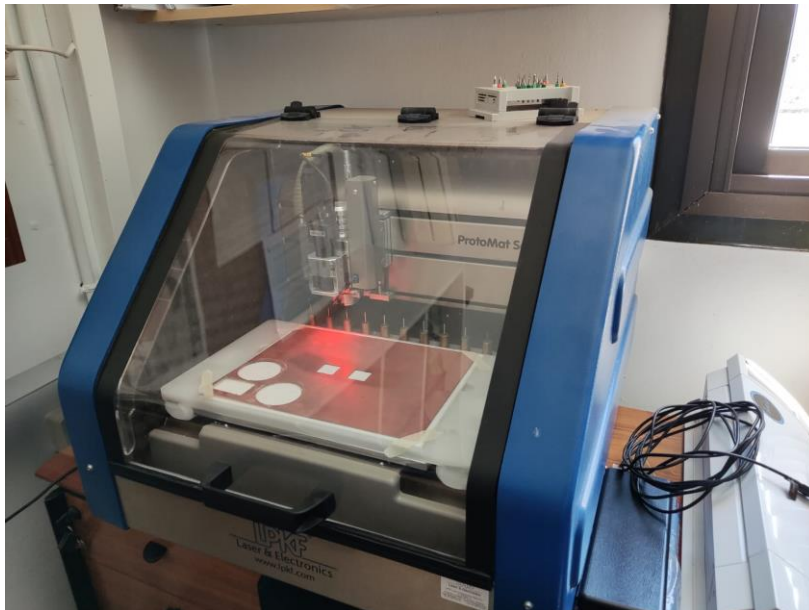
DXF

CircuitCAM



5. Diseño Mecánico: Estructura de Iluminación

Fabricación de las pletinas



Fresadora CNC

5. Diseño Mecánico: Estructura de Iluminación

Fabricación de las Placa de Aluminio



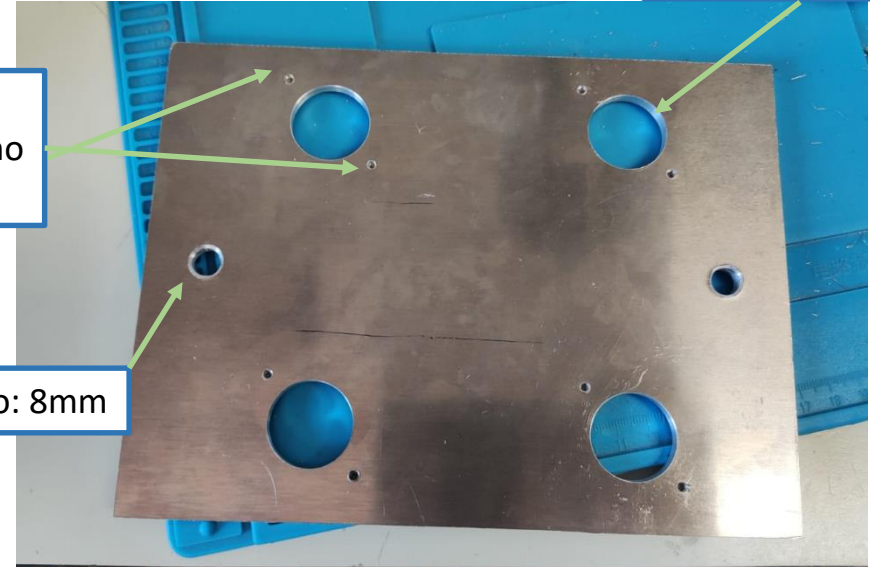
Broca
escalonado

Resultado
final

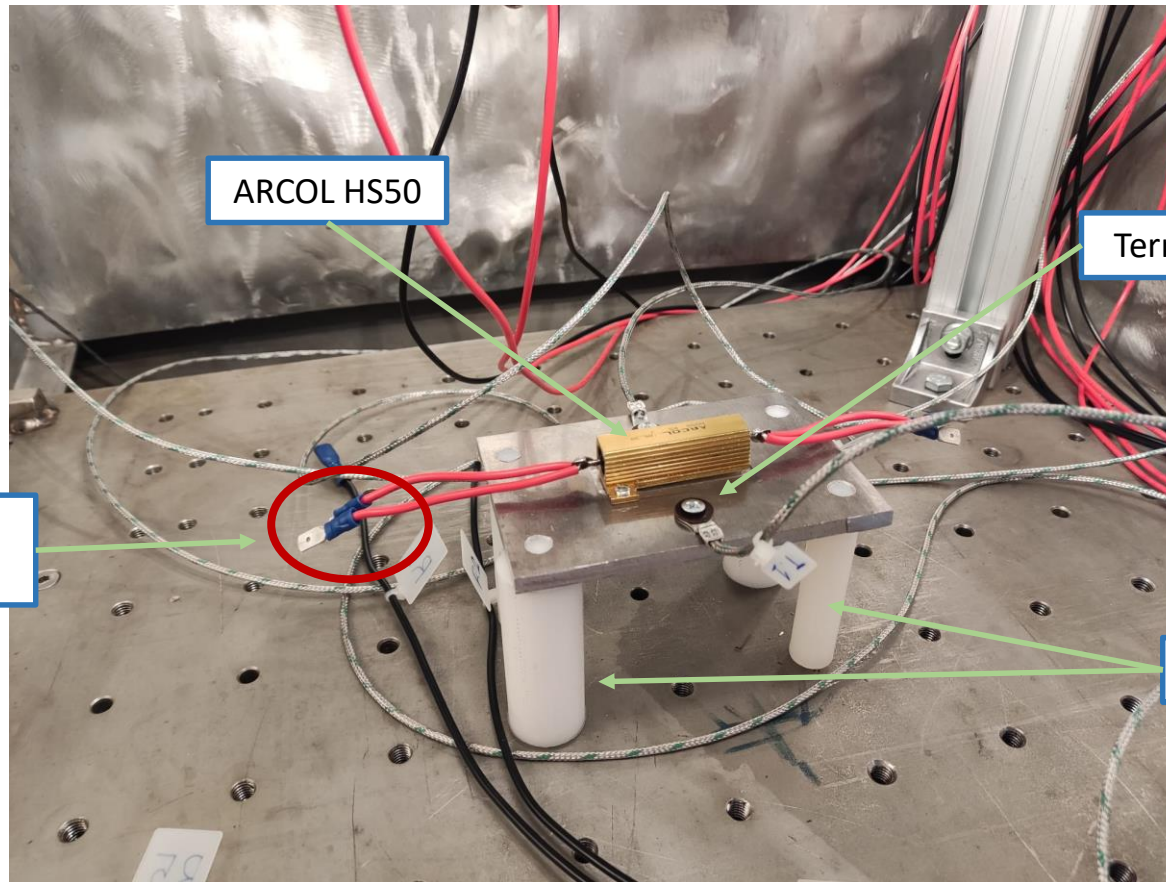
Diámetro: 26mm

Agujeros
roscados M3 no
pasantes

Diámetro: 8mm



5. Diseño Mecánico: Montaje y Fabricación de la placa



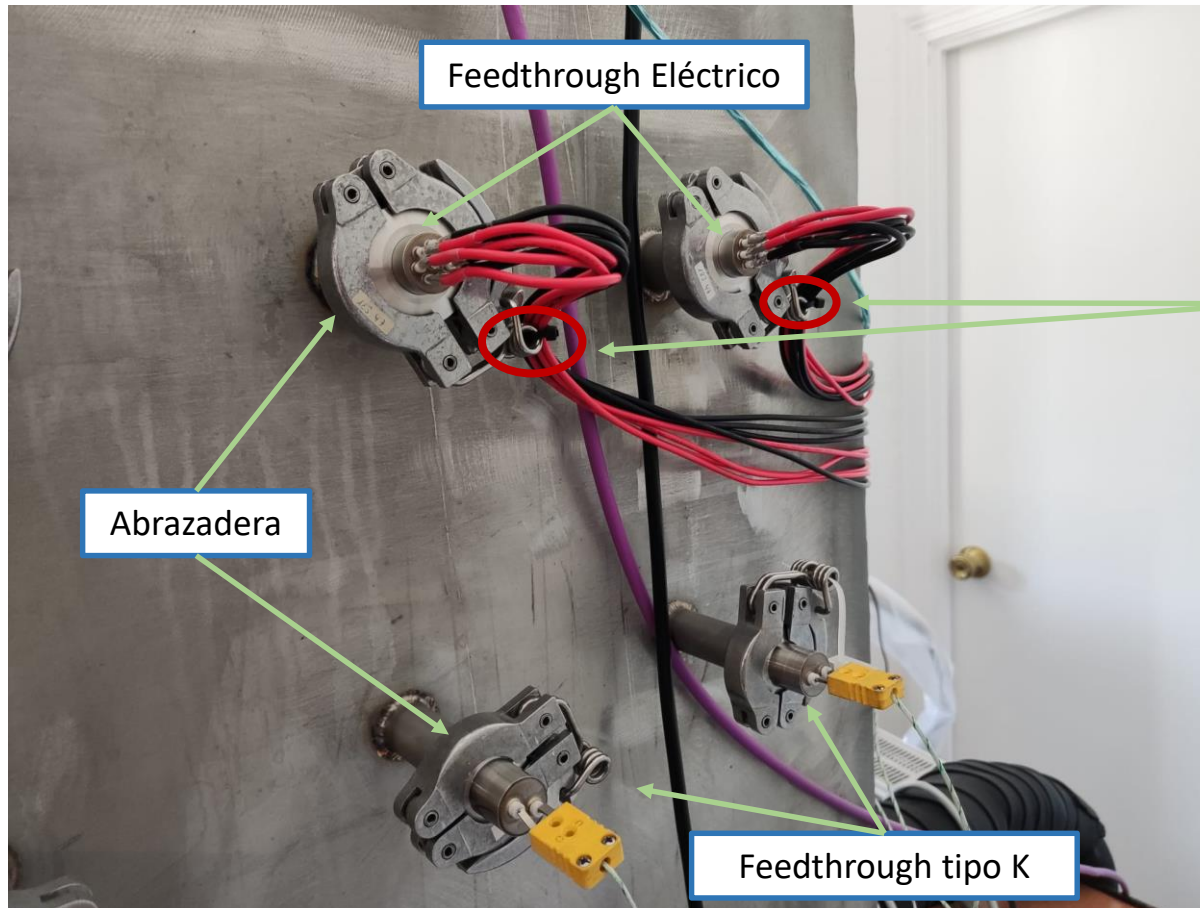
ARCOL HS50

Termopares tipo K

Conectores
Faston macho

Separadores PTFE

5. Diseño Mecánico: Conexiones



Feedthrough Eléctricos

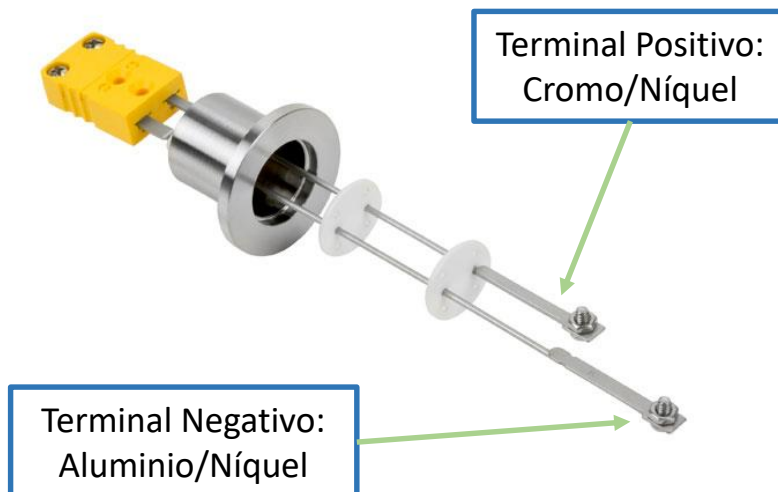
- Bombillas.
- Resistencias.
- Brida: Evita doblar las patillas del Feedthrough.
- Termo-retráctiles: Evita contactos entre cables.

Feedthrough tipo K

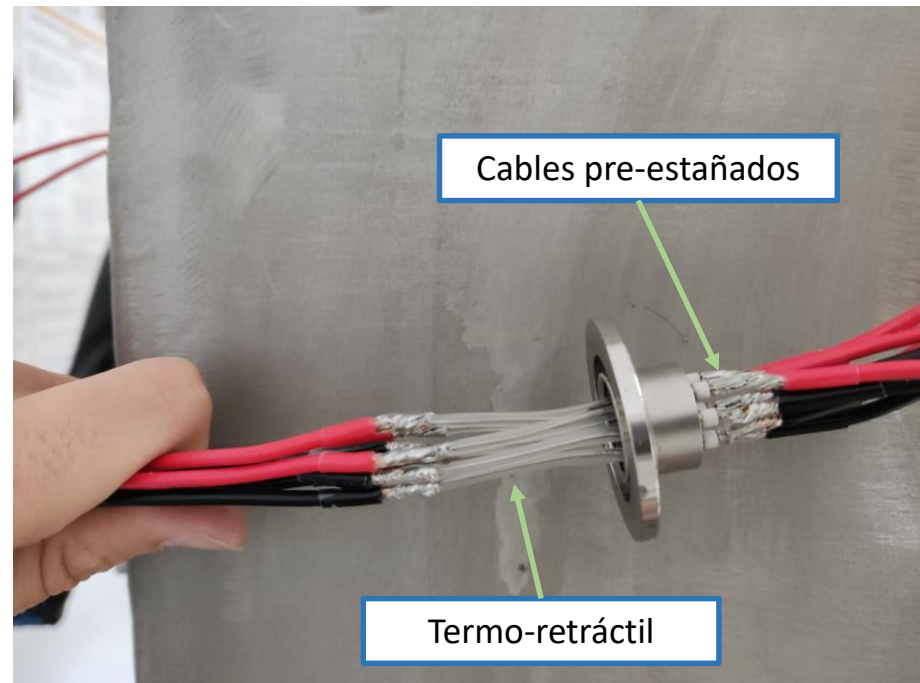
- Termopares
- Permiten la continuidad de los metales del termopar

5. Diseño Mecánico: Conexiones

Feedthrough tipo K



Feedthrough Eléctricos





6. Diseño Software

TCP/IP

- AGILENT N6705A
- SIGLENT 3303X
- Comunicación por comandos SCPI en ASCII.
- Para la comunicación se ha usado el Pyvisa en Python.
- Dirección IP.

USB

- Vacuómetro
- Termómetro
- Comunicación serie.
- Para una correcta comunicación los parámetros seriales deben coincidir.

SCPI Commands

Operation	SCPI AGILENT commands	SCPI SIGLENT commands
Set voltage	VOLT:LEV Voltage, (@channel)	CHchannel:VOLT volt
Set current	CURR:LEV Voltage, (@channel)	CHchannel:CURR volt
Turn on a channel	OUTP ON, (@channel)	OUTPut CHchannel,ON
Turn off a channel	OUTP OFF, (@channel)	OUTPut CHchannel,OFF
Get voltage	MEAS:VOLT? (@channel)	MEAS:VOLT? CHch
Get current	MEAS:CURR? (@channel)	MEAS:CURR? CHch

Serial parameters

	DataLogger Thermometer	Vacuumeter
Port address	COM5	COM6
Braud Rate	9600	19200
Byte size	8	8
Parity	None	None
Stop bits	1	1
Adress	-	123

TCP/IP connection devices

	IP address	NetMask	Gateway
PC	192.168.2.1	255.255.255.0	192.168.2.1
AGILENT N6705A	192.168.2.4	255.255.255.0	192.168.2.1
SILENT 3303X	192.168.2.10	255.255.255.0	192.168.2.1



6. Diseño Software

Paquetes usados en Python:

```
# PySerial for the access for the serial ports used
4 # by the vacuumeter and thermometer
import serial

7 # VXI11 package for the SIGLENT SPD3303X Power supply
import vxi11

10 # PyVisa for the AGILENT N60705T DC Power Analyzer
import pyvisa as visa
```

Mandar información a la fuente por TCP/IP:

```
# Method for setting the voltage:
def setVoltage(self, volt, channel):
    # SCPI command: set operation
    self.scope.write(f"VOLT:LEV {np.abs(volt)}, (@{channel})")
```

Comando:

- write()

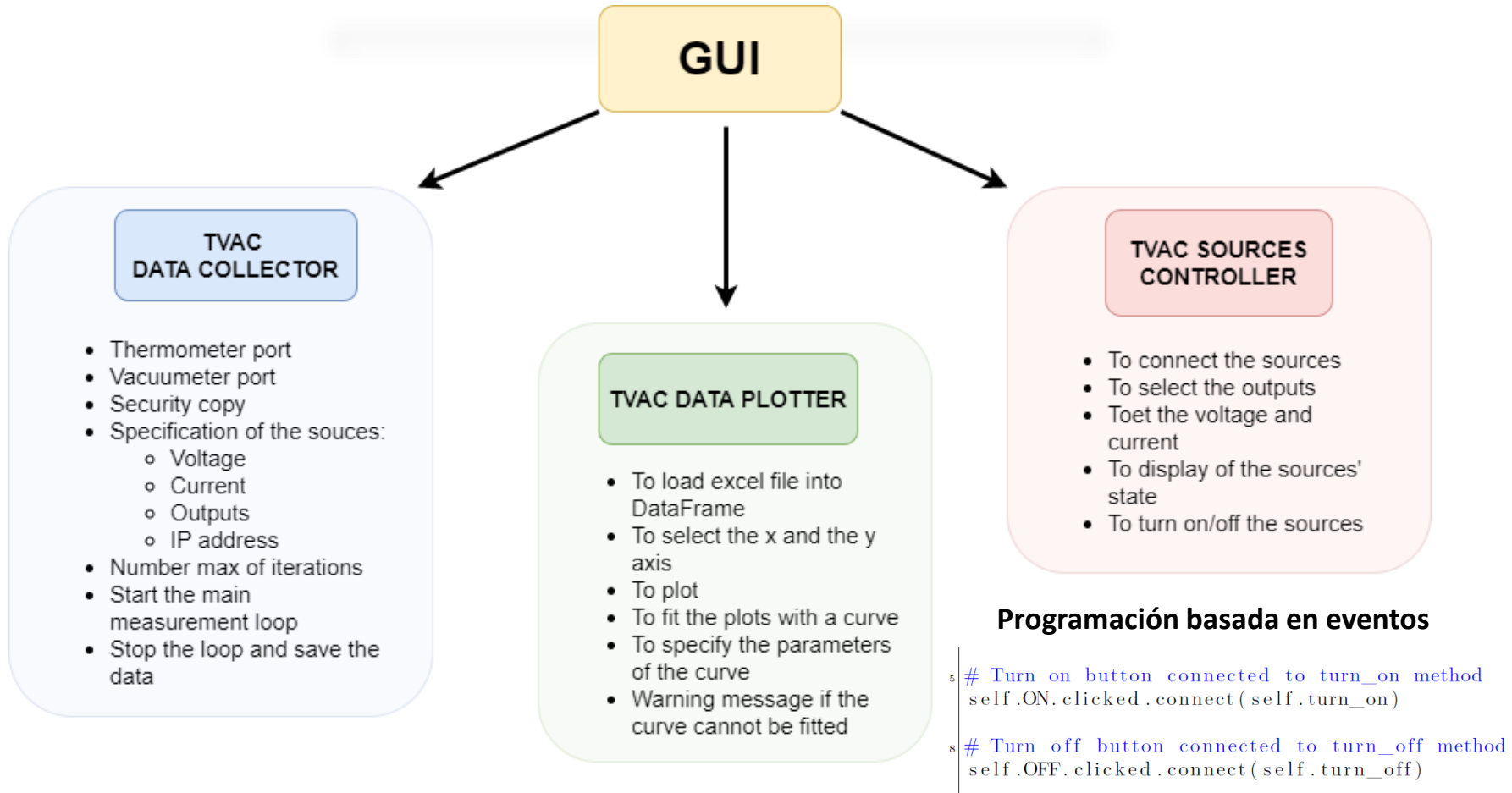
Pedir información a la fuente por TCP/IP:

```
# Method for getting the voltage of a channel:
def getVoltage(self, channel):
    # SCPI command: query operation
    self.scope.query(f"MEAS:VOLT? (@{str(channel)})")
```

