



**THERMAL CONDUCTANCE MONITORING SYSTEMS  
DESIGN AND STUDY FOR SENSING ADHESION OF  
VISCIOUS SUBSTANCES TO SURFACES IN LIQUIDS**

**A Degree Thesis**

**Submitted to the Faculty of the**

**Escola Tècnica d'Enginyeria de Telecomunicació de  
Barcelona**

**Universitat Politècnica de Catalunya**

**by**

**Alex Eslava Griñó**

**In partial fulfilment**

**of the requirements for the degree in**

**TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGIES AND  
SERVICES ENGINEERING**

**Advisor: Manuel M. Domínguez Pumar**

**Barcelona, January 2020**

## **Abstract**

In this paper we present the results and conclusions extracted from the design, characterization and study of a heat sensor in the form of a platinum thermometer. With this, we aim to monitor the detection of the deposit of an oil-like substance within a water-filled container. The reason for this research is in means to help develop a planetary probe for life detection.

Three different methods of detection and monitoring of the oil deposit have been developed. Two of these have proven valid for use. With these, the sensor has proven capable of detecting thermal conductivity variations upon an oil deposit of different sizes.

The obtained results, though still a very early stage, are good and open the door for the future lines of development of this project.

## Resum

En aquest treball es presenten els resultats i conclusions extretes del disseny, caracterització i estudi d'un sensor tèrmic en forma de termòmetre de platí. Amb aquest dispositiu es pretén monitoritzar la detecció d'un dipòsit d'una substància similar a l'oli dins d'un contenidor ple d'aigua. La finalitat d'aquesta investigació és col·laborar en el desenvolupament d'una sonda planetària per a la detecció de vida.

S'han desenvolupat tres mètodes diferents per a la detecció i monitorització del dipòsit d'oli. Dos d'aquests han resultat vàlids. Amb ells, el sensor ha demostrat ser capaç de detectar variacions de conductància tèrmica envers dipòsits d'oli de mides diferents.

Els resultats obtinguts, tot i estar en una fase inicial, són bons i obren portes a futures línies de desenvolupament d'aquest projecte.

## **Resumen**

En este trabajo se presentan los resultados y conclusiones extraídas del diseño, caracterización y estudio de un sensor térmico en forma de termómetro de platino. Con este, deseamos monitorizar la detección de un depósito de una sustancia similar al aceite dentro de un contenedor lleno de agua. El motivo de esta investigación es a fin de ayudar en el desarrollo de una sonda planetaria para la detección de vida.

Tres métodos distintos para la detección y la monitorización del depósito de aceite han sido desarrollados. Dos de estos han resultado válidos. Con estos, el sensor ha demostrado ser capaz de detectar variaciones de conductancia térmica ante depósitos de aceite de distintos tamaños.

Los resultados obtenidos, aunque aún en fase inicial, son buenos y abren la puerta a futuras líneas de desarrollo de este proyecto.

## **Agradecimientos**

Primeramente, quiero agradecer a mi tutor, Manuel M. Domínguez Pumar, la oportunidad de realizar este proyecto e invitarme al mundo de la investigación, así como su ayuda y soporte durante todo el desarrollo del proyecto.

Deseo dar las gracias también a Vicente Jiménez Serres, por su disponibilidad para explicarme todo lo que he necesitado y ayudarme a solucionar los problemas que han surgido a lo largo del proyecto.

Agradezco también a Alberto García y Philippe Godignon por abrirme las puertas del Centro Nacional de Microelectrónica IMB-CSIC.

Y finalmente, me gustaría dar las gracias a mi familia y amigos por su ininterrumpido apoyo.

## Historial de revisión

Revisión	Fecha	Propósito
0	06/01/2020	Creación del Documento
1	14/01/2020	Revisión del Documento
3	20/01/2020	Revisión del Documento
4	24/01/2020	Revisión final del Documento

### DOCUMENT DISTRIBUTION LIST

Name	e-mail
Alex Eslava	alex.eslava96@gmail.com
Manuel M. Domínguez Pumar	manuel.dominguez@upc.edu
Vicente Jimenez Serres	vicente.jimenez@upc.edu

Written by:		Reviewed and approved by:	
<b>Date</b>	06/01/2020	<b>Date</b>	24/01/2020
<b>Name</b>	Alex Eslava Griñó	<b>Name</b>	Manuel M. Domínguez Pumar
<b>Position</b>	Project Author	<b>Position</b>	Project Supervisor

## Tabla de contenidos

Abstract .....	1
Resum .....	2
Resumen .....	3
Agradecimientos .....	4
Historial de revisi3n .....	5
Tabla de contenidos .....	6
Lista de Figuras .....	7
Lista de Tablas: .....	8
1. Introducci3n .....	9
2. El Sensor de Temperatura: .....	11
2.1. Dise1o Conceptual .....	11
2.2. Sourcing .....	12
2.3. Nuestras Placas .....	13
3. Montaje y Tecnologa usada en esta tesis .....	15
3.1. Biomarcadores .....	15
3.2. Conductividad T3rmica de RPT .....	15
3.3. Metodologa .....	16
4. Source Measurement Unit .....	17
4.1. M3todo de captura .....	17
4.2. Resultados Obtenidos .....	18
5. Analizador de Impedancia Qu3mico .....	20
5.1. Simulaci3n .....	20
5.2. Resultados Obtenidos .....	21
6. Sistema de Control .....	24
6.1. Sistema Completo .....	24
6.1.1. Circuito El3ctrico .....	24
6.1.2. Software .....	28
6.2. Resultados Obtenidos .....	29
7. Conclusiones y l3neas de futuro desarrollo: .....	30
Bibliograf3a: .....	31
Ap3ndices: .....	32
Glosario .....	37

## **Lista de Figuras**

Figura 1.1: Diagrama de Gantt del Proyecto.....	9
Figura 2.1: Dimensionado placas según requerimientos del CAB.....	11
Figura 2.2: Esquema del método de medición a cuatro puntas.....	11
Figura 2.3: “Footprint” de las PCBs diseñadas en KiCad .....	13
Figura 2.4: Fotografía de las PCBs listas para deposición de parileno .....	14
Figura 4.1: Esquema de sonda conectada al SMU .....	17
Figura 4.2: Irregular variación de temperatura con el tiempo .....	18
Figura 4.3: Mediciones con SMU de Conductancia Térmica.....	19
Figura 5.1: Configuración de HIOKI IM3509 .....	21
Figura 5.2: Dependencias Reactivas de las Sondas halladas con HIOKI IM3509 #1 ....	21
Figura 5.3: Dependencias Reactivas de las Sondas halladas con HIOKI IM3509 #2 ....	22
Figura 5.4: Dependencias Reales de las Sondas halladas con HIOKI IM3509 .....	22
Figura 6.1: Diseño del concepto del método de sensado.....	24
Figura 6.2: Esquema del circuito eléctrico de la etapa de sensado.....	25
Figura 6.3: Esquema del circuito eléctrico de la etapa de amplificación.....	26
Figura 6.4: Circuito eléctrico del regulador de tensión .....	27
Figura 6.5: Esquema del circuito eléctrico completo .....	27
Figura 6.6: Fotografía de la placa terminada sobre microcontrolador .....	28
Figura 6.7: Diagrama de estados del sistema de control .....	28



## **Lista de Tablas:**

Tabla 2.1: Pedido de componentes a rs-online .....	12
Tabla 3.1: Coeficientes de Resistencia para distintos materiales.....	16
Tabla 6.1: Rango de valores en la etapa de amplificación .....	25
Tabla 6.2: Resultados promedio obtenidos mediante sistema de control.....	29
Tabla A.1: Componentes del Circuito Eléctrico.....	32

# 1. Introducción

En este proyecto partimos de investigaciones previas hechas por el CAB Madrid en el ámbito de la detección de biomarcadores en Marte. Nosotros queremos reproducir mediante el uso de depósitos de aceite sobre termistores de platino comercialmente obtenibles. Para ello nos propusimos diseñar un prototipo de sensor, validar su funcionalidad, caracterizarlo y finalmente enviarlo al CAB para su posible uso.

Los requerimientos planteados eran, sobre todo, cuestión de tener los prototipos listos antes de ciertos plazos. En el propio diseño del prototipo solo existían requerimientos de tamaño y concepto de medida.

Durante la etapa de diseño nos basamos en el software *KiCad* de distribución libre. Con este esbozamos el diagrama circuital y la footprint de varias PCBs. Hecho ya el sourcing también podemos añadir las huellas de nuestros componentes para tener en consideración el diseño completo y no solo la placa.

El montaje y la mayoría de las tareas de este proyecto se realizaron en el laboratorio de Test, C5-108, en el edificio C5 del Campus Nord. Soldaduras, experimentos y desarrollo fueron llevados a cabo aquí. El fresado de la placa, eso sí, se hizo en el subsuelo del C4, en el Campus Nord también.

Este proyecto se empezó a finales del mes de mayo del año 2019 (Figura 1.1). La etapa inicial del proyecto de diseño se encapsuló desde el inicio del proyecto hasta finales del mes de junio. Durante esta etapa fue concebido el layout de las PCBs, se hizo un sourcing de componentes a usar y se hizo el ensamblaje de las previas. Por último, dentro de esta etapa también están contenidos los viajes al CNM de Bellaterra. Aquí el equipo de Philippe Godignon hizo las varias deposiciones de parileno tipo-C sobre nuestros prototipos.

