

Medición inalámbrica de concentración de oxígeno para productos vitivinícolas

Wireless measurement of oxygen concentration for wine products

Jorge Mario Garzon Rey

Universidad de los Andes
Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Centro de Microelectrónica
jm.garzon131@uniandes.edu.co

Johann F. Osma

Universidad de los Andes
Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Centro de Microelectrónica
jf.osma43@uniandes.edu.co

Fredy Segura-Quijano

Universidad de los Andes
Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Centro de Microelectrónica
fsegura@uniandes.edu.co

Resumen

En este trabajo se presenta un sistema inalámbrico que permite medir la concentración de oxígeno aplicable para el vino embotellado. El sistema está basado en alimentación y medición inalámbrica por medio de telemetría inductiva, a través de un sensor al interior de la botella que mide la concentración de oxígeno y entrega la información medida de manera inalámbrica. Posibles niveles altos de concentración de oxígeno determinan fugas en el corcho, lo que representa mala calidad del proceso de embotellamiento y por ende pérdida de las propiedades de la calidad del vino. El sistema propuesto fue validado utilizando una implementación de componentes discretos por la facilidad y disponibilidad en el mercado local, pero las topologías estudiadas buscan a futuro una posible implementación a nivel de circuito integrado de aplicación específica (ASIC). El sensor utilizado para el montaje del prototipo es un sensor de oxígeno comercial referencia O2A2 de Alphasense. La respuesta en condiciones de funcionamiento es lineal con un coeficiente de correlación de 0.999.

Palabras claves: Concentración de oxígeno, telemetría inductiva, alimentación inalámbrica y control de calidad.

Abstract

This paper presents a wireless system for measuring the oxygen concentration suitable for bottled wine. The architecture system is based on wireless powering and inductive telemetry data communication eases the information about wine quality via an oxygen sensor inside the bottle. A high level of oxygen show salow quality of bottled wine. A bad sealing process and corks defects increase the oxygen concentration. The proposed system was validated using adiscrete component implementation available on local market. The given architecture was designed in to a ASIC future application. The prototype use a commercial *Alphasense* A2O2 oxygen sensor, the implemented system shows ahigh linea rresponse with a correlation coefficient of 0.999.

Keywords: Oxygen concentration, inductivet elemetry, wireless powering and quality control.

1 Introducción

El oxígeno remanente en las botellas de vino ya selladas, afecta de manera directa la calidad del vino por los procesos físico químicos que allí se generan. Así, una cantidad mínima de oxígeno, puede activar procesos de oxidación que generan liberación de sulfuros [1], los cuales afectan la estabilidad del color, aroma y sabor del vino. En botellas ya selladas no es posible realizar una medida de concentración de oxígeno sin afectar la integridad del corcho o de la botella; por lo que tener un sistema de sensado inalámbrico dentro, permitiría conocer posibles fugas en el corcho y así tener un control de la cadena de producción en especial desde el embotellado hasta el consumidor final [2].

Como primera aproximación se podría pensar en un esquema de alimentación basado en baterías, pero no resulta una alternativa adecuada, dado que el tiempo de vida útil se encuentra limitado por la capacidad de la batería y dependería de la cantidad de mediciones que se hagan en el sistema. Así mismo, en este tipo de aplicaciones en donde el acceso es imposible (caso de la botella de vino), remplazar baterías no tiene sentido. Usar baterías con mayor capacidad o incluir en el diseño un sistema de recarga de baterías, minimiza la posibilidad futura de una integración del sistema a nivel de circuito integrado (ASIC).

Existen alternativas tecnológicas interesantes para poder abordar el problema planteado, siendo una de ellas el uso de tecnologías del tipo *energy scavenging* que obtienen energía a partir de condiciones del entorno en el que se encuentra instalado el sensor como vibraciones o temperatura. Dado que el sensor utilizado es comercial y se requieren condiciones de alimentación constantes para el circuito de medida que no dependan de vibraciones o temperatura, se propone el estudio de tecnologías basadas en acoples de inducción electromagnética (*Telemetría inductiva*) que permiten transmitir datos y energía, con reducidas limitaciones físicas y alta capacidad de integración [3]–[5].

La Figura 1 presenta el esquema general de un sistema de telemetría inductiva compuesto por dos bloques principales: la unidad de lectura y la unidad sensora; las cuales están acopladas por medio de bobinas. La unidad de lectura transmite energía a la unidad sensora por medio de una etapa de potencia clase E controlada por la interfaz de usuario. En la unidad sensora la energía inducida, es rectificada y regulada para tener una tensión de alimentación para el circuito de acondicionamiento, la cadena de medida y el sensor. La respuesta del sistema es modulada y transmitida inalámbricamente hacia la unidad de lectura en donde el resultado de la medida se despliega por la interfaz de usuario.

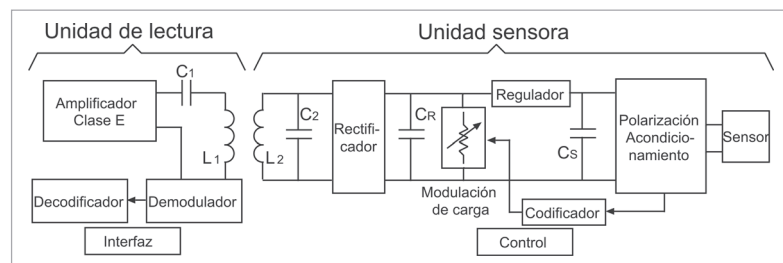


Figura 1. Esquema general de sistema basado en telemetría inductiva.

Para la modulación de la señal medida en la unidad sensora se han desarrollado diferentes técnicas, que permiten luego retornar los datos hacia la unidad de lectura. A continuación se presentan las técnicas más conocidas:



1. *Modulación de carga (LSK)*: Este esquema usualmente utilizado en los identificadores de radio frecuencia (RFID) aprovecha un efectivo acople inductivo entre las bobinas de las unidades del sistema detectando variaciones en el voltaje en la bobina de la unidad lectora causadas por cambios en la impedancia reflejada de la unidad sensora [6]. Como ejemplo se tienen algunos sistemas biomédicos implantables los cuales provocan cambios en la impedancia reflejada cortocircuitando los terminales de bobinas de la unidad sensora. Sin embargo en el caso de los sistemas integrados de tecnología CMOS, donde las bobinas son significativamente pequeñas con factores de calidad bajos, el acople se ve limitado lo que dificulta la transmisión de retorno de datos bajo este esquema [7].
2. *Oscilador controlado por voltaje (VCO)*: A diferencia del sistema de modulación de carga el retorno de datos se realiza por un canal diferente al que se recibe la energía. Así mismo, este esquema se encuentra transmitiendo continuamente una señal cuya frecuencia varía proporcional al valor de la medición de la variable física medida. De esta forma, la unidad lectora busca reconocer cambios en la frecuencia de la señal recibida para demodular y decodificar la información [8], [9].
3. *Modulación ON-OFF (OOK)*: A igual que la modulación anterior el retorno de los datos se realiza por un canal distinto al de transmisión de energía, pero estos se diferencian en el hecho que se envía una señal de alta frecuencia a una única frecuencia y de forma interrumpida. En otras palabras esta modulación enciende y apaga un oscilador conectado a una antena que envía dicha señal. Este esquema permite el envío de señales digitales como analógicas bajo una modulación de ancho de pulso [10].

Bajo el marco de la problemática que se quiere estudiar como es el caso de los vinos, un esquema de alimentación basado en telemetría inductiva ofrece un tiempo de vida largo en comparación a soluciones alámbricas y alimentadas por baterías. Por otro lado, en ambos casos (alámbrico o inalámbrico), hay que tener consideraciones necesarias de encapsulamiento del sistema de medida que va dentro de la botella, para no afectar la integridad del producto. En este trabajo se presenta la implementación de un sistema de transmisión de energía, para la medida de concentración de oxígeno de forma inalámbrica en botellas de vino. Los resultados del sistema son validados con mediciones realizadas en condiciones controladas de oxígeno, para una adecuada caracterización del mismo. El diseño incluye esquemas de telemetría inductiva y transmisión de retorno de datos basado en un oscilador de alta frecuencia, los cuales son el eje central.

2. Metodología: arquitectura del sistema

A continuación se presenta la arquitectura general del sistema con una descripción de cada una de sus partes. La metodología de trabajo parte del estudio teórico de todos los circuitos básicos que forman la topología, posteriormente una simulación completa del sistema para determinar condiciones de funcionamiento y finalmente se tiene implementación y caracterización de cada bloque. La Figura 2 presenta un diagrama de bloques del sistema propuesto que a diferencia de la Figura 1 muestra el esquema de modulación ON-OFF (OOK). En la parte izquierda de la figura se pueden ver los bloques funcionales de la unidad de lectura y en la derecha se pueden ver los bloques de

la unidad sensora. El acople entre las dos unidades se lleva a cabo por medio de acople inductivo con bobinas planares diseñadas sobre fibra de vidrio (FR4) como prueba inicial de concepto, canal por el que se genera la transmisión de energía de la unidad lectora a la unidad sensora a una frecuencia de operación de 13.56 MHz. Otras dos bobinas (antenas) acopladas a frecuencia más alta (410 MHz) permiten obtener la información de la unidad sensora hacia la unidad de lectura.

El dimensionamiento de las bobinas se hizo a partir del método de Greenhouse [11] y se tuvieron en cuenta aspectos como frecuencia propia de resonancia de la bobina y factor de calidad para el diseño óptimo. La frecuencia propia de resonancia de cada bobina tiene que estar por encima de la frecuencia de trabajo, dado que bajo esta circunstancia el comportamiento es precisamente inductivo. En caso de no cumplirse esto, la bobina tendría un comportamiento capacitivo lo cual no es lo deseable, porque no se generaría transferencia de energía entre las bobinas. En el caso del factor de calidad se espera que la Q de cada bobina sea lo más alto posible, siendo este parámetro limitado por la calidad de la fabricación de la bobina, como por el material utilizado que en este caso es cobre.

Para el diseño de la unidad lectora se tuvieron en cuenta cuatro bloques funcionales. El primero es el amplificador clase E, encargado de generar la energía suficiente para alimentar la unidad sensora por medio del acople entre las bobinas. Un bloque de demodulación OOK el cual toma información del estado de la concentración de oxígeno medido en el sensor, por medio de una antena en una banda de frecuencia superior a la de transmisión de energía. La interfaz de usuario se realizó por medio de un display LCD de 4x20 caracteres y toda la lógica de decodificación y control de la unidad de lectura se llevó a cabo en un microcontrolador AT91SAM7S256. Finalmente el sistema cuenta con una memoria EEPROM de 512 kBytes externa que almacena aproximadamente 87 mil datos junto con una estampa de tiempo, para una posterior revisión vía comunicación serial con un computador.

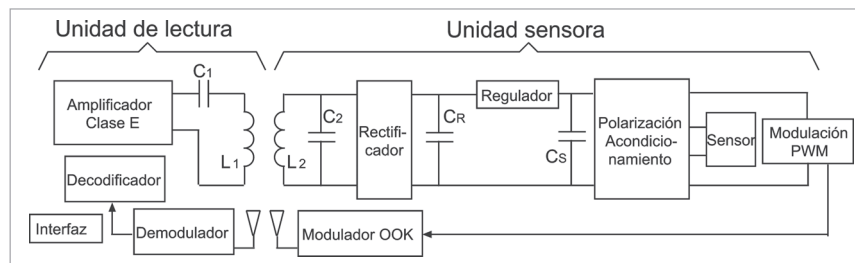


Figura 1. Esquema general de sistema basado en telemetría inductiva.

Para el diseño de la unidad sensora la cual va dentro de la botella, se tuvieron en cuenta los bloques de alimentación, medición y transmisión de retorno de datos. El bloque de rectificación y regulación es alimentado por la energía del enlace y consta de un puente rectificador y un regulador a 5V, que alimenta la cadena de medición. La señal del sensor activo de oxígeno O2A2 de *Alphasense* es acondicionada por una cadena de medición, de manera que la señal proporcional a la medida es modulada por ancho de pulso (PWM), lo que emula un conversor análogo digital (ADC) de pendiente simple. El bloque de modulación OOK es el encargado de generar la señal de retorno con la información obtenida del sensor hacia la unidad de lectura.



2.1 Unidad de lectura: transmisión de energía

La transmisión de energía hacia la unidad sensora se realiza por medio de una etapa de potencia clase E que controla el flujo de corriente sobre la bobina de alimentación de la unidad sensora. La Figura 3(a) muestra un diagrama circuital del amplificador clase E, en donde la compuerta del primer transistor (portadora) se encuentra conectado a la salida del bloque PWM del microcontrolador a una frecuencia de 13.56 MHz. La compuerta del segundo transistor (Datos) podría utilizarse para modular datos en caso de ser necesario enviar información de la unidad de lectura a la unidad sensora, caso que no se tuvo en cuenta en la operación del sistema. La bobina diseñada para el prototipo se implementó en cobre sobre FR4 como se puede ver en la Figura 3(b) con una relación de 60 vueltas, ancho y separación entre pistas de 250 μm , para un área de 6 x 6 cm.

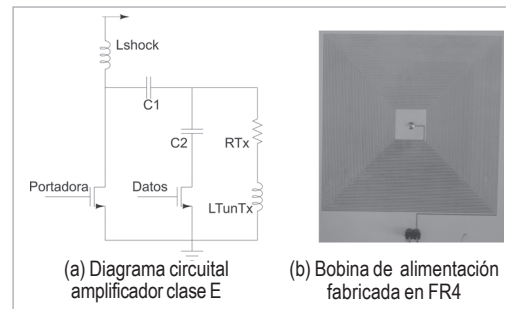


Figura 3. Sistema de transmisión de energía

2.2 Unidad sensora: alimentación

Una vez se tiene energía en la unidad sensora es necesario rectificar y regular dicha señal para poder generar una alimentación constante que se encargue de polarizar los demás elementos del circuito. Es importante diseñar buenos circuitos de alimentación, dado que la medida depende drásticamente de factores como cambios en la señal de alimentación, cambios en temperatura entre otros. Por esta razón el diseño de los circuitos de alimentación contempla circuitos que minimicen la sensibilidad a estas variables. Inicialmente se diseñó un puente rectificador de onda completa, construido con diodos de alta velocidad de conmutación, que recibe la señal inducida por la unidad de lectora sobre las bobinas de alimentación. El segundo bloque es un convertidor DC-DC, que regula la tensión rectificada a un voltaje constante de 5V. El circuito utilizado para esta regulación de voltaje se muestra en la Figura 4 y se basa en un amplificador operacional con retroalimentación positiva y negativa. La referencia del amplificador coincide con el utilizado en la cadena de medición escogido bajo el criterio menor consumo de potencia, dadas las limitaciones de energía que se tienen en el sistema.

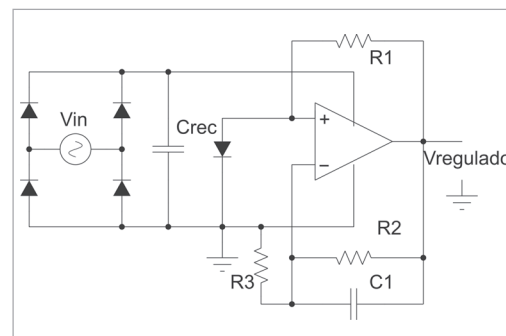


Figura 4. Circuito regular de voltaje de bajo consumo y con variaciones mínimas ante cambios de temperatura y alimentación.

2.3 Unidad sensora: cadena de medición y acondicionamiento

La cadena de medición del sistema utiliza el sensor comercial O2A2 de *Alphasense*, el cual es un sensor activo genera una corriente proporcional a la concentración de oxígeno en sus cercanías. Dadas las características del sensor y siguiendo las recomendaciones de la hoja de datos [12], se colocó un resistencia de carga de 100 Ω para realizar las

medidas. La siguiente etapa de acondicionamiento amplifica en un factor de 100 la medición por medio de una configuración no inversora basada en un amplificador operacional. La Figura 5(a) muestra el diagrama circuital de la cadena de medición, la cual tiene un fondo de escala de 0 a 1.2V para concentraciones de oxígeno entre 0 % y 20 %.

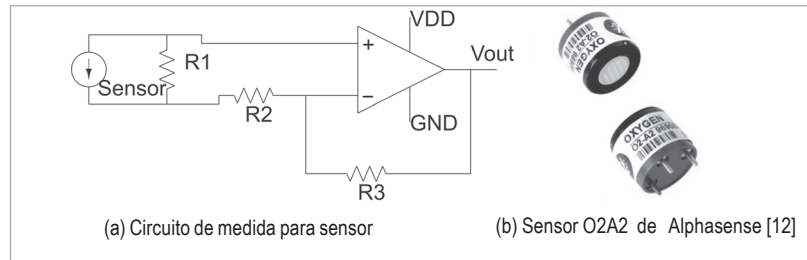


Figura 5. Circuito de medida recomendado por el fabricante para sensor comercial O2A2 Alphasense

2.4 Unidad sensora: transmisión de retorno de datos (back-telemetry)

La transmisión de retorno de datos se basa en la modulación OOK de un tren de pulsos cuyo ancho de pulso corresponde proporcionalmente a la medida de concentración de oxígeno. En este caso se buscó utilizar una alternativa diferente a la que típicamente se utiliza como es la modulación de carga. El esquema básico de funcionamiento se basa en el hecho de usar otro canal de comunicación del enlace inductivo a una frecuencia lejana de la utilizada para transmitir la energía. El nivel de tensión acondicionado del sensor en primera instancia es modulada por ancho de pulso, vía un esquema de comparación una señal diente de sierra. En segunda instancia el tren de pulsos controla un buffer tres-estados que habilita o no el envío de una señal de alta frecuencia (410 MHz en este caso) a la unidad de lectora por medio de la bobinas de transmisión, logrando una modulación OOK. La señal triangular se genera a partir de la integración de un voltaje DC durante el tiempo en el que una señal cuadrada a 10 kHz se encuentra encendida (i.e. un medio del periodo). La señal cuadrada se obtiene por medio de un multivibrador estable basado en transistores NMOS. El principio del oscilador se basa en la diferencia que existe entre los dos transistores del circuito, que en consecuencia genera que uno de los transistores domine el encendido del otro transistor por medio de la carga y descarga del condensador. El tiempo que conduce cada transistor es directamente relacionado con el tiempo de carga de los condensadores, por lo cual la frecuencia de la onda generada depende esencialmente del voltaje con que se alimente el circuito.

2.5 Unidad de lectura: recepción de datos

Como se especificó antes, la unidad sensora envía vía una modulación OOK un tren de pulsos cuyo ancho es proporcional al nivel DC de voltaje que genera el sensor O2A2 dada la concentración de oxígeno en donde se encuentra el sensor. La señal resultante de modulación se envía a una bobina planar utilizada en modo de antena. La bobina utilizada fue fabricada en cobre sobre fibra de vidrio con 25 vueltas, 250 μm de ancho y separación de pistas, para un área de 3x3 cm. Su comportamiento fue caracterizado en frecuencia por medio del analizador de impedancias *Agilent4294.A*¹, con el fin de encontrar el rango de frecuencias de trabajo de la bobina. El resultado de dicha caracterización

¹ Equipo disponible en el Laboratorio Sala Limpia de la Universidad de Los Andes



se observa en la Figura 6, a partir de la cual se encuentra que es posible usar la bobina fabricada a frecuencias menores a 25 MHz. La señal enviada desde la unidad sensora por medio de la bobina induce una pequeña señal sobre la bobina que se encuentra en la unidad lectura. Esta señal pasa por un detector de envolvente el cual recupera una señal modulada en ancho de pulso que contiene la información del sensor. Las capacitancias del circuito fueron calculadas para desmodular señales en el orden de 10kHz, frecuencia a la que se encuentra el tren de pulsos modulado por la unidad sensora. La salida del detector de envolvente es leída por el microcontrolador por medio del convertor análogo a digital, de esta forma la señal se digitaliza y se procesa por el microprocesador para calcular la concentración.

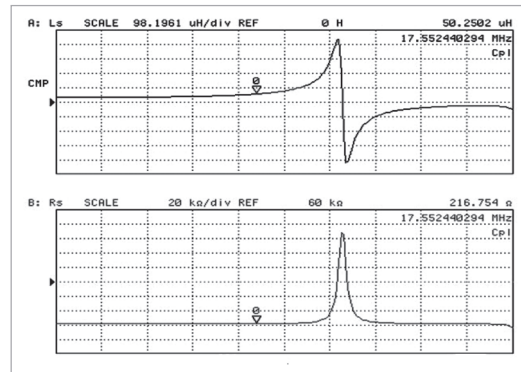


Figura 6. Caracterización de la bobina transmisora

2.6 Unidad de lectura: interfaz de usuario

La Figura 7 presenta un diagrama de bloques de la unidad lectora en donde se tiene que la interfaz de usuario del sistema de centra en una display LCD de 4x20 caracteres en donde se muestra al usuario la concentración actual que se recibe de la unidad sensora. Así mismo, se informa al usuario si la unidad de sensado se encuentra encendida o no. Una vez encendida la unidad de lectura, la rutina principal inicializa y configura los periféricos a utilizar. Posteriormente habilita las interrupciones de la USART y del puerto paralelo (PIO), quedando en espera que se habilite la transmisión de energía hacia la unidad de sensora. Dicha habilitación se realiza en la rutina de atención a la interrupción del puerto paralelo que se ejecuta cuando el respectivo botón se pulsa. Una vez la rutina principal recibe la bandera de encendido de la unidad sensora, el procesador toma ventananas de datos de la señal del detector de envolvente calculando la duración del pulso enviado por la unidad sensora y por ende la concentración de oxígeno. Cada concentración calculada es almacenada en la memoria EEPROM AT24C512B junto con una estampa de tiempo tomada del contador en tiempo real (RTT). La rutina de atención a la interrupción de la USART, detiene la transmisión de energía a la unidad sensora, y permite enviar vía protocolo RS-232 los datos almacenados en memoