

7. Conclusiones y trabajos futuros

En el presente capítulo se muestran las principales conclusiones obtenidas en el desarrollo del proyecto, haciendo referencia a los objetivos que se han cumplido.

Como se nombró al comienzo de este proyecto, los principales objetivos marcados fueron la fabricación de un sensor de flujo que fuese capaz de medir caudales para diferentes fluidos, así como fabricar un sensor de temperatura que fuese fiable. Para ello se analizaron los distintos materiales disponibles en el laboratorio para fabricar tanto los sensores de temperatura como la estructura del sensor de flujo, seleccionando aquella que mejor se adaptaba a los requisitos del sensor. Por último, mediante la electrónica de tratamiento de señal y la programación de una interfaz mediante LabView se pudieran analizar los datos del sensor de flujo.

7.1 Sensor de temperatura

Una vez mostrados y analizados todos los datos experimentales se muestran las principales conclusiones del sensor de temperatura:

- Se ha fabricado un sensor de temperatura con una gran respuesta en un rango de temperatura de 25 a 85°C. Mediante el análisis de los datos se ha concluido que este comportamiento es muy estable y repetitivo, siendo muy válido para su implementación en aplicaciones PCB-MEMS y cumpliéndose de este modo el objetivo 2 “Sensor de temperatura”.
- Se estudió la posibilidad de fabricar el sensor de temperatura con Níquel, pero debido a las dificultades que presentaba su deposición mediante Sputtering y la rápida oxidación que producía, se desestimó.
- Para utilizar oro como material para los sensores se caracterizaron sus propiedades de resistividad y coeficiente de temperatura en función del espesor depositado, pudiéndose optimizar y maximizar el comportamiento del sensor de temperatura sin desperdiciar material, cumpliéndose el objetivo 3 “Selección de materiales”.
- Se diseñó el serpentín del sensor de temperatura con una geometría que maximizara el valor de resistencia nominal y estuviera dentro de las tolerancias de fabricación de las máquinas del laboratorio
- Se diseñó y ajustó un circuito electrónico de adaptación de señal basado en una topología activa de puente de Wheastone, con la que se consiguió una variación en la tensión de salida de 350 mV para un rango de temperaturas de 25-85°C.
- Se compararon los resultados experimentales con los obtenidos mediante simulación y se observó un comportamiento muy similar hasta temperaturas próximas a 85°C, donde el sensor de temperatura se saturaba y disminuía su valor resistivo.
- Para poder analizar la tensión de salida del sensor se realizó un programa basado en LabView y mediante una tarjeta de adquisición se visualizaron los datos en la pantalla del ordenador. Además, este programa incluyó todos los comandos necesarios para poder almacenar todos los datos experimentales en hojas de cálculo que se generaban automáticamente al poner en funcionamiento dicho programa, cumpliéndose el objetivo 3. “Tratamiento de señal”.
- En los datos analizados se observó una respuesta muy rápida por parte del sensor de temperatura.

Por todo ello, se cumplieron los objetivos marcados al principio del proyecto, obteniendo un sensor de temperatura con un comportamiento muy estable, rápido, lineal y repetitivo utilizando el material poco común para la fabricación de RTDs.

7.2 Sensor de flujo

Para el sensor de flujo se han sacado bastantes conclusiones, tanto de comportamiento como de fabricación.