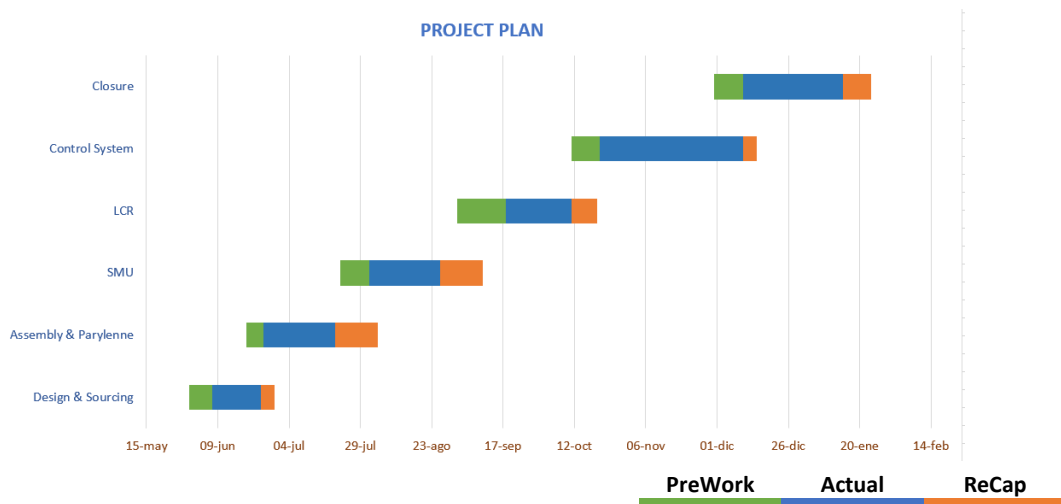


Figura 1.1 Diagrama de Gantt del Proyecto

Una vez listas nuestras PCBs empezamos la etapa de caracterización de estas.

Primeramente, durante el mes de Julio se trabajó con la herramienta SMU. Con esta podemos introducir una corriente constante y a su vez medir la tensión sobre el sensor. Con estos, y con las propiedades de nuestra resistencia de platino, podíamos obtener

medidas de Potencia y Temperatura en todo momento de la captura. Sin embargo, y como explicamos a lo largo de esta tesis, el uso del SMU resultó inviable y por ello debimos proceder al uso de otros instrumentos de medición.

A continuación, se procedió con el uso de un analizador de impedancias químico. Con este ya pudimos obtener la respuesta frecuencial de nuestro sensor. Obteniendo repetibilidad con este método se procedió a la aplicación de nuestro proxy de biomarcador, aceite y pintura. Los resultados que obtuvimos de estos experimentos eran de nuestro agrado, con lo que concluimos que nuestra teoría fue validada.

Con un único método que verificase nuestra teoría no era suficiente; por consiguiente, se elaboró un tercer método de medición de la conductancia térmica. Se creó un sistema de control a lazo cerrado mediante un microcontrolador STM32F030. Con este podemos regular la temperatura en la resistencia y con las mediciones capturadas por la entrada analógica podemos exportar por terminal la conductancia térmica extraída de los datos. Además de esto, se programó un código en C++ para el microcontrolador, de forma que se pudiese regular el número de promediados y las temperaturas objetivo del lazo cerrado.

Finalmente, se llevaron las soluciones propuestas al CAB, pero a causa de la falta de adherencia del biomarcador sobre el parileno depositado no fue posible validar el funcionamiento con el antígeno.

Al final de este documento extraemos conclusiones sobre los distintos métodos empleados para la caracterización del sensor y detección de depósitos de aceite. Por otro lado, consideramos posibles modificaciones en el diseño de la sonda considerando la adherencia del depósito que se desee hacer. Finalmente, también hacemos un balance total del proyecto desde principio a fin en cuanto a resultados obtenidos.

## 2. El Sensor de Temperatura:

La base de todo el proyecto se halla en la sonda con el sensor de temperatura y sus componentes. Es por esto que en este primer capítulo se explica el proceso del cual nació el prototipo de sonda con el que se trabajó durante el transcurso de todo el proyecto.

### 2.1. Diseño Conceptual

La idea básica es tener una sonda capaz de ser sumergida en el agua y hacer una medición diferencial de temperatura del sensor respecto una resistencia térmica de referencia. Aparte de esto, nos regimos bajo ciertas restricciones en la concepción de nuestro sensor:

- Dimensiones máximas de la sonda. Esta ha de ser portable y suficientemente pequeña como para que pueda acoplarse al sistema que se utilizaría en un hipotético lanzamiento. Esta restricción la puso el CAB desde el principio. Esta era que la PCB fuera del tamaño de un portaobjetos de microscopio. Aproximadamente 75mm x 25mm. El grosor es el de las placas que tenemos a nuestra disposición para fresado en los laboratorios del C5-S101.

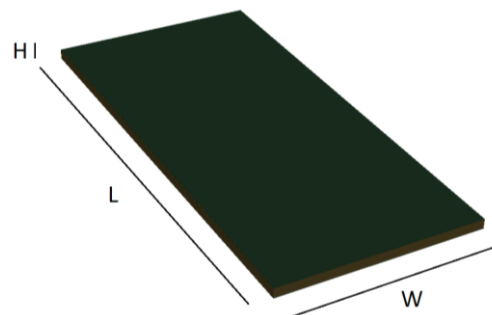


Figura 2.1 Dimensionado placas según requerimientos del CAB

- Capacidad de realizar medidas a 4 hilos. Para obtener mediciones más exactas es necesario que se pueda conectar la resistencia a 4 puntas requeridas para usar voltímetro y amperímetro simultáneamente.

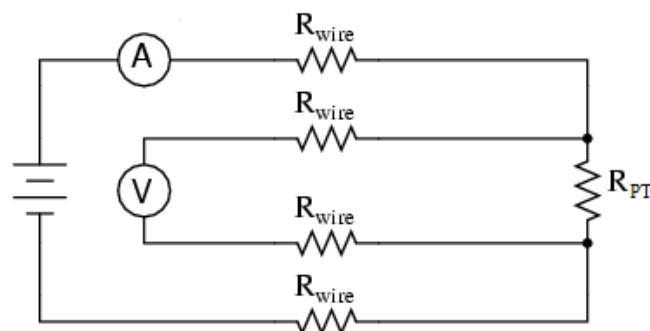


Figura 2.2 Esquema del método de medición a cuatro puntas

- Diseño realista. La PCB que diseñemos no puede tener cortes interiores muy pequeños ya que no seremos capaces de hacer un fresado muy complejo.

Asimismo, esperamos trabajar con componentes comerciales por lo que las dimensiones han de mantenerse dentro de los estándares existentes en los distintos distribuidores.

## 2.2. Sourcing

Para poder proceder con la impresión de las PCBs, necesitamos escoger los componentes que utilizaremos para este proyecto en cuestión. Para ello buscaremos en los proveedores con los que el equipo de MNT ha trabajado previamente, Farnell España y RS.

Para facilitar el proceso de compra, intentamos realizar un único pedido para reducir costes de transporte.

Los detectores de temperatura resistivos escogidos son elementos “thin-film”. Estos están formados por una fina capa de platino depositado sobre un substrato cerámico.

Los componentes en cuestión son los siguientes:

### Conectores

- Conector macho para PCB, Hirose serie HIF3F. Cable a Placa, Angulo de 90° 16 pines 1 filas paso 2.54mm [4]
- Carcasa de conector Hirose HIF3BA-16D-2.54C, Serie HIF3B, paso: 2.54mm, 16 contactos, 2 filas, Recta, Hembra. [5]

### Resistencias

- Sonda PT100 Jumo, PT100, +150°C, diámetro 1.5mm, Soldadura, Clase B Chip [6]
- Sonda PT100 RS PRO, PT100, +500°C, diámetro 2mm, Soldadura, Class A 2 Platinum Chip [7]

El coste del pedido resulta tal que:

Componente	Proveedor	Código	Precio	Cantidad	Subtotal
Conector IDC Placa	RS	896-1035	2,55	6	15,3
Conector IDC Cable	RS	896-0812	3,27	6	19,62
PT100 SMD (x5)	RS	309-4531	28,12	2	56,24
PT100 RS-PRO (2mm x 10mm) Class A	RS	362-9799	7,06	8	56,48
				<b>Total</b>	<b>147,64</b>

*Tabla 2.1 Pedido de componentes a rs-online*

### 2.3. Nuestras Placas

A partir del diseño conceptual y los componentes que hemos buscado, debemos diseñar la footprint de las PCBs que usaremos para nuestros fines. Para ello empleamos el software de distribución libre KiCad [8].

En este se han concebido 3 distintos diseños de PCB.

