

Capítulo 8

Conclusiones

Para finalizar este trabajo, explicaremos las conclusiones obtenidas, así como los objetivos alcanzados y las futuras líneas de investigación a desarrollar que han surgido tras la realización de este proyecto.

En primer lugar, se realizó un amplio estudio acerca de las distintas tecnologías y dispositivos desarrollados en el campo de la microfluídica, explicando algunos conceptos teóricos básicos como paso previo a la investigación del estado del arte de las microválvulas en concreto. En este punto, se ofreció una visión general del área, citando varias propuestas interesantes que algunos autores exponen para tratar de abordar las limitaciones actuales. Con esto en mente, se describieron las principales características y ventajas que aportan las tecnologías que emplean PCBMEMS y SU-8, como es el caso de nuestro dispositivo. A continuación, se hizo un repaso de algunas plataformas microfluídicas Lab-on-Chip con microválvulas integradas, dando una idea general de la utilidad que tendría nuestro dispositivo en una futura integración para formar un sistema más complejo orientado a aplicaciones biomédicas.

Una vez abordado esto, el siguiente paso consistió en diseñar nuestra propia microválvula para que cumpliera los requerimientos necesarios de fabricación, funcionalidad, consumo y otras prestaciones en general. Para ello se realizaron

previamente varios estudios teóricos enfocados a diferentes aspectos del funcionamiento del dispositivo, determinando otras características como dimensiones, geometrías, materiales empleados y limitaciones asociadas a la tecnología disponible. En base a esto se caracterizó un proceso de fabricación, utilizando las tecnologías previamente descritas y enfocado a minimizar la dificultad y el coste en la implementación de un dispositivo completo, sin perder de vista la posibilidad de integración en una plataforma microfluídica.

Tras este paso, se ha seguido el flujo de procesos descrito para fabricar la microválvula y se ha comprobado que efectivamente, cumplía con los objetivos propuestos. En este punto, se comentaron diferentes soluciones y alternativas para abordar problemas concretos de fabricación, y una vez resueltos se procedió a caracterizar el dispositivo en el laboratorio.

Tras obtener varias medidas con tres diseños sometidos a diferentes condiciones de presión e intensidad, se han caracterizado tres zonas de funcionamiento para el dispositivo, en función de los diferentes fenómenos físicos involucrados en la activación. Se ha estudiado hasta qué punto el comportamiento observado se adapta al modelo matemático planteado en un principio, y se han aportando a su vez nuevas soluciones teóricas que explican el funcionamiento de la microválvula y encajan con los resultados observados en el laboratorio. Una vez hecho esto, se ha determinado la zona de funcionamiento óptima, para así poder conocer las prestaciones reales de nuestro sistema y comprobar que cumplía con los requerimientos planteados previamente en los objetivos propuestos.

Esta zona óptima de operación ha demostrado que un pequeño pulso de intensidad es capaz de provocar una activación mecánica, determinada por una presión fija en un depósito integrado en el dispositivo. Este resultado ha hecho que la microválvula propuesta resulte un sistema especialmente versátil al trabajar como microinyector.

En resumen, el dispositivo descrito en este trabajo presenta un proceso de fabricación rápido y económico, que unido a un mecanismo de activación sencillo y de bajo consumo, lo convierten en una propuesta interesante para infinidad de aplicaciones

relacionadas con la bioquímica y el área de la salud. Además, se han resuelto algunos problemas típicamente asociados a este tipo de sistemas, haciendo inmediata su futura integración en una plataforma microfluídica Lab-on-Chip.

A lo largo de este trabajo se realizaron dos aportaciones a congresos [52], [53], quedando en proceso de revisión la publicación de un artículo en una revista relacionada con la temática descrita.

8.1 Futuras líneas de investigación

Aunque se alcanzaron buenos resultados con el dispositivo realizado, existen una serie de aspectos y limitaciones que aún no han sido resueltos, por lo que a continuación veremos algunas consideraciones que complementarán y mejorarán el diseño llevado a cabo.

En primer lugar, el aspecto más interesante sería la portabilidad del dispositivo, al requerir una fuente de presión externa, así como una fuente de alimentación para activar el funcionamiento de la microválvula en el momento deseado. El primer punto podría resolverse introduciendo un paso extra en el proceso de fabricación, donde el sellado del dispositivo tuviera lugar en un ambiente con presión controlada. De este modo, la energía necesaria para su funcionamiento estaría contenida en el propio dispositivo, solucionando el frecuente inconveniente de llevar voluminosos equipos externos.

En cuanto al aspecto de la alimentación, sería posible abordarlo mediante una pequeña batería acoplada a la microválvula, con un pequeño circuito que permitiera cortocircuitarla durante un breve periodo de tiempo en el momento que eligiésemos activar el sistema. El pulso de intensidad suministrado por la batería de este modo, deberá de estar previamente calibrado para satisfacer los requerimientos de operación de la válvula.

Por otra parte, siguiendo con el trabajo desarrollado por el departamento en este sentido [54], la principal utilidad de la microválvula consistiría en formar parte de una plataforma microfluídica integrada capaz de llevar a cabo varias funciones de

extracción/inyección, análisis y medida de sustancias biológicas de manera simultánea. Para abordar este objetivo, tendríamos que dividir el proceso en varias etapas de integración.

El primer paso consistiría en integrar al extremo del microcanal a un sistema compuesto por varias microagujas previamente caracterizadas, con intención de poder extraer o bien inyectar diferentes sustancias en un hipotético paciente. Si por ejemplo se tratase de una persona diabética, sería necesario fabricar un depósito adicional en la estructura para poder almacenar y suministrar pequeñas cantidades de insulina cuando fuese necesario. Factores como la estanqueidad y la conservación de los reactivos en el interior del depósito, sin que exista degradación alguna durante un razonable período de tiempo, serían críticos en el diseño. Además, serían necesarios varios ensayos sobre la piel del paciente, para comprobar que la inyección/extracción no provoque ningún efecto adverso.

Siguiendo con este ejemplo, si pretendemos cuantificar y analizar la concentración de glucosa u otro analito en la extracción de fluido llevada a cabo, deberíamos estudiar la microfluídica necesaria para hacer circular esta muestra de forma sencilla hasta una cámara de detección. En esta cámara se encontraría un biosensor encargado de medir dicha concentración del analito, siendo necesario que en el proceso de transporte no existiera ningún elemento que degradase la muestra. En cuanto al tipo de biosensor empleado, existen varias propuestas que han sido previamente analizadas en trabajos llevados a cabo por el grupo de investigación [55].

Una vez integrada la microválvula con el sistema de detección y las microagujas, el siguiente reto consistiría en hacer la estructura repetitiva para poder unir múltiples sistemas independientes en un array. Al ser nuestra válvula de un solo uso, sería imprescindible contar con un gran número de ellas en un mismo dispositivo para poder realizar varias tareas de forma simultánea y con una continuidad razonable. De este modo además sería posible que nuestra plataforma contase con cierta redundancia en las medidas.

El último punto, sería finalmente integrar un sistema electrónico en la plataforma para poder almacenar los datos recogidos, ordenar la extracción o bien inyección de fluido, procesar las medidas realizadas, y transmitir de forma inalámbrica todos estos datos a un terminal móvil, donde el paciente pudiera estar al tanto de la situación en todo momento.

Aunque queda patente que aún hay mucho trabajo por realizar hasta poder fabricar y caracterizar la plataforma Lab-on-Chip completa, es un reto excitante y en la misma línea de muchos trabajos que actualmente se están llevando a cabo en diferentes centros de investigación y empresas de todo el mundo.