- Se ha presentado el estado del arte de los sensores de flujo, estudiando las novedades que ofrecen distintos autores y utilizándolas como base para seguir investigando. Como novedad, en todos los artículos analizados se fabricaban sensores de temperatura con geometrías de pistas rectas, sin embargo, debido a las limitaciones en la fabricación, en el presente proyecto se han realizado mediante serpentes, comprobando un comportamiento muy aceptable.
- Se fabricó el microsensado mediante la resina epoxy SU-8 debido a sus excelentes propiedades tanto térmicas como mecánicas, confirmando su excelente adaptación a las necesidades que se le exigían al sensor de flujo.
- Como sustrato se utilizaron placas de PCB, FR4, un sustrato poco común en la fabricación de microsistemas pero con unas buenas propiedades para la deposición. Dicha elección se debe a la gran disposición de este material, a su precio y a la posibilidad de integrar en un mismo dispositivo tanto la fluidica como la electrónica.
- Se ha diseñado un proceso de fabricación acorde a las condiciones del laboratorio, del tipo de SU-8 y de las máquinas empleadas. Es importante destacar que el proceso de fabricación no está estandarizado, y que por tanto, cada laboratorio debe optimizar los procesos hasta llegar al que mejor proporcione los resultados.
- Antes de definir las propiedades del canal se estudiaron distintos dispositivos microfluidicos fabricados en el laboratorio para poder ajustar la profundidad del canal a valores que favorecieran la circulación de gases y de fluidos. Por ello, se estimó una profundidad de canal de 300 μm , comprobándose como se obtuvieron unos resultados muy buenos.
- Para estudiar el comportamiento del sensor de flujo se realizó un nuevo programa en LabView. Incluyó la configuración de la tarjeta de adquisición para poder muestrear los dos sensores de temperatura a la vez y mostrarlos por pantalla. En este caso también se añadieron los comandos necesarios para generar Hojas de Cálculo con todos los datos mostrados por pantalla.
- Con respecto a las conclusiones obtenidas mediante el análisis de la caracterización del flujo de aire, se consiguió una diferencia de tensión muy lineal de 29 mV para caudales comprendidos entre 0-29 mL/min.
- En el análisis de agua destilada como fluido de prueba, se obtuvo una diferencia de tensión de 140 mV en un rango de 0-100 $\mu\text{L}/\text{min}$, siendo esta respuesta lineal. Para caudales comprendidos entre 100-2000 $\mu\text{L}/\text{min}$ se obtuvo una respuesta no lineal.
- También se caracterizó aceite de girasol, siendo los resultados similares a los obtenidos con agua. Se consiguió una diferencia de tensión lineal de 130 mV en un rango de 0-100 $\mu\text{L}/\text{min}$. Para caudales comprendidos entre 100-2000 $\mu\text{L}/\text{min}$ se obtuvo de nuevo una respuesta no lineal.

7.3 Data Sheet del sensor de flujo

Se muestra a continuación un data sheet con las principales características de funcionamiento del prototipo de sensor de flujo fabricado y las condiciones en las que se realizaron los ensayos.

En la Figura 7.1 se muestran las imágenes del prototipo.

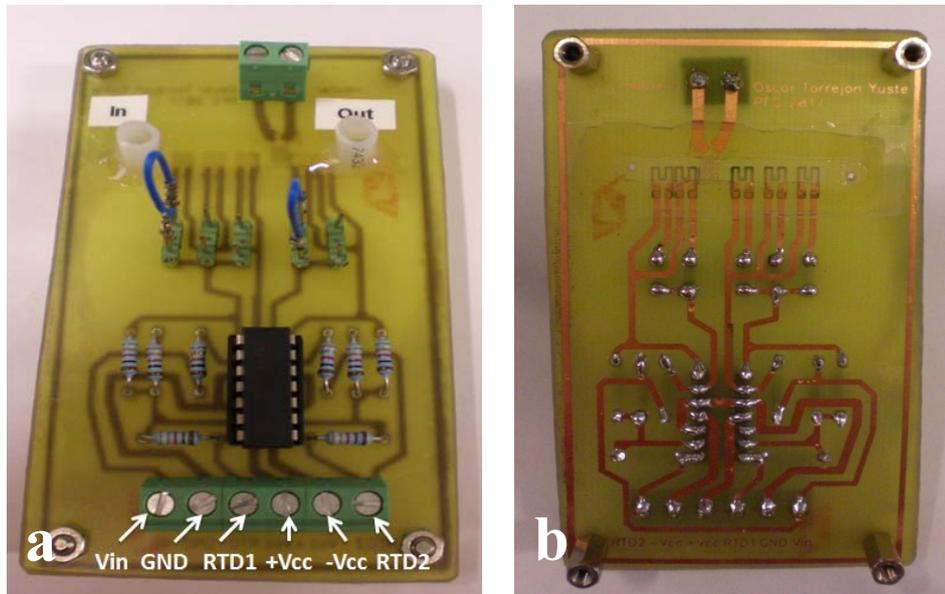


Figura 7.1 Prototipo de sensor de flujo

En la Figura 7.1a se observa una vista frontal del sensor de flujo donde además se ha señalado a que conexión corresponde cada conector. La señal V_{in} es la tensión a la que se alimenta el puente de Wheastone, en nuestro caso 2 V. GND es el nivel de tensión de referencia de 0V. RTD1 y RTD2 son las señales de salida de los sensores aguas-arriba y aguas-abajo, respectivamente. Estas señales irán a la tarjeta de adquisición de datos USB-6009. Las señales +Vcc y -Vcc son con las que se alimentan los amplificadores operacionales, en nuestro caso se conectaron a ± 20 V. El conducto In es por donde entrará el fluido en el canal y Out por donde saldrá.

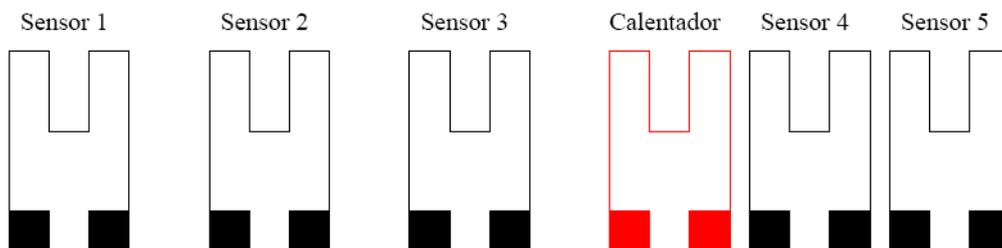
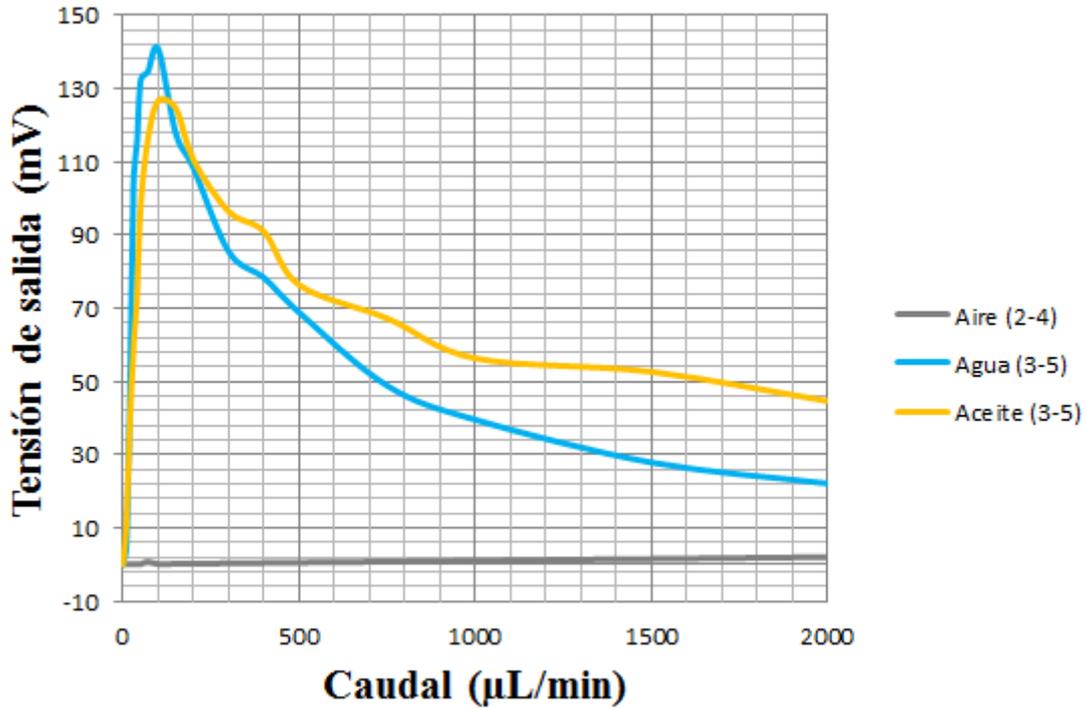


Figura 7.2. Nomenclatura de los sensores de temperatura en el sensor de flujo

A continuación se detallan las características obtenidas por el sensor de flujo para los fluidos de aire, agua y aceite, siendo la nomenclatura de los sensores la mostrada en la Figura 7.2.

- Aire.
Para caracterizar el caudal de aire se configuró el calentador de cobre con una corriente de 1,2 A, obteniéndose una temperatura de 55°C. Tras analizar los resultados obtenidos se concluyó que la configuración más óptima la 2-4, con la cual se obtuvo una diferencia de tensión de 29 mV en un rango de 0-29 mL/min.
- Agua
En el estudio del agua el calentador de cobre se configuró con una corriente de 1,1 A, correspondiéndose a una temperatura de 45°C. Se comprobó una respuesta donde se observaban dos regiones bien diferenciadas. En la primera se obtuvo una respuesta lineal para caudales de 0-100 $\mu\text{L}/\text{min}$ con una diferencia de tensión de 140 mV para la configuración 3-4. La segunda región se correspondía con una respuesta no lineal para caudales de 100-2000 $\mu\text{L}/\text{min}$, siendo la configuración 1-4 la que ofrecía una mayor diferencia de tensión, 180 mV.
- Aceite
En el ensayo con aceite, el calentador se utilizó con una corriente de 1A, correspondiente a 40°C. Se observó una respuesta similar a la del agua, con dos regiones de funcionamiento. La primera correspondía a caudales de 0-100 $\mu\text{L}/\text{min}$ con una diferencia de tensión de 130 mV para la configuración 3-4. En la segunda región se obtuvo una respuesta no lineal para caudales entre 100-2000 $\mu\text{L}/\text{min}$, siendo la configuración 1-4 de nuevo la que ofrecía una mayor diferencia de tensión, 170 mV.

Con estos resultados se puede concluir que el sensor de flujo es capaz de medir de un modo lineal caudales comprendidos entre 0-100 $\mu\text{L}/\text{min}$ para los fluidos de aire y agua, y de un modo no lineal para caudales de 100-2000 $\mu\text{L}/\text{min}$. Para aire se obtiene también una respuesta lineal para caudales comprendidos entre 0-29 mL/min. Esto puede ser observado en las Figuras 7.3 y 7.4, donde se muestran las gráficas para que el usuario pueda conocer los caudales comparando la tensión que se obtiene del sensor de flujo



7.3. Respuesta del sensor de flujo ante distintos fluidos

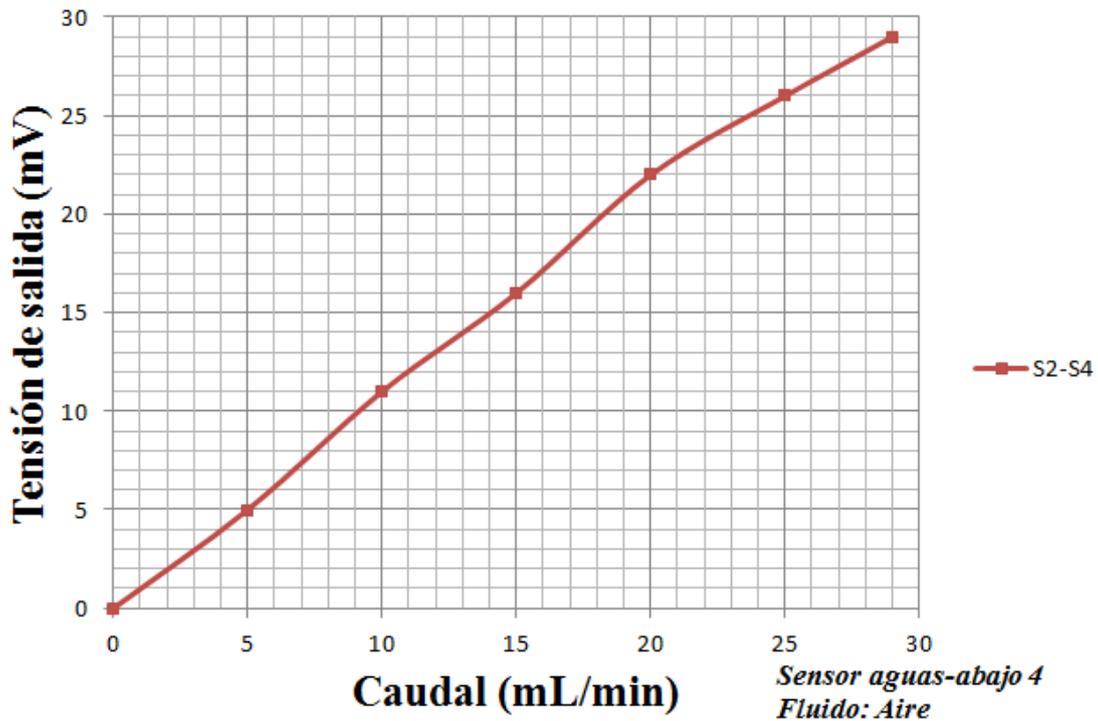


Figura 7.4. Respuesta del sensor de flujo para aire

7.4 Trabajos futuros

De este proyecto han surgido diversos trabajos futuros. Entre ellos cabe destacar:

- Fabricar los sensores de temperatura utilizando níquel, reduciendo de este modo el tamaño del sensor debido a su mayor resistividad con respecto al oro y siendo más sensibles por su elevado coeficiente de temperatura α . Con esta mejora también se aumentaría la capacidad de respuesta del sensor de flujo.
- Simular el comportamiento del sensor de flujo mediante un programa de elementos finitos y compararlo con los resultados obtenidos.
- Reducir el tamaño de los serpentines de oro para poder analizar mejor el efecto en el comportamiento del sensor de flujo de las distancias de los sensores de temperatura respecto al calentador.
- Mejorar el calentador de cobre utilizando materiales más resistivos que consuman menos energía.
- Analizar el comportamiento del sensor de flujo frente a variaciones en la sección transversal del canal.
- Incluir un display con el que se presente el caudal, gobernado por un controlador configurable al tipo de fluido.