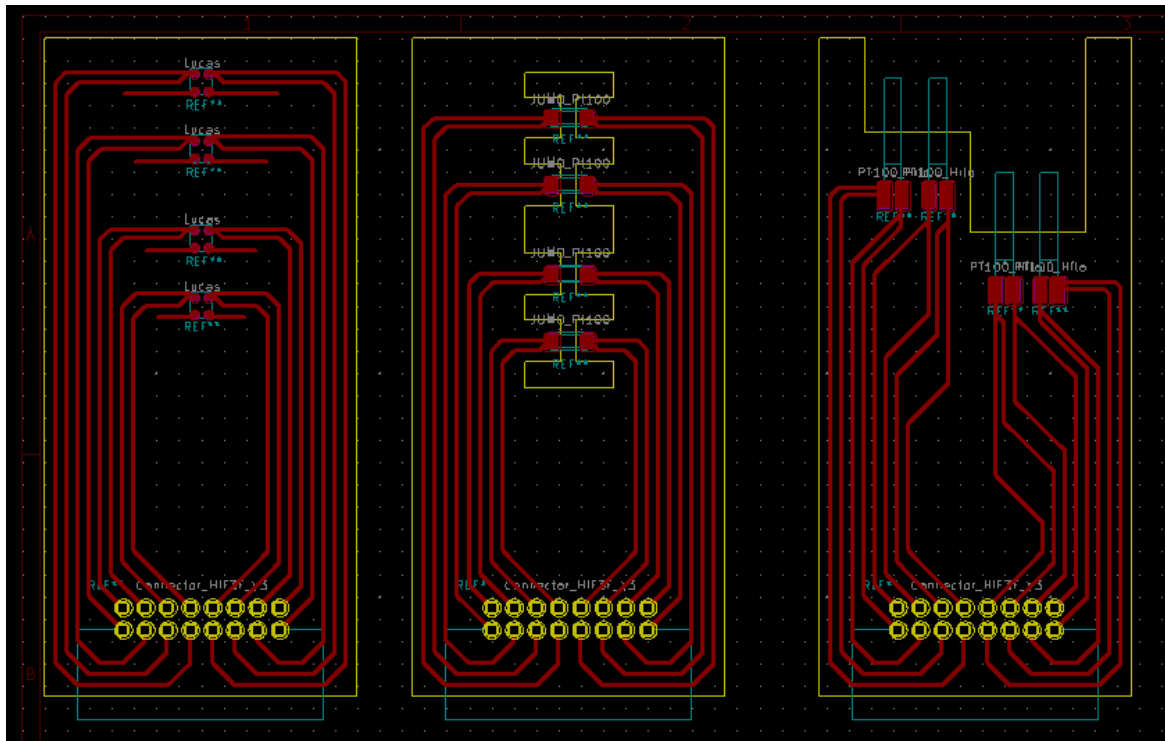


Figura 2.3 “Footprint” de las PCBs diseñadas en KiCad

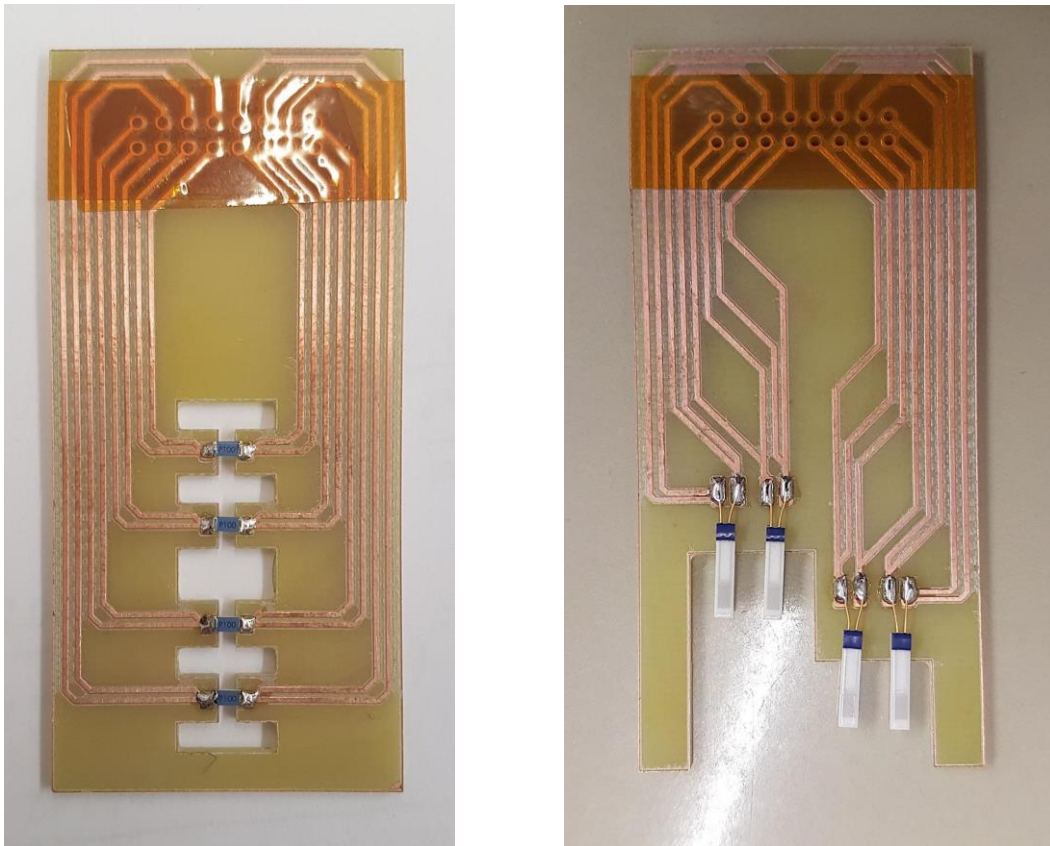
La primera realiza el sensado mediante un prototipo (construido por el equipo de MNT previamente) en el cual unos dados de silicio se apoyan sobre 4 patas de soldadura manteniendo así toda la resistencia al aire. Este diseño no se llegó a materializar.

La segunda placa simétrica utiliza la PT100 SMD. Hay recortes interiores realizados con la finalidad de dejar fluir el agua alrededor de toda la resistencia. Estos fueron diseñados dentro de las capacidades de fresado disponibles. Además de estos, hay una cavidad mayor entre las 2 resistencias de arriba y las de abajo para poder mantener la distancia con las resistencias de referencia. Los pins conectores para cada resistencia están alineados de forma que el uso de conectores sea más fácil e intuitivo.

La tercera placa, con forma asimétrica, es la que utilizará la resistencia PT100 RS-PRO Class A. Estas tendrán la soldadura en sus hilos sobre la placa, y su cabeza quedará sostenida sobre el vacío recortado para ellas. Asimismo, un par de las resistencias PT100 está más elevado que el otro, para mantener una separación con las resistencias de referencia.

De las footprints que usamos sacamos los ficheros *Gerber* para poder hacer su fresado. Una vez hecho, obtenemos nuestras PCBs.

A estas les soldamos las resistencias correspondientes.



*Figura 2.4 Fotografía de las PCBs listas para deposición de parileno*

Una vez terminada la parte eléctrica se les hizo un depósito de parileno. El motivo por el cual requerimos este es a fin de tener una barrera dieléctrica y antihumedad sobre los componentes de las placas [A.1]. De este modo podremos sumergir en agua durante largos periodos de tiempo nuestras sondas sin que pierdan sus propiedades ni fallen por cortocircuitos. Además, refuerza la protección de los sensores ante los posibles entornos hostiles antes los cuales nuestros sensores pueden ser expuestos en futuras expediciones.

El depósito de parileno fue realizado gracias a la contribución de Philippe Godignon y Alberto García García en el IMB-CNM, CSIC. Para ello se transportaron dichas placas al campus de Bellaterra donde tienen su sala blanca. Allí se hizo un depósito uniforme de parileno tipo C [A.1] con un grosor de  $1.97\mu\text{m}$  sobre nuestras placas.

En total se montaron y funcionalizaron 6 PCBs. De cada modelo 3 idénticas. Del total de 6, 4 eran para llevar al CAB limpias y 1 de cada diseño para experimentación y caracterización del mismo.

### **3. Montaje y Tecnología usada en esta tesis**

Hemos basado el fundamento teórico y el motivo de todo este proyecto en investigaciones previas hechas por el CAB [1]. Durante la caracterización de la sonda descubrimos que hay un gran vacío de investigación en cuanto a metodologías de obtención de la conductividad térmica. Hay que añadir que todo esto se ha realizado aplicando conocimientos aprendidos durante la carrera y durante el transcurso de este mismo proyecto.

#### **3.1. Biomarcadores**

Como se ha mencionado en la introducción, investigaciones previas del CAB proponen el uso de antígenos para la detección de formas de vida, o sus restos, en Marte. De forma anecdótica, añadimos que estos se hallan en ecosistemas análogos a algunos hallados en nuestro planeta, un ejemplo sería el Río Tinto, España [1].

A efectos prácticos, para nosotros estos antígenos son simplemente un líquido viscoso que deseamos depositar sobre el termómetro resistivo. Es por esto que en este proyecto hemos sustituido este por equivalentes como lo son aceite o pintura. Para hacer los depósitos de estos siempre los hemos hecho con pincel y muy cuidadosamente. Esto es porque si dañamos la cobertura de parileno es muy posible que cortocircuitemos la placa, y esta nos resulte inservible.

Para futuras líneas de desarrollo de este proyecto, una implementación de este sistema usaría mediciones diferenciales entre un termistor con depósito contra un termistor sin el mismo. Es por esto que el diseño de las placas tiene en consideración un doble sensado espaciado el uno del otro, pero aun dentro del mismo medio.

#### **3.2. Conductividad Térmica de RPT**

A lo largo del proyecto hemos buscado caracterizar la variación de conductividad térmica al aplicar un proxy de la solución del CAB. Esto nos sirve para valorar si somos capaces de sensar la diferencia entre sensor con depósito del fluido viscoso.

Para ello primero debemos referirnos a nuestras propias resistencias (3.2.1) y ver sus dependencias con la conductividad térmica de sus materiales.

$$R_{PT}(T) = 100(1 + \alpha \cdot T) \quad (3.2.1)$$

Donde el alfa es el coeficiente resistivo del material del que están hechos los termómetros resistivos que usamos. En nuestro caso concreto usamos la variante de platino comercial que podemos ver en la tabla 3.1 con alfa de  $0.00385\Omega/\Omega/\alpha$ .



Material	Resistividad ( $\mu\Omega cm$ )	Alfa ( $\Omega/\Omega/\alpha$ )	Margen ( $C^\circ$ )
Níquel (Ni)	6.844	0.00681	-80 a +230
Molibdeno (Mo)	5.7	0.003786	-200 a +200
Cobre (Cu)	1.673	0.0043	-200 a +260
Platino (Pt)	10.6	0.00385	-200 a +850
Platino puro (Pt)	10.64	0.003925	0 a +100

*Tabla 3.1 Coeficientes de Resistencia para distintos materiales*

Con esta resistencia de platino y su dependencia térmica buscamos la relación entre la variación de potencia y la variación de temperatura. A esto lo llamamos conductividad térmica. Esta puede hallarse mediante (3.2):

$$GT = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \quad (3.2.2)$$

Con lo que en este proyecto buscaremos una diferencia de conductividad térmica entre sensores con deposiciones y sensores sin estas. Para ello se han depositado encima de nuestros termómetros resistivos diferentes cantidades de aceite y pintura para comprobar que podemos detectar estas variaciones en la conductancia térmica del sensor.

### 3.3. Metodología

La disposición de un envase de agua suficientemente grande como para que el calor pueda dispersarse a través de este, así evitando sobrecalentamientos al conjunto que nos desvíen la temperatura a la que medimos.

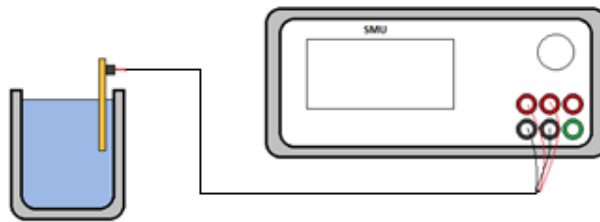
El uso de medidas a 4-hilos. Este método, ilustrado esquemáticamente en la siguiente figura, sobrepone 2 circuitos vinculados. Por uno se hace circular corriente y por el otro se mide la tensión. De este modo podemos eliminar el efecto resistivo de los cables que nos desviará el resultado de la medida.

El objetivo es tener un banco de pruebas con alta repetibilidad donde el número de variables aleatorias en cada experimento sea el mínimo. Al trabajar con un parámetro como es la temperatura debemos evitar efectos de calentamiento tanto en la sonda como en el recipiente donde se halle.

## 4. Source Measurement Unit

En un primer contacto con las placas terminadas usamos la unidad B2902A Precision Source/Measure Unit [9] disponible en el laboratorio de Test C5-108, Campus Nord. Mediante este podemos forzar una corriente constante y medir la tensión simultáneamente, pudiendo así obtener la Potencia y la Temperatura en cada momento de las medidas.

Se dispuso la PCB de Test dentro de un contenedor suficientemente grande de agua y a esta se le hicieron las conexiones a cuatro cables para enlazar la sonda con el SMU. El esquema del montaje de medida sería el siguiente:



*Figura 4.1 Esquema de sonda conectada al SMU*

### 4.1. Método de captura

Intentamos caracterizar la conductancia térmica del sensor, para ello debíamos alternar entre dos niveles de potencia a fin de obtener un  $\Delta P$ . Para conseguirlo en el SMU introducimos una corriente constante y a su vez medimos la tensión, todo con el método 4-wire configurado en el instrumento.

Desafortunadamente en el SMU no existían preconfiguraciones para encadenar dos señales de entrada una tras la otra y que estos pudiesen alcanzar el fin de sus transitorios con tiempo. Por suerte, existía la posibilidad de introducir un input customizado mediante un .csv externo. Es por esto que se generaron unos 20 ficheros para uso como input del SMU. Estos alternaban con saltos desde 1mA a 9mA y tenían 1000 puntos en cada estado. Dentro del instrumento pudimos variar la duración total de las capturas introduciendo el tiempo entre salto de puntos.

Se modificaron los parámetros de tiempo y  $\Delta P$  durante varias semanas hasta que se decidió la inviabilidad de este método de captura.

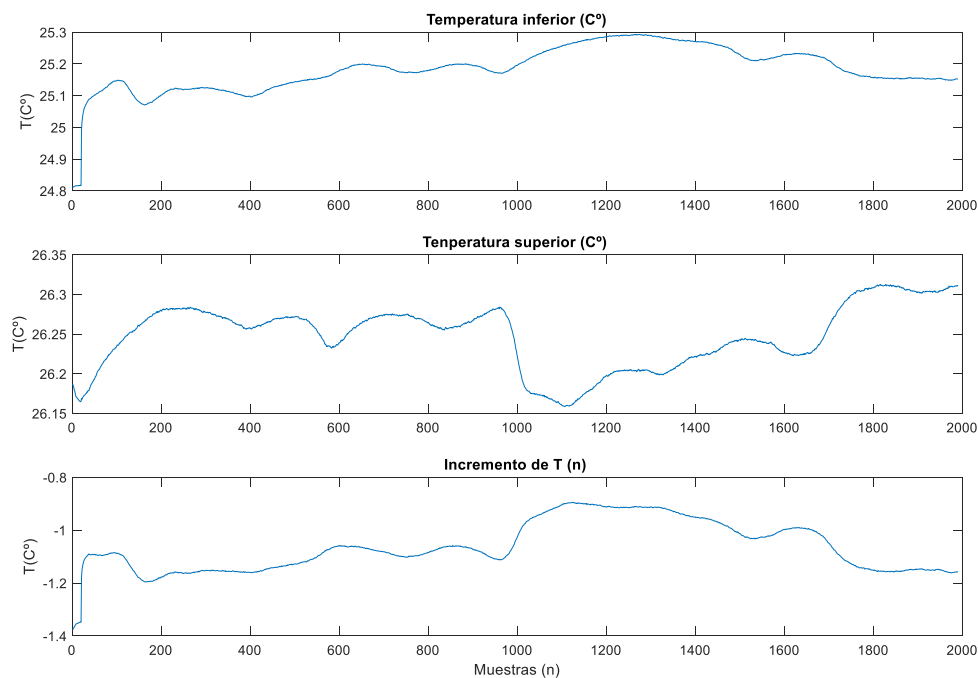
## 4.2. Resultados Obtenidos

A pesar de los esfuerzos hechos para funcionalizar el uso del instrumento SMU para esta labor de caracterización, este fue descartado por varios motivos.

Los resultados eran muy irregulares. Las capturas tienen mucha dependencia con la temperatura ambiente, tanta que los resultados de conductancia térmica no eran constantes sin añadir nada a la resistencia de platino. Esto es debido al hecho que al intentar mantener en reposo la temperatura después del transitorio esta se veía afectada por variaciones de viento, temperatura o pequeños movimientos en el laboratorio de Test. Estas variaciones hacen que el incremento de temperatura entre niveles altos y bajos de potencia sean muy irregulares, cosa que se traducía en valores inestables de conductancia térmica.

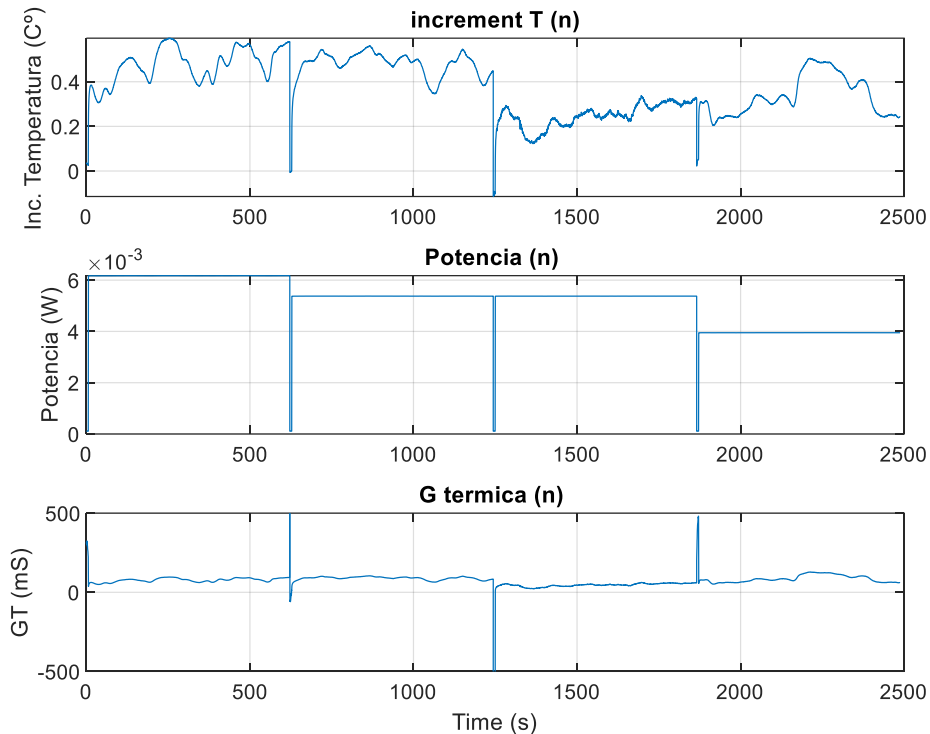
Por otro lado, este método era muy lento y bajo de repetibilidad. En sí, las bases de tiempo del instrumento no eran todo lo que deseábamos. Los saltos de punto a punto eran irregulares a niveles de milisegundos, aunque pequeña, era un problema grande a la hora de hacer capturas de duraciones por encima de los 30 minutos.

En las siguientes figuras podemos observar como las afectaciones ambientales enturbian mucho nuestras lecturas a lo largo del tiempo.



*Figura 4.2 Irregular variación de temperatura con el tiempo*

Aquí, alternativamente, podemos ver la mejor resolución obtenida en los resultados de la caracterización de la conductancia térmica. Como se puede observar el incremento de temperatura de nivel bajo a nivel alto es muy irregular en todo el transcurso de la captura. Esto nos lleva a unos valores irregulares de conductancia térmica.



*Figura 4.3 Mediciones con SMU de Conductancia Térmica*

El input del instrumento es impoluto pero las afectaciones de temperatura invalidan cualquier resultado obtenido. Esto es causado por las múltiples variables aleatorias introducidas en usar temperatura ambiente con afectaciones externas. Este experimento sería repetible en una sala blanca u otro ambiente con mínimas variables ambientales.

## 5. Analizador de Impedancia Químico

El siguiente instrumento que se usó para la caracterización de nuestras placas fue el Analizador de Impedancias Químico HIOKI IM3590 [10]. Este es un instrumento tradicionalmente usado para medir impedancias eléctricas complejas en función de frecuencia.

Dado que nosotros buscamos el estudio de un sensor de temperatura, en la parte real esperamos ver muchas irregularidades tal y como con el SMU. Sin embargo, la parte reactiva de la sonda no tendrá esta dependencia con lo que el planteamiento en sí ya es era más prometedor que con el SMU.

La respuesta frecuencial se describe como un diagrama de Nyquist, y a partir de este podremos extraer conclusiones del circuito equivalente eléctrico.

### 5.1. Simulación

Ya que en esta etapa basábamos mucho nuestro análisis en el resultado que esperábamos nos dispusimos a hacer una simulación rudimentaria del resultado que esperamos.

Esta simulación se hizo mediante las ecuaciones de representación difusiva para estimar el desarrollo de la temperatura a lo largo del experimento. Similar al procedimiento del SMU. Mediante las ecuaciones (5.1) y (5.2) podemos obtener una recreación de la temperatura y el valor de resistencia a partir de los cuales obtenemos la intensidad de salida con un input de voltaje conocido.

$$\Psi'_k = -p_k \cdot \Psi_k + u(t) \quad (5.1)$$

$$T(t) = \sum_{k=0}^N \eta_k \cdot \Psi_k(t) \quad (5.2)$$

Estos análisis se hicieron mediante un script de MATLAB [A.4]. Las simulaciones realizadas fueron útiles de cara a la comprensión de los valores que obtuvimos mas adelante con el analizador de impedancia.

## 5.2. Resultados Obtenidos

Con la siguiente configuración del instrumento HIOKI IM3590 hacemos un barrido frecuencial en escala logarítmica. En esta, y mediante la sobreposición de resultados obtenidos con distintos niveles de deposición de fluido, podemos valorar que existe una dependencia entre esta y la respuesta del sensor.

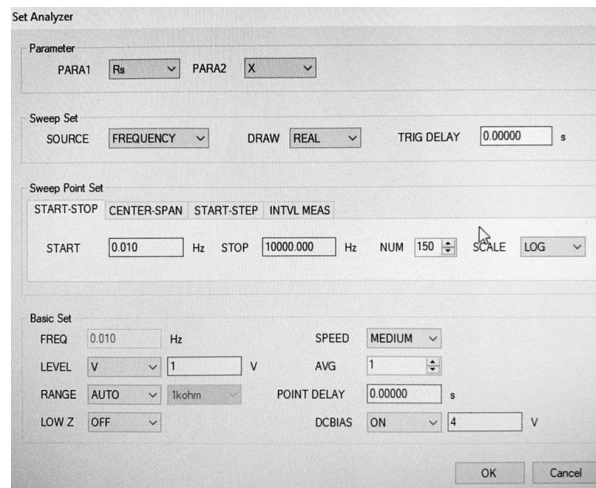
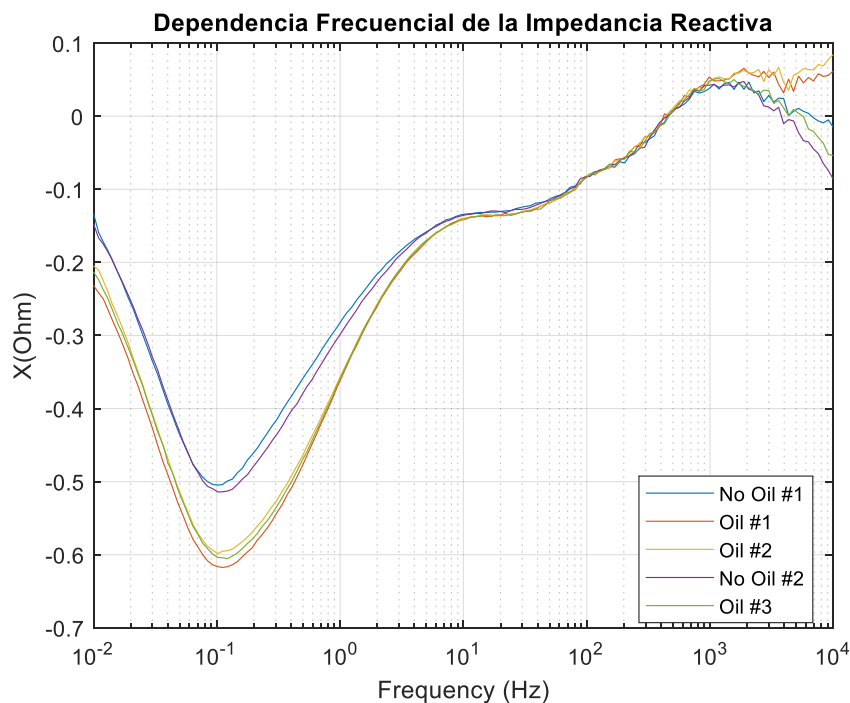
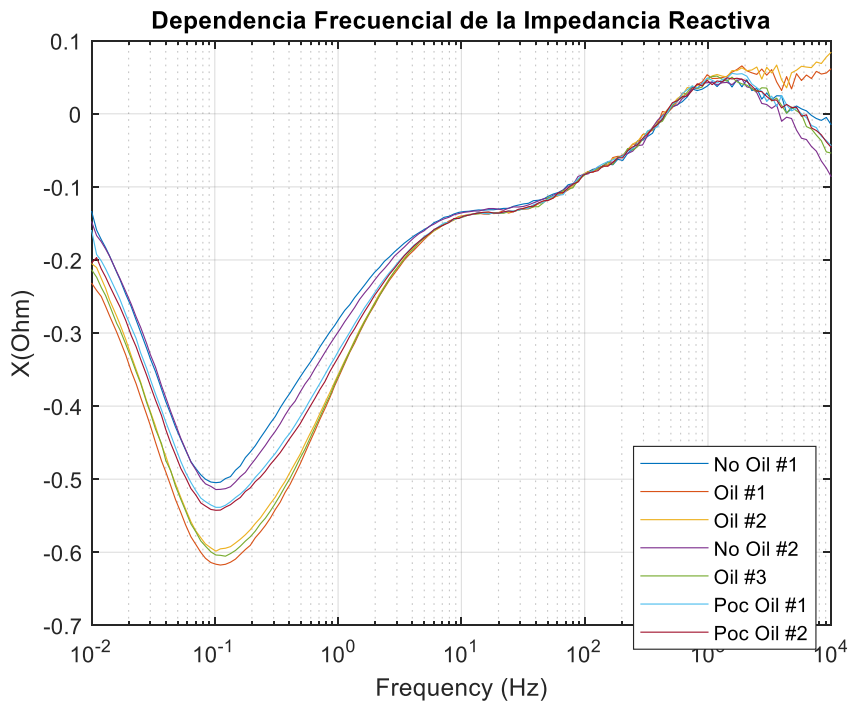


Figura 5.1 Configuración de HIOKI IM3590

Como podemos observar existe una mayor reacción capacitiva ante las deposiciones. La anterior, es proporcional a la cantidad de fluido en el sensor. Esto lo podemos observar en las siguientes figuras donde se presenta la parte reactiva de la impedancia del sensor. Podemos observar también que son perceptibles deposiciones intermedias y que estas siguen una cierta linealidad.



Figuras 5.2 Dependencias Reactivas de las Sondas halladas con HIOKI IM3590 #1



Figuras 5.3 Dependencias Reactivas de las Sondas halladas con HIOKI IM3509 #2

A mayor cantidad de aceite, mayor es la componente capacitiva del circuito. Esto es especialmente prominente a frecuencias bajas.

Mientras tanto, la parte real no presenta esta afectación, y sólo tiene dependencia con la temperatura ambiente durante la captura. En la siguiente figura se presenta la parte real y su incorrelación con el depósito de fluido.