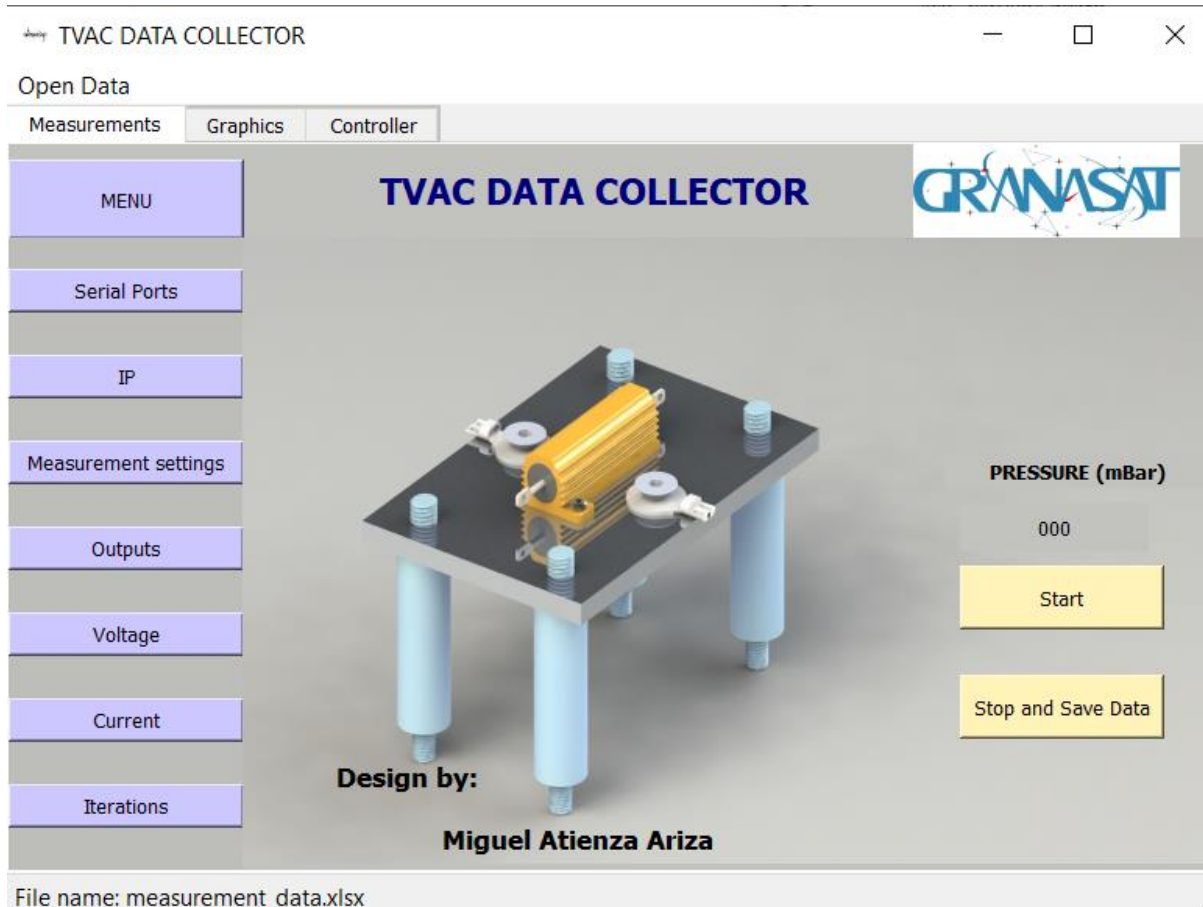
Comando:

- query()

6. Diseño Software: GUI



6. Diseño Software: GUI



- Bucle de medida.
- Parámetros de los equipos de medida y suministro de potencia
- Parámetros para las conexiones TCP/IP y seriales
- Parar mediante:
 - Botón Stop
 - Ajustar iteraciones

6. Diseño Software: GUI

Class Worker

do_work

- Measurement loop
- Real time plotting
- Saving the data

stop

- Change the value of the variable for stopping the measurement loop
- Tun off the sources
- To close serial ports

Class GUI

clickstart

- To set new parameters
- To establish to True the variable condition of the measurement loop
- To move the Worker Class to a QThread
- To emit the signal to start the thread

Funtions for

- TVAC Data Collector Tab
- TVAC Data Plotter Tab
- TVAC Source Controller Tab

stop_thread

- To emit the stop signal

MULTITHREADING

- Hilo para el bucle de medida
- Hilo para el GUI



6. Diseño Software: GUI

Bucle de medida (método do_work)

Se inicia con el botón **START**.

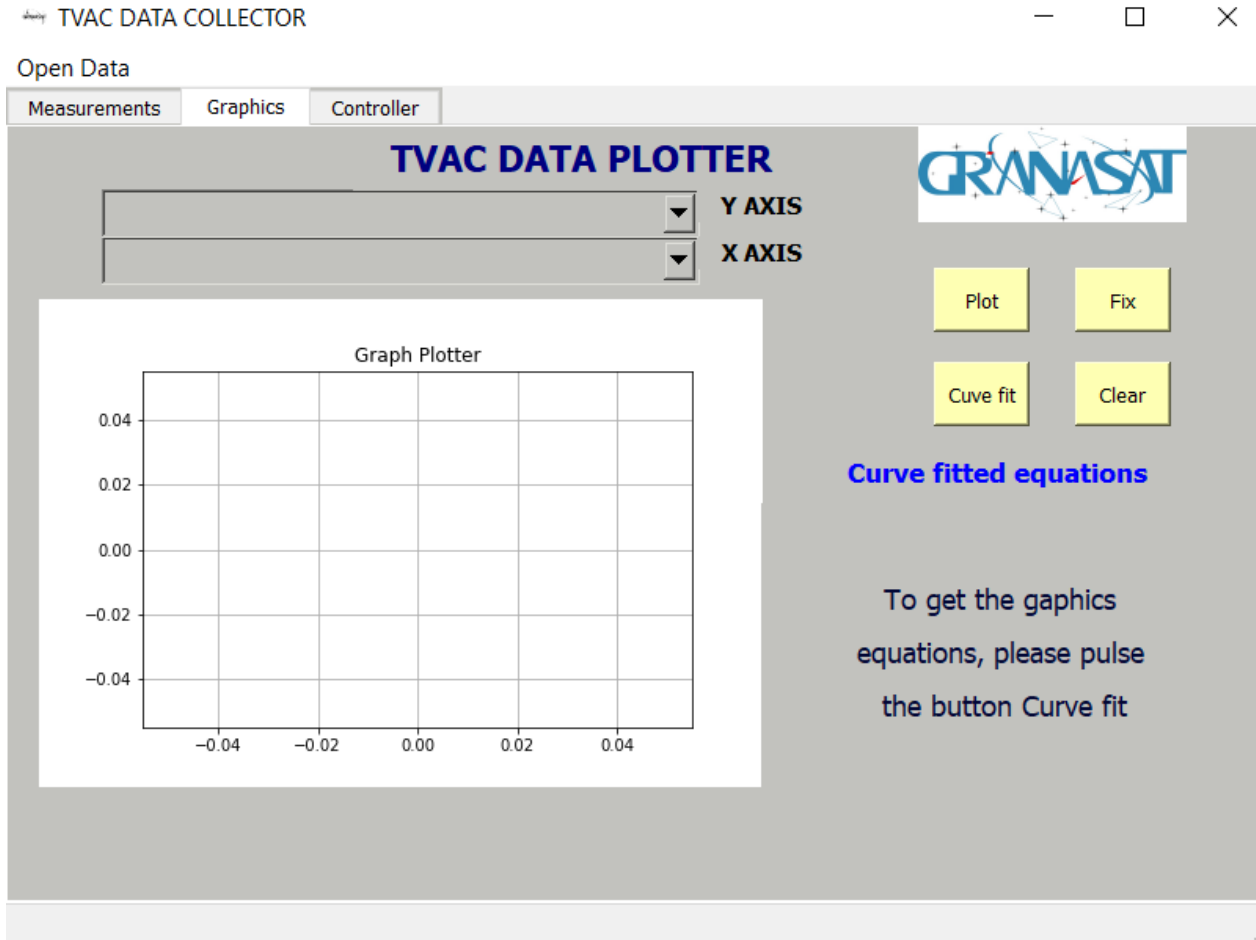
1. Envía la información de los parámetros a las fuentes.
2. Inicializa las gráficas y enciende las fuentes.
3. Empieza el bucle de medida:
 - Envía comandos query a las fuentes.
 - Datos en un DataFrame
 - Actualiza las gráficas
 - Cada ciertas iteraciones guarda el DataFrame en un archivo Excel (copia de seguridad)

