



# ARCHIVOS DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE OFTALMOLOGÍA

[www.elsevier.es/oftalmologia](http://www.elsevier.es/oftalmologia)



## Editorial

# Circuitos integrados de aplicación específica en sensores implantables para la monitorización de la presión intraocular

## Application specific integrated circuits in implantable sensors for monitoring intraocular pressure

D. Piso<sup>a,\*</sup> y P. Veiga-Crespo<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Investigación de Control & Diagnósticos de ESS Bilbao, Leioa, Bizkaia, España

<sup>b</sup> Grupo de Investigación de Oftalmo-Biología Experimental de la Universidad del País Vasco, Leioa, Bizkaia, España

Las capacidades crecientes en la industria de la electrónica para la detección, el procesado de señales, la actuación y la comunicación con el ambiente han sido utilizadas en la medicina durante años. Uno de los temas más espectaculares en este campo son los dispositivos implantables. Esta industria no es completamente nueva. Desde los marcapasos alimentados por una batería, la electrónica de semiconductores ha sido utilizada para concebir nuevos dispositivos implantables que salvan vidas e incrementan la calidad de la misma de los pacientes.

Durante los últimos años, el volumen implantado y otras capacidades han sido mejorados drásticamente en varios órdenes de magnitud<sup>1</sup>. De este modo, esta tecnología ha sido transferida a nuevas áreas terapéuticas, como la medida de niveles de glucosa, dispositivos que interactúan con los impulsos eléctricos en el cuerpo humano o técnicas de neuro-modulación de la respiración.

Además, los dispositivos más pequeños con mayor rendimiento permiten una mejor aceptación por parte del paciente y procedimientos menos invasivos y baratos. Más aún, la miniaturización avanzada permite el uso de nuevos factores

de forma e incluso dispositivos independientes que pueden comunicarse entre sí como parte de una «red de área corporal».

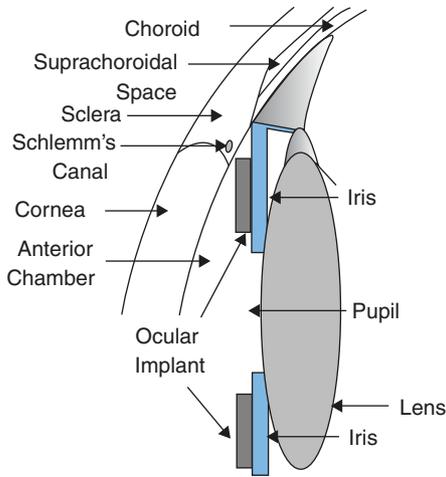
Una de las áreas más punteras en la investigación de dispositivos implantables es su aplicación para la monitorización de la presión intraocular (PIO)<sup>2</sup> (fig. 1). El glaucoma es la principal causa de ceguera, afectando a 67 millones de personas en el mundo. Aparte de su inherente inexactitud, los métodos tradicionales de medida de la PIO no son capaces de registrar las fluctuaciones de la presión con los ritmos circadianos y la actividad física. Por todo ello, la vieja idea de un dispositivo intraocular implantable autónomo está muy cerca de convertirse en realidad.

Hasta el año pasado, existían algunos dispositivos para la monitorización de la PIO. Una de las técnicas más populares fue la integración de un sensor de la presión mediante la medida a través de una lente de contacto blanda<sup>3</sup>.

Sensimed desarrolló un método para convertir esta aplicación en inalámbrica<sup>4</sup>. Sin embargo, esta técnica produce medidas con una variabilidad muy alta, debido, probablemente, a los desplazamientos de la lente.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [dpiso@essbilbao.org](mailto:dpiso@essbilbao.org) (D. Piso).



**Fig. 1 - Diagrama de bloques y visión frontal de un dispositivo implantado.**

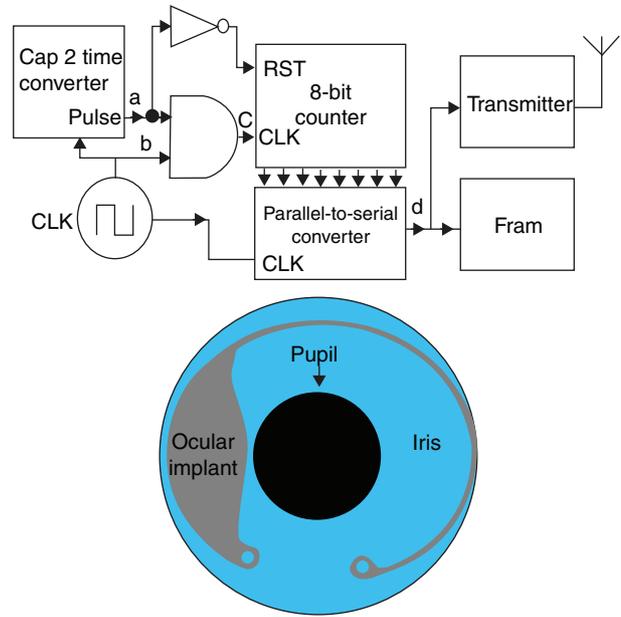
Otros dispositivos implantados no presentan esta variabilidad. Están basados en sistemas LC resonantes, por lo que producen soluciones más robustas y más pequeñas. Por el contrario, estos sistemas presentan una funcionalidad muy limitada.

Durante los dos últimos años los trabajos de algunos grupos de investigación en dispositivos implantables han permitido un importante avance en la tecnología destinada a la monitorización continuada de la PIO. Un nuevo conjunto de circuitos integrados de aplicación-específica (ASIC) y sistemas microelectromecánicos (MEM) han sido diseñados. Estos nuevos sistemas alcanzan períodos de monitorización y almacenamiento de datos mucho más largos, tomando medidas cada 5 min. De estos, dos dispositivos son especialmente llamativos<sup>3,5</sup>.

El primero de ellos es un dispositivo implantable para la monitorización de la PIO que consta de un ASIC fabricado con una tecnología de 0,13  $\mu\text{m}$ , un sensor MEM, una antena y una fuente de energía. El MEM es el encargado de convertir las presiones registradas en unidades de capacidad y derivar esta información hacia ASIC para el procesamiento de los datos y su posterior modulación en una portadora de alta frecuencia para su transmisión inalámbrica (fig. 2).

En este tipo de dispositivos, el MEM es un condensador cuya capacidad varía dependiendo de la presión, por lo que el tiempo de carga necesario será diferente cuando la capacidad  $C_{MEM}$  varíe (ecuación 1). Conociendo el tiempo de carga, es posible calcular la presión. Este tiempo es digitalizado y transmitido de manera inalámbrica, lo que evita interferencias en la señal registrada y permite su almacenamiento en un chip de memoria (memoria no volátil FeRAM). La energía para el funcionamiento del dispositivo se obtiene mediante ondas de alta frecuencia que alimentan un circuito rectificador RF a través de la antena del sistema.

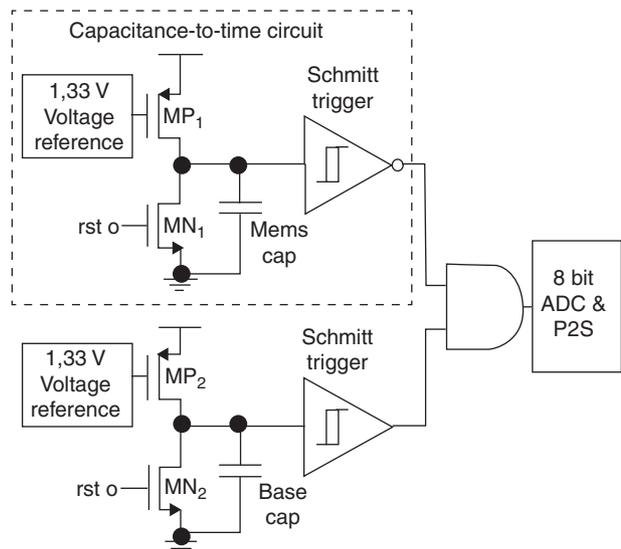
El segundo dispositivo que merece la pena destacar es un monitor de un milímetro cúbico y comunicación inalámbrica. Es capaz de captar la energía solar que entra en el ojo a través de la córnea mediante una célula solar integrada (0,7  $\text{mm}^2$ ) y



**Fig. 3 - Sección transversal de un implante ocular.**

almacenarla en una batería de litio (con un tiempo de vida de 28 días si no se vuelve a almacenar más energía). En este caso, las operaciones de medición y transmisión de datos también son llevadas a cabo con un MEM y un ASIC. El microcontrolador en este caso está fabricado con una tecnología de 0,18  $\mu\text{m}$ . La presión es monitorizada cada 15 min y el microprocesador es capaz de almacenar hasta 3 días de datos (5 Kbytes de memoria volátil SRAM) e incluso comprimir dichos datos para aumentar la capacidad de almacenaje hasta 1 semana.

Estos dispositivos se montan con un polímero cristal líquido y presenta una forma de renacuajo para facilitar la implantación quirúrgica en la cámara anterior del ojo (fig. 3).



**Fig. 2 - Circuito capacidad-tiempo.**

Se han llevado a cabo estudios de biocompatibilidad en conejos glaucomatosos para analizar la compatibilidad del polímero líquido cristal en relación a otros materiales. El resultado mostró una baja cantidad de casos de encapsulación fibrosa e inflamación. El pequeño tamaño de la antena además debería facilitar el éxito de las operaciones de implantación ocular.

Estos dispositivos son ejemplos claros de cómo la colaboración científica interdisciplinar puede proporcionar resultados prometedores. En el futuro, estos sistemas podrán ser utilizados en sistemas de tratamiento en lazo cerrado con un gran potencial para un aumento en sus funcionalidades.

Ninguno de estos dispositivos por sí mismos será capaz de curar, pero sí contribuirán de una manera decidida a la eficacia de los tratamientos. De cara a futuras investigaciones, ha de tenerse especial cuidado para mejorar los procesos de implantación, rendimiento y coste. Si estos aspectos se manejan adecuadamente las posibilidades de aplicación y mejora serán enormes, sobre todo en el caso de pacientes crónicos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Oesterle S, Gerrish P, Cong P. New interfaces to the body through implantable system integration. En: International Solid-State Circuits Conference. San Francisco: Estados Unidos; 2011.
2. Katuri KC, Asrani S, Ramasubramanian MK. Intraocular pressure monitoring sensors. *IEEE Sensors Journal*. 2008;8:13-9.
3. Chow EY, Chlebowski AL, Irazoqui P. A miniature-implantable rf-wireless active glaucoma intraocular pressure monitor. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*. 2006;4:340-9.
4. Leonardi M, Leuenberger P, Bertrand D, Bertsch A, Renaud P. First steps towards noninvasive intraocular pressure monitoring with a sensing contact lens. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2004;45:3113-7.
5. Chen G, Ghaed H, Haque R, Wieckowski M, Kim Y, Kim G, et al. A cubic-millimetre energy-autonomous wireless intraocular pressure monitor. En: International Solid-State Circuits Conference. San Francisco: Estados Unidos; 2011.