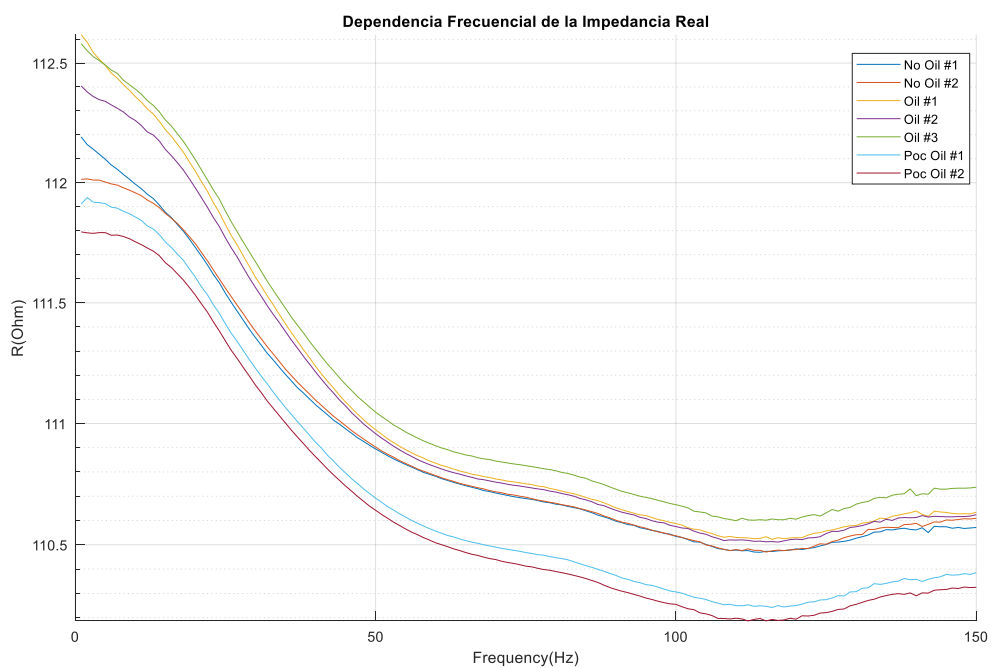


Figura 5.4 Dependencias Reales de las Sondas halladas con HIOKI IM3509

Concluimos entonces, que el uso del analizador de impedancias químico HIOKI, es un método válido para la detección de los depósitos del fluido. Este método muestra mucha repetibilidad. La parte reactiva no presenta dependencias ambientales, cosa que es muy atractiva a la hora de seguir desarrollando la funcionalidad de esta sonda. También hay que tener en cuenta que este método no exige mucho tiempo para cada medición, y es de montaje fácil.



## 6. Sistema de Control

Siendo ya funcional el método de medida del analizador de impedancias era necesario tener un método de validación secundario. Este segundo método consiste en un sistema de control en el que forzamos 2 valores de temperatura con dos valores de potencia distintos. Con esto podemos hallar fácilmente una conductancia térmica.

Al querer llevar esto al CAB, no podemos simplemente usar un osciloscopio, una fuente de tensión y hacer los cálculos a mano. Por este motivo se decidió implementar un sistema de control automatizado mediante un microcontrolador y un circuito eléctrico con el que hacer dicho control.

### 6.1. Sistema Completo

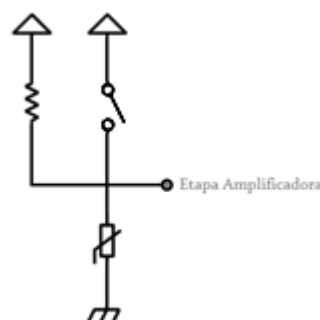
La idea del sistema de control es simple, mediante un par de transistores regulamos entre dos estados de alta tensión y baja tensión en la resistencia de platino. El microcontrolador hace una lectura de la temperatura a la que se encuentra la RPT y el mismo aumenta o disminuye el ciclo de trabajo para subir o bajar la potencia entregada a la RPT.

#### 6.1.1. Circuito Eléctrico

A fin de detectar la temperatura, y ser capaces de regularla, esta sería la etapa de sensado de nuestro circuito eléctrico. Asimismo, nos servimos de una etapa de amplificación para aprovechar el rango completo de la entrada analógica del microcontrolador. Ambas son descritas a continuación

##### Etapa de sensado

A fin de poder subir y bajar la temperatura sobre la resistencia de platino queremos un interruptor entre niveles altos y bajos de potencia. Para ello hemos ingeniado una configuración que alterna entre la serie entre 9V y la RPT con un divisor de tensión con un valor de resistencia que nos permita cubrir todo el rango de temperaturas deseado.



*Figura 6.1 Diseño del concepto del método de sensado*

Para obtener este valor de divisor de tensión, antes necesitamos una estimación del valor de la conductancia térmica. Esto es porque el valor de esta resistencia determinara los

valores máximos y mínimos que podremos alcanzar. Realizamos una estimación de la conductancia térmica de forma rudimentaria para tener una idea aproximada de esta. El rango de temperaturas deseadas entre 20 C° y 40 C°. Con todo esto apuntamos a un rango de temperaturas mayor por seguridad. Con 255 Ω podemos alcanzar 50 C° con lo que lo damos por valido.

Para integrar esto hemos aplicado el uso de transistores pnp y npn a modo de interruptor que se activan mediante niveles altos y bajos de la salida digital de un microcontrolador con salida estándar de 3.3V.

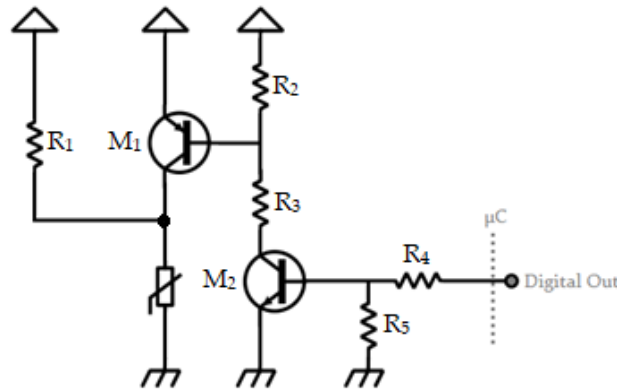


Figura 6.2 Esquema del circuito eléctrico de la etapa de sensado

### Etapa de amplificación

Nuestro microcontrolador esperara hacer lecturas al final del nivel bajo de potencia. Este tiene un rango de valores tal que:

	R <sub>PPT</sub> (Ω)	V <sub>RPT</sub> (V)	T(C°)	P <sub>RPT</sub> (mW)	A5 (V)
Min	109,24	2,7141121	24°	67,4	0
Max	119,25	2,8883143	50°	69,7	5

Tabla 6.1 Rango de valores en la etapa de amplificación

Con lo que tenemos un rango de valores de tensión de 169 mV.

Esto es muy inferior al rango de la entrada de nuestro microcontrolador de lecturas entre 0 y 5V. Es por esto que queremos una etapa amplificadora que nos permita aprovechar al máximo el rango de la entrada analógica. Para ello usaremos un amplificador no-inversor con una ganancia (6.1.1) de 19.5. No solo eso, sino que hay que bajar el nivel del 0 a la salida del AO a la lectura de temperatura mínima.

$$Gain = 1 + \frac{R_7}{R_8 // R_9} \tag{6.1.1}$$

Buscamos que el nodo negativo (6.1.3) del AO tenga el nivel constante de  $V_b$  de 2,71V donde empiezan nuestras lecturas de temperatura.

$$V_{OUT} = Gain \cdot V_+ + (1 - Gain)V_b \quad (6.1.2)$$

$$V_b = \frac{V_{OUT} - Gain \cdot V_+}{1 - Gain} \quad (6.1.3)$$

Añadiendo (6.1.2) al sistema de ecuaciones resolvemos para hallar los valores de los componentes resistivos correspondientes para terminar el desarrollo de la etapa amplificadora de nuestro sistema de control.

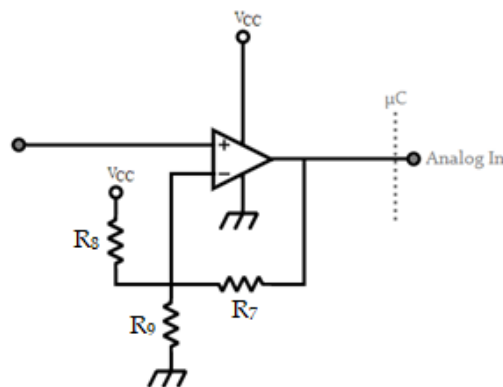


Figura 6.3 Esquema del circuito eléctrico de la etapa de amplificación

### Circuito Completo

A la hora de unir los dos circuitos, consideramos la opción de introducir un amplificador seguidor para asegurarnos que la entrada del AO se corresponda al nodo de RPT. Visto que en consideraciones previas del circuito existía un divisor de tensión entre las dos etapas, probamos a simplemente introducir una resistencia suficientemente alta entre las dos.

Además de esto, teniendo en cuenta que una variable muy importante de nuestro circuito son los 9V que se usan en la etapa de sensado y que una mínima variación nos altera mucho la salida del sistema, introducimos el uso de un regulador L7809CV a fin de poder suministrar al circuito con 9V de forma constante.

No solo eso, a modo de protección de la alimentación del microcontrolador ante el nodo de RPT ponemos un diodo entre esta y el nodo positivo del amplificador.

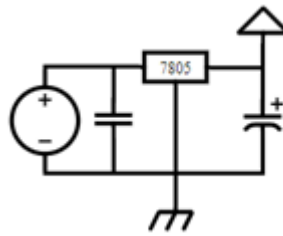


Figura 6.4 Circuito eléctrico del regulador de tensión

Finalmente añadimos condensadores de desacoplo en todas las fuentes de tensión del circuito a fin de regular mejor la CC en el circuito.

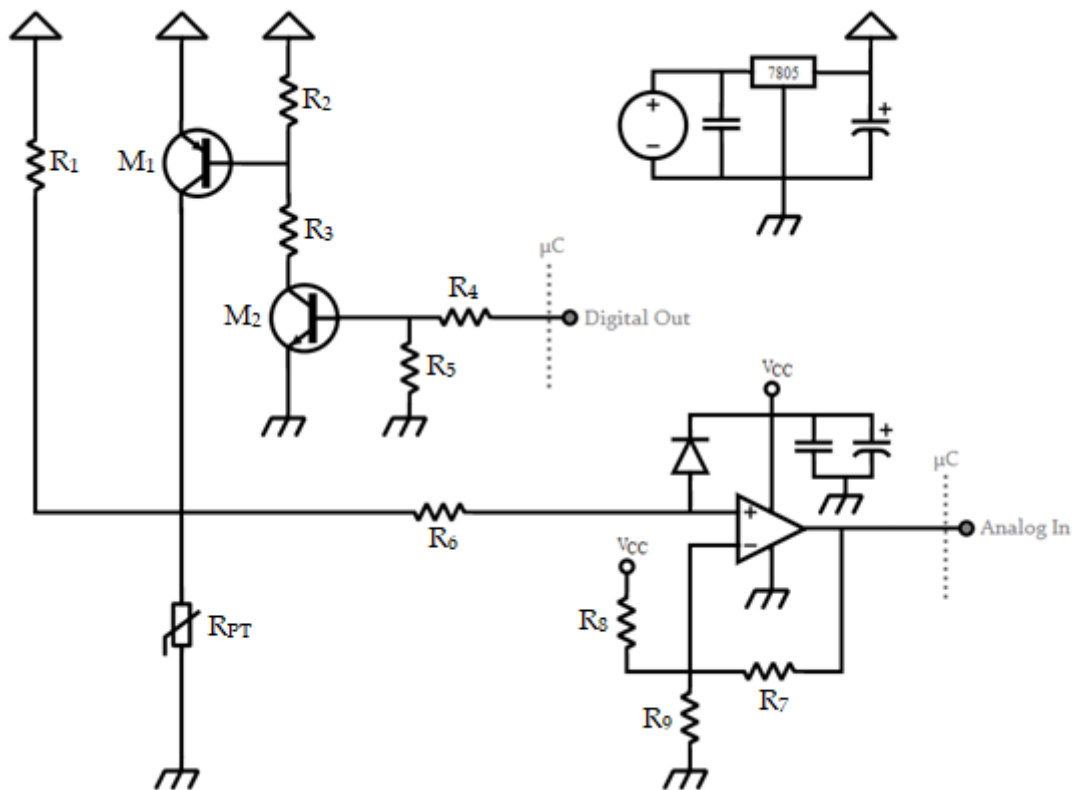


Figura 6.5 Esquema del circuito eléctrico completo

Realizado ya el diseño del circuito, nos disponemos a trasladarlo sobre una placa. Para ello planificamos un diagrama de agujeros en el que planificamos las soldaduras y la disposición de los componentes de forma que encaje encima de nuestro microcontrolador STM32F030.

Comentamos también que a fin de obtener la resistencia del divisor de tensión del sensor debemos usar 2 resistencias de ¼ de vatio en paralelo de valor equivalente al deseado a fin de no dañar las mismas estando estas directamente en serie con el nivel alto de tensión.

El montaje final sobre el microcontrolador es tal que:

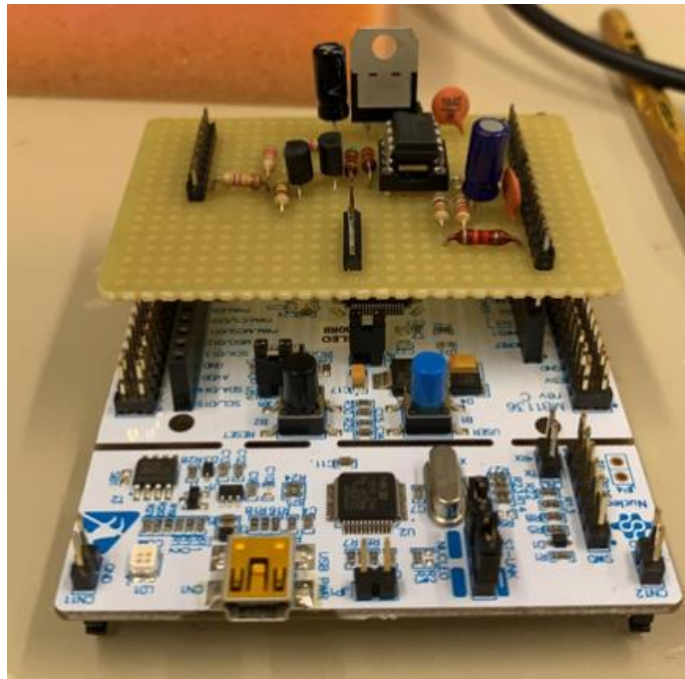


Figura 6.6 Fotografía de la placa terminada sobre microcontrolador

### 6.1.2. Software

El microcontrolador ha de procesar la entrada analógica, decidir qué hacer con la información extraída y actuar mediante la salida digital. Todo esto se resuelve mediante un script recursivo escrito en C++ [A.3].

Dicho script repite el siguiente diagrama de estados

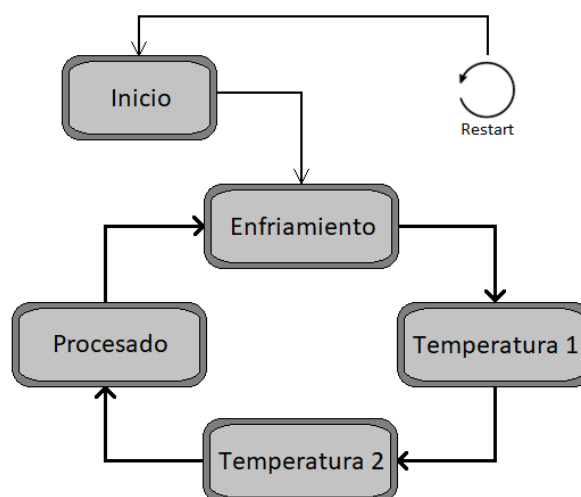


Figura 6.7 Diagrama de estados del sistema de control

Este fue compilado a través de mBed [11] para el módulo STM32F030. Versiones de test de este script fueron realizadas para Arduino UNO. Este último método fue usado de cara a experimentación inicial y fue dejado atrás una vez se quiso proponer un sistema más competitivo y capaz.

## 6.2. Resultados Obtenidos

Finalizada la funcionalización del sistema de control a lazo cerrado, podemos ya utilizar este método para validar la hipótesis con otro método aparte del analizador de impedancias.

Comparamos en la siguiente tabla las lecturas de conductancia térmica con y sin aceite depositado.

$W/C^{\circ}$	Sin Aceite	Aceite
<b>PCB Simétrica</b>	35,47	27,12
<b>PCB Asimétrica</b>	54,13	39,98

*Tabla 6.2 Resultados promedio obtenidos mediante sistema de control*

Valoramos que aparece una variación apreciable y con mucha repetibilidad a lo largo de los días. Cosa que nos lleva a concluir que, tal y como esperábamos la conductancia tiene una dependencia con la sustancia depositada sobre el parileno.

## **7. Conclusiones y líneas de futuro desarrollo:**

Al final del proyecto podemos llegar a concluir que éramos capaces de fácilmente discernir entre las resistencias de platino con deposiciones viscosas de las inalteradas. No solo eso, sino que tenemos 2 métodos con altísima repetibilidad que nos validan estas conclusiones. Siendo además este un campo de en el que hay muy poca investigación previa en los portales de investigación. En este ámbito, el proyecto ha sido todo lo que esperábamos.

Por otro lado, en cuanto al hecho que no se pudo adherir el biomarcador al parileno nos lleva a replantear el diseño del sensor. Primeramente, aunque el uso de termistores de platino de disponibilidad comercial nos fue bien durante las etapas de caracterización, es posible que un futuro prototipo más desarrollado requiera el uso de sensores más sofisticados fuera del alcance comercial. Un ejemplo de esto, sería el posible uso de la PCB ya diseñada que implementa los dados de silicio. Seguidamente, el uso del parileno tipo C; culpable de la falta de adherencia; puede que deba ser reconsiderado por otras opciones que mantengan la protección a humedad, efectos dieléctricos y entornos hostiles y a su vez permitan la adherencia del biomarcador.

En futuros desarrollos sobre este proyecto sería necesario volver a la primera etapa de este e ingeniar un diseño que tenga en consideración las problemáticas que han surgido a finales del proyecto. Estos replanteamientos quizás se escapan un poco del ámbito de la electrónica y/o las telecomunicaciones pues la mayor problemática reside en hallar una alternativa al parileno. Obviamente, en estos futuros desarrollos serían reutilizables los métodos validados de caracterización del sensor, tanto el analizador químico como el sistema de control ya montado y listo para volver a ser usado. Se han dejado a disposición del equipo de MNT todas las placas usadas, software y circuitos diseñados para que se pueda retomar el proyecto en un futuro.

## **Bibliografía:**

- [1] V.Parro, J.A. Rodriguez-Manfredi, C.Briones, C.Compostizo, P.L Herrero, E.Vez, E.Sebastian, M-Moreno-Paz, M.Garcia-Villadangos, P.Fernandez-Calvo, E.Gonzalez-Toril, J.Perez-Mercader "Instrument Development to search for biomarkers on mars: Terrestrial acidophile, iron-powered chemolithoautotrophic communities as model systems" Planetary and Space Science 53 (2005) 729-737
- [2] M.Dominguez, V.Jimenez, J.Ricart, L.Kowalski, J.Torres, S.Navarro, J.Romeral, L.Castañer "A hot film anemometer for the Martian atmosphere" Planetary and Space science 56 (2008) 1169-1179
- [3] M.Dominguez, M.Atiienza, L.Kowalski, S.Novio, S.Gorreta,V.Jimenez,S.Silvestre "Heat Flow Dynamics in Thermal Systems Described by Diffusive Representation" IEEE Transactions on Industrial Electronics Vol 64 N° 1 January 2017
- [4] RS-Online – Male PCB Connector <https://es.rs-online.com/web/p/conectores-macho-para-pcb/8961035/> Ultima entrada 2019
- [5] RS-Online – Female PCB Connector <https://es.rs-online.com/web/p/carcasas-de-conectores-para-pcb/8960821/> Ultima entrada 2019
- [6] RS-Online – PT100 Class B <https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-temperatura-con-resistencia-de-platino/3094531/>. Ultima entrada 2019
- [7] RS-Online – PT100 Class A <https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-temperatura-con-resistencia-de-platino/3629799/?sra=pstk> Ultima entrada 2019
- [8] KiCad <https://kicad-pcb.org/>
- [9] B2902A SMU Datasheet : <https://www.keysight.com/us/en/assets/7018-02794/data-sheets/5990-7009.pdf>
- [10] IM3590 HIOKI Datasheet : [https://www.hioki.com/en/products/detail/?product\\_key=5749](https://www.hioki.com/en/products/detail/?product_key=5749)
- [11] Mbed : <https://ide.mbed.com/compiler/>



## Apéndices:

### A.1.- Parileno y tipos de parileno

Con parileno (poly-para-xylylene) se forman films protectivos de plásticos para aplicarse a superficies sustrato. Sus depósitos se realizan mediante procesos de CVD en el vacío.

Este material es muy adaptable cubriendo sustratos y protegiéndolos de ácidos, soluciones causticas, polvo, vapores de agua y muchos otros contaminantes. Aparte de estas, existen sus propiedades de barrera dieléctrica.

Existen distintos tipos de parileno: N, C, D HT, AF-4 y F. Cada uno tiene sus especificaciones y sus propiedades. En nuestro caso hemos usado el parileno tipo C.

El parileno tipo C es la variedad más comúnmente utilizada. Esto hace que sea el menos costoso de usar económicamente y a la vez lo hace más accesible para nosotros. Además, en nuestro proyecto nos aporta la mejor protección ante humedad ante los otros tipos de parileno, por lo que para nuestra aplicación debería ser el ideal.

### A.2.- Componentes del Circuito Eléctrico

R1	253 $\Omega$	R6	10 k $\Omega$	M1	PNP
R2	827 $\Omega$	R7	100 k $\Omega$	M2	NPN
R3	8,1 k $\Omega$	R8	4,3+2,2 k $\Omega$	Ce	10 $\mu$ F
R4	4,7 k $\Omega$	R9	39 k $\Omega$	C	100 nF
R5	10 k $\Omega$	Vcc	3,3 V	Regulador	9V

*Tabla A.1 Componentes del Circuito Eléctrico*

### A.3.- Script del Microcontrolador

```
#include "mbed.h"

AnalogIn analog_value(A0);
DigitalOut dout (D7);
Serial pc(USBTX, USBRX);

int main()
{
    pc.baud(9600);

    float
    promigV1,promigV2,fconsigna1,fconsigna2,R1,R2,HIGH,LOW,Vlow,POT1,POT2,GT
    ,DC1,DC2;
    unsigned
    val,cool,k,m,consigna1,consigna2,upromigV1,upromigV2,Temperatura1,Temper
    atura2;
```

```

unsigned sumV1,sumV2;
unsigned Tmin,Mmax,T,M,inc,promigDC1,promigDC2,sumDC1,sumDC2,LIM;
unsigned iterations=1000;
Temperatural=30;
Temperatura2=35;
Tmin=10;
Mmax=990;
inc=1;
LIM=Tmin+Mmax;
val=65535;
pc.printf("Starting now... \r\n");
pc.printf("--SETUP-- \r\n");
pc.printf("Set temperatures: T1-%u T2-%u \r\n",Temperatural,
Temperatura2);
pc.printf("Averaging number: %u \r\n", iterations);
pc.printf("----- \r\n");
while(1) {
    T=Tmin;
    M=Mmax;
    k=0;
    m=0;
    val=65535;
    sumV1=0;
    sumV2=0;
    sumDC1=0;
    sumDC2=0;
    // A partir de valor Temperatura obtenemos la consigna que toca
    en rango 0 - 2^16
    fconsigna1=(Temperatural-25.545)*2500;
    fconsigna2=(Temperatura2-25.545)*2500;
    consigna1=(unsigned short)fconsigna1;
    consigna2=(unsigned short)fconsigna2;
    cool=consigna1-1000;

    while(val>cool) { // Cooling down stage
        dout.write(1);
        wait_us(T);
        dout.write(0);
        wait_us(M);
        val = analog_value.read_ul6();
    }

    while(val<consigna1) { // Heating up #1 stage
        dout.write(1);
        wait_us(T);
        dout.write(0);
        wait_us(M);
        val = analog_value.read_ul6();
        if(T<Mmax) {
            T=T+inc;
            M=M-inc;
        } else {
            pc.printf("[ X Can't reach given temperature! Try
turning on the power supply and pressing restart button. If the problem
persists try changing the target temperatures! X ]");
            wait(60);
        }
    }
    while(k<iterations) { // Measuring #1 stage
        dout.write(1);

```

```

wait_us(T);
dout.write(0);
wait_us(M);
val = analog_value.read_ul6();
if (val >= consignal) {
    if(T>Tmin) {
        T=T-inc;
        M=M+inc;
    } else { }
} else if ( val < consignal) {
    if(T<Mmax) {
        T=T+inc;
        M=M-inc;
    } else { }
}
sumV1=sumV1+(unsigned)val;
sumDC1=sumDC1+T;
k=k+1;
}
while(val<consigna2) { // Heating up #2 stage
dout.write(1);
wait_us(T);
dout.write(0);
wait_us(M);
val = analog_value.read_ul6();
if(T<Mmax) {
    T=T+inc;
    M=M-inc;
} else {
    pc.printf("[ Y Can't reach given temperature! Try
turning on the power supply and pressing restart button. If the problem
persists try changing the target temperatures! Y ]");
    wait(60);
}
}
while(m<iterations) { // Measuring #2 stage
dout.write(1);
wait_us(T);
dout.write(0);
wait_us(M);
val = analog_value.read_ul6();
if (val >= consigna2) {
    if(T>Tmin) {
        T=T-inc;
        M=M+inc;
    } else { }
} else if ( val < consigna2) {
    if(T<Mmax) {
        T=T+inc;
        M=M-inc;
    } else { }
}
sumV2=sumV2+(unsigned)val;
sumDC2=sumDC2+T;
m=m+1;
}

//Post-processing stage

promigDC1=sumDC1/iterations;

```

```

promigDC2=sumDC2/iterations;
upromigV1=sumV1/iterations;
upromigV2=sumV2/iterations;
promigV1 = (float)upromigV1;
promigV2 = (float)upromigV2;

DC1 = float(promigDC1) / float(LIM);
DC2 = float(promigDC2) / float(LIM);

R1=(promigV1+671841)/6123;
R2=(promigV2+671841)/6123;
HIGH=81/R1;
Vlow=(R1/(R1+253))*9;
LOW=(Vlow*Vlow)/R1;
POT1=DC1*HIGH+(1-DC1)*LOW;

HIGH=81/R2;
Vlow=(R2/(R2+253))*9;
LOW=(Vlow*Vlow)/R2;
POT2=DC2*HIGH+(1-DC2)*LOW;
GT=(POT2-POT1)/(Temperatura2-Temperatura1);

pc.printf("[ GT: %f ] \r\n", GT);

}

}

```

#### A.4.- Script Simulación Representación Difusiva

```

%% Cte
a=3.850e-3;
Vdc=4;
Vac=0.5;
f=5;
w=2*pi*f;
DUR=2000;
Ts=0.5;
LONG=DUR/Ts;
Ts=DUR/LONG;
eta=3.2;
fk=2e-3;
zeta=2*pi*fk;
%Arrays
t=linspace(0,DUR, LONG);
% Start
V=Vdc+Vac*cos(w*t);
Pn=V(1)^2/100;
psi(1)=(Pn/zeta)*(1-exp(-zeta*Ts));
R=zeros(LONG,1);
R(1)=100;

for n = 1:LONG
    Pn=(V(n)^2)/R(n);
    psi(n+1)=psi(n)*exp(-zeta*Ts)+(Pn/zeta)*(1-exp(-zeta*Ts));
    T(n)=sum(eta*psi(n+1));
    R(n+1)=100*(1+a*T(n));
end

```



```
i=transpose(V(1:LONG)) ./ (R(1:LONG));  
I=fft(i);  
plot(transpose(V) ./i);
```

## Glosario

**RPT:** Resistencia de platino

**PCB:** 'Printed Circuit Board' placa de circuito impreso, es una superficie construida por pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora.

**SMD:** 'Surface-mount Device' Componente electrónico el cual es montado directamente sobre la superficie de la PCB.

**SMU:** 'Source Measure Unit' instrumento de medida que como el nombre indica es capaz de ser fuente e instrumento de medida simultáneamente.

**AO:** Amplificador operacional

**MNT:** Grupo de investigación en Micro y Nanotecnologías del departamento de electrónica de la etsetb

**CAB:** Centro de Astrobiología. Instalaciones del instituto nacional de técnica aeroespacial en Torrejón de Ardoz, Madrid.

**CVD:** 'Chemical Vapor Deposition' Proceso de micro fabricación donde el sustrato se expone a precursores que se descomponen en la superficie del mismo a fin de producir un depósito.

**CNM:** Centro Nacional de Microelectrónica. Campus Universidad Autónoma de Barcelona.

**LCR:** Instrumento capaz de medir inductancias (L), capacitancia (C) y resistencia (R).