Se termina con:

- Botón **STOP**:
 - Método stop() que niega la variable para parar el bucle
 - Parámetro Iteraciones diferente a 0.
1. Finaliza las gráficas en tiempo real
 2. Cierra los puertos.
 3. Guarda los datos en un archivo Excel.

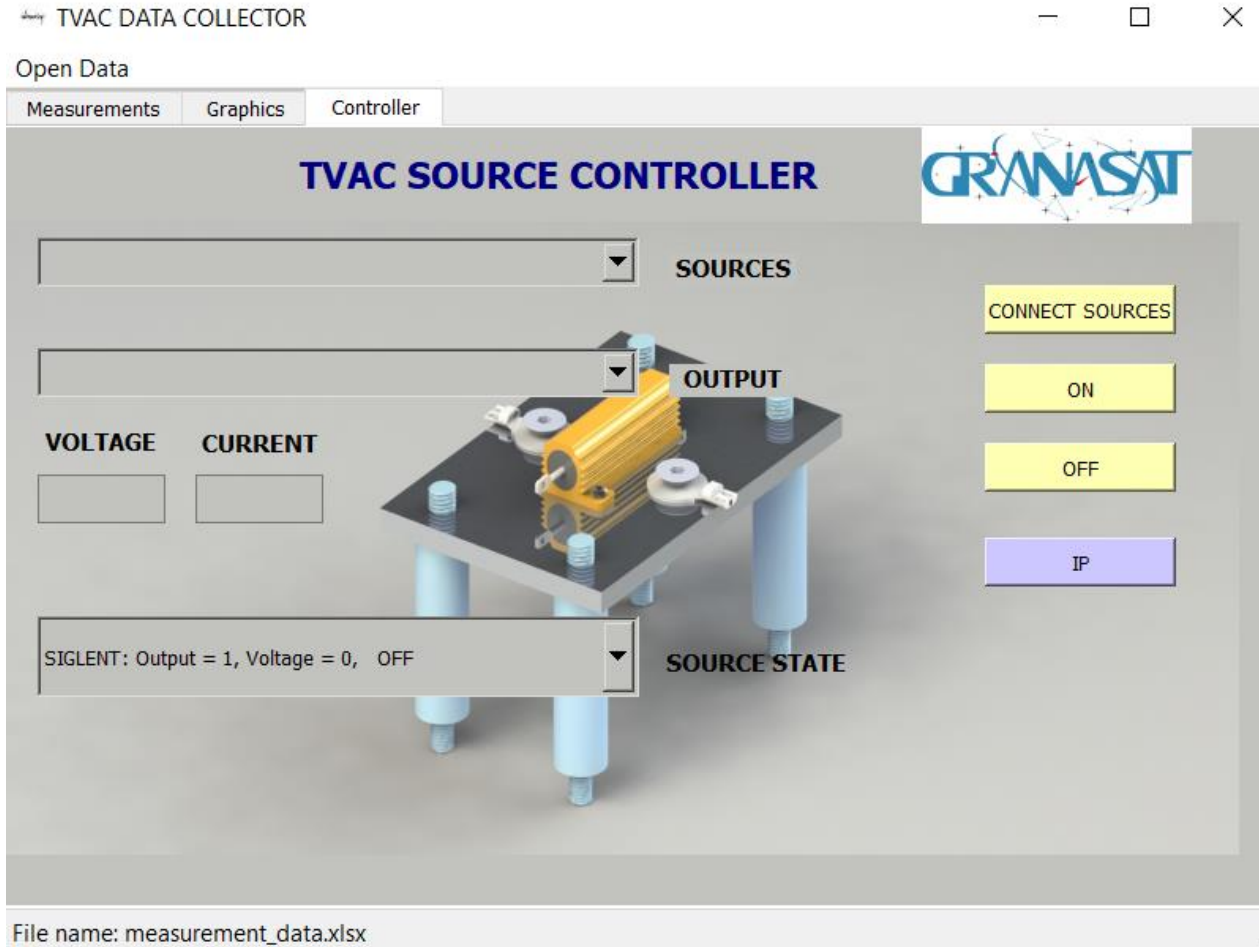


6. Diseño Software: GUI



- Plot: Dibuja la gráfica a partir de los datos en X e Y
- Fix: Fijar la gráfica para dibujar encima.
- Curve fit: Ajustar datos experimentales.
- Clear: Borrar gráficas

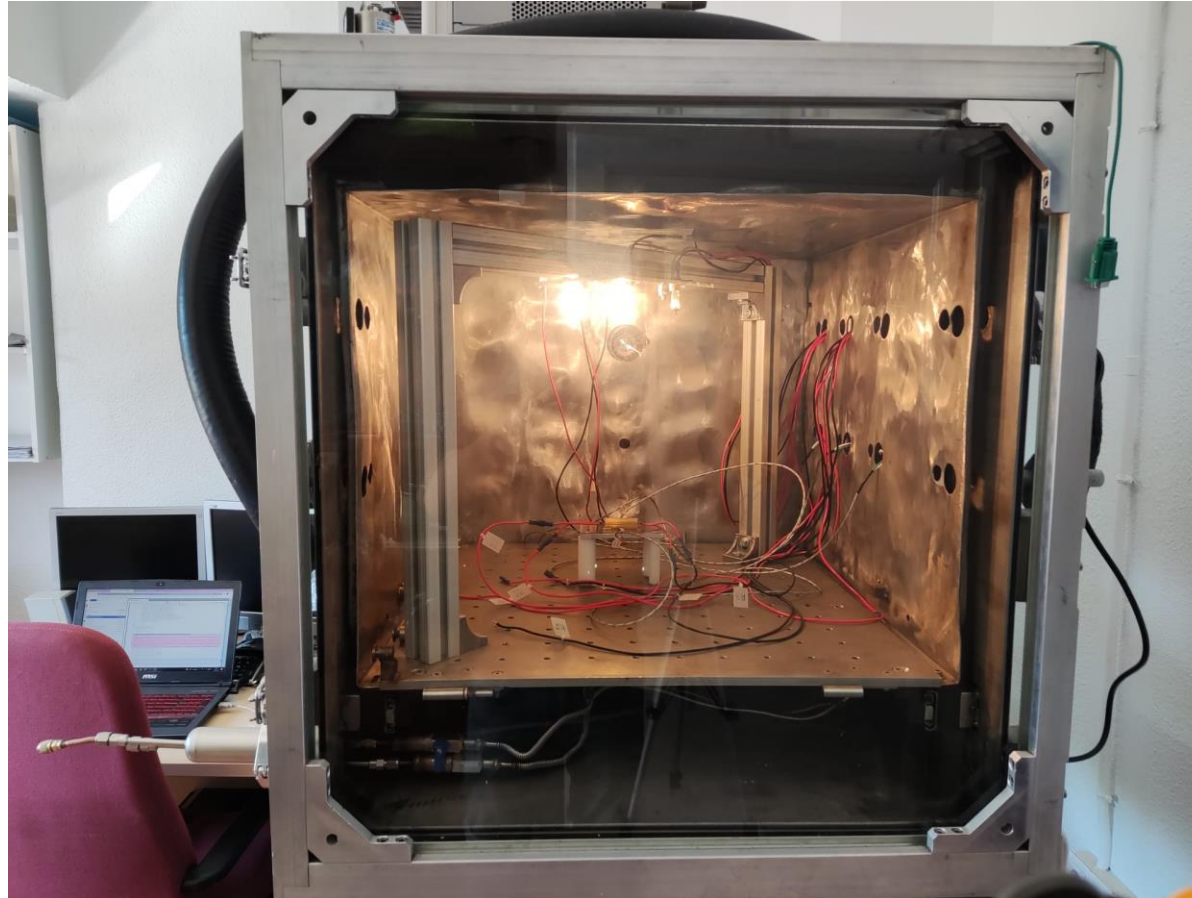
6. Diseño Software: GUI



- Control de las salidas:
 - AGILENT N6075A
 - SIGLENT 3303X
- Visualización del estado de las salidas
- Encender y apagar las salidas de ambas fuentes
- Modificar direcciones IP

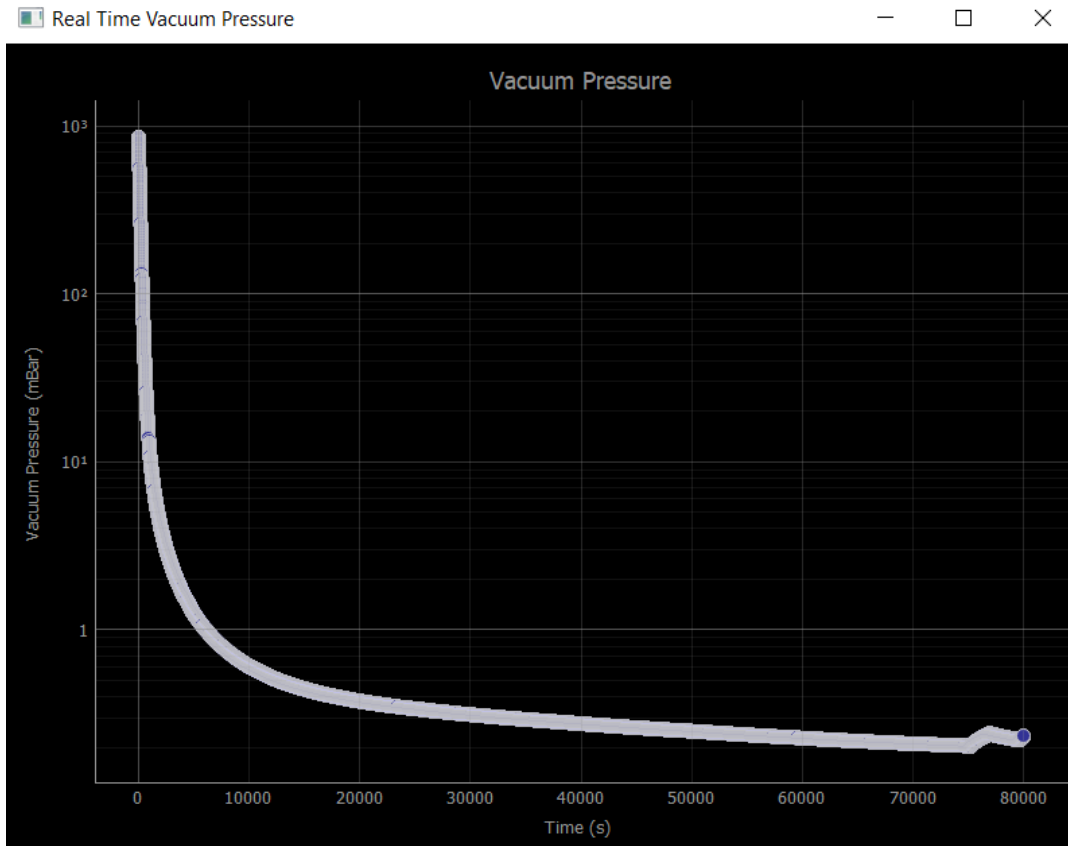
7. Validación del sistema

Cámara térmica de vacío



7. Validación del sistema

Gráfica en tiempo real

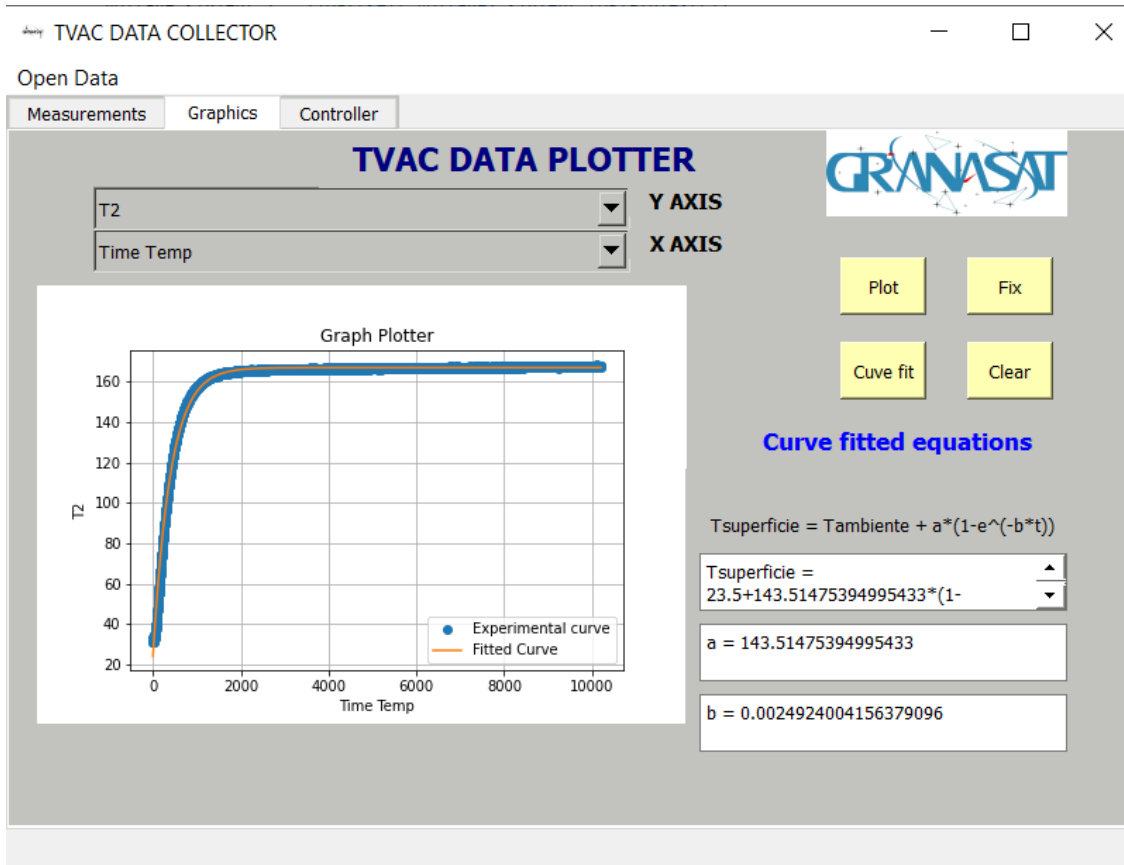


Gráficas en PYQTGRAPH:

- Datos en tiempo real
- Gran cantidad de datos
- No retarda el bucle de medición

7. Validación del sistema

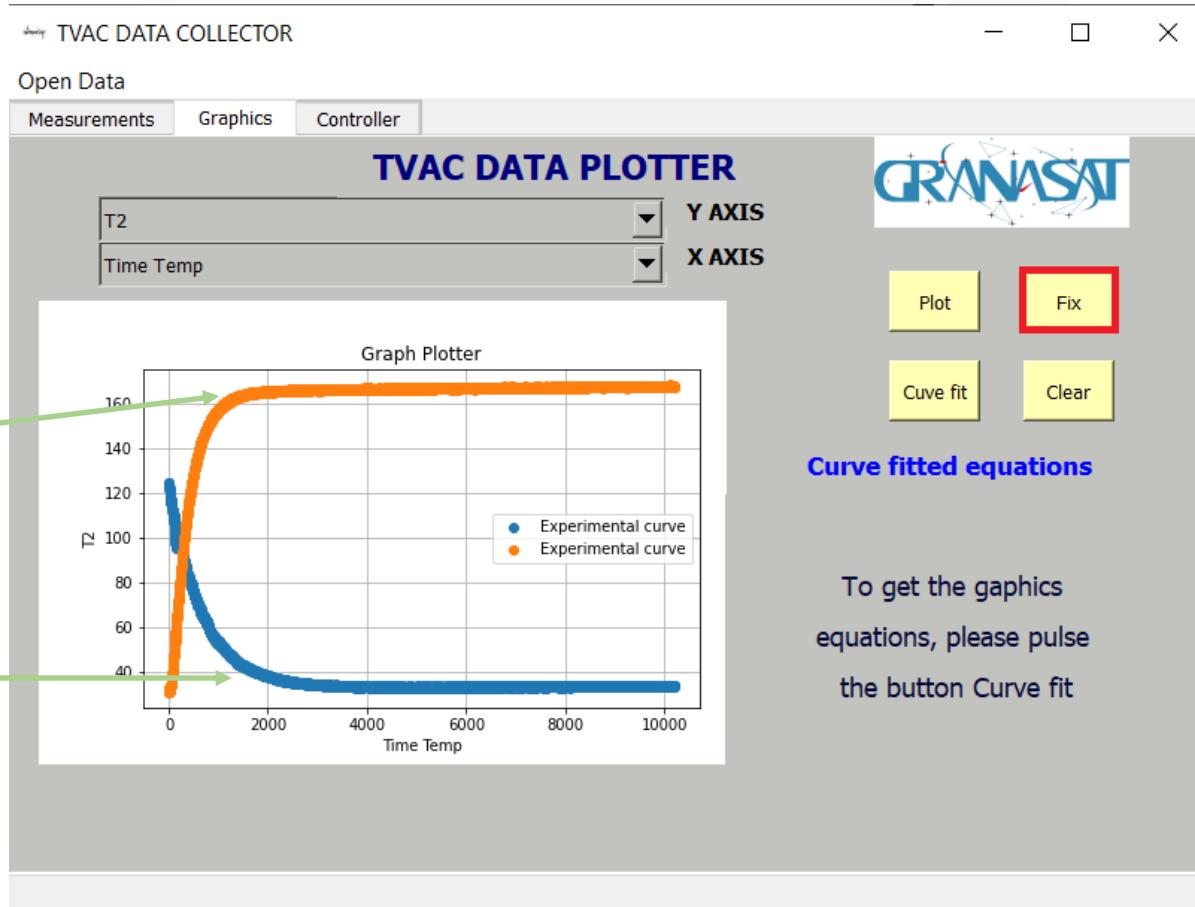
TVAC DATA PLOTTER



- Ajuste experimental de datos
- Selección de datos del archivo Excel.
- Parámetros

7. Validación del sistema

TVAC DATA PLOTTER: BOTON FIX



Curva de calentamiento

Curva de enfriamiento

7. Validación del sistema

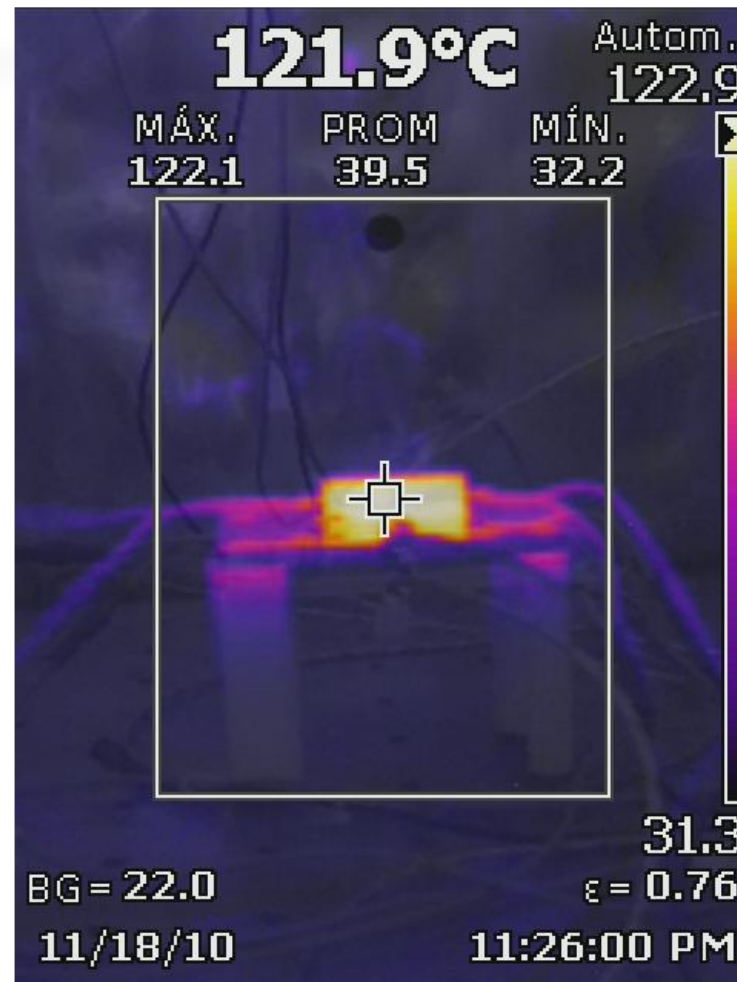
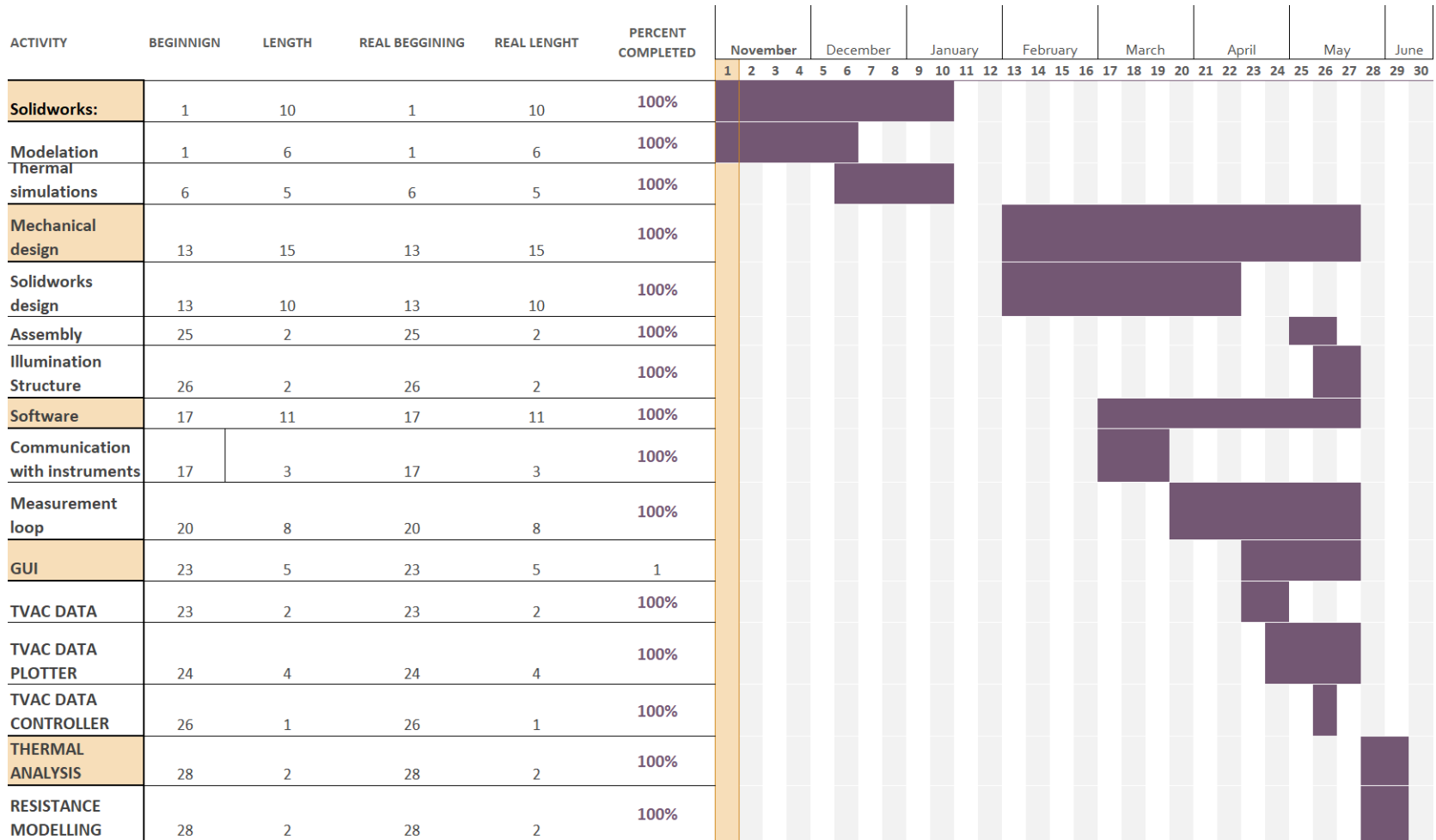




Diagrama de Gantt





PRESUPUESTO

PRESUPUESTO			
Artículo	Cantidad	Coste unitario (€)	Coste Total (€)
Cable	56m	0.8	44.8
Conectores de Banana	16	1.61	25.76
Placa de aluminio	1	5.2	5.2
Lámparas halógenas H7	4	0	0
Termopares tipo K	4	18.3	73.2
Cable de extensión	6m	0	0
Conectores tipo K	3	0	0
ARCOL HS50	1	0	0
RS RS25	1	0	0
Conectores Faston	20	0.05	1
		Total	148.96



8. Conclusiones

Resumen

- Sistema de medición y representación gráfica
 - Representación de datos en tiempo real
 - Tratamiento y ajuste de datos experimentales
 - Control de las fuentes de potencia.
- Acondicionamiento de la cámara para futuros ensayos
- Sistema de luz y calor para la TVAC

Líneas futuras

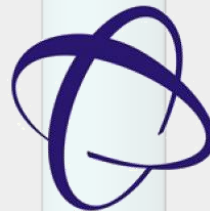
- Estudios térmicos a partir del sistema diseñado.
- Añadir más fuentes de voltaje disponibles en el laboratorio a la GUI
- Diseño de placas para estudios térmicos con otros modelos de resistencias como la ARCOL HS25.



INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

Thermal Design and Simulation of a Circuit Board for Aerospace

TRABAJO FIN DE GRADO 2021-2022



Facultad de
Ciencias

Autor: Miguel Atienza Ariza
Tutor: Andrés María Roldán Aranda

Departamento:
Electrónica y Tecnología de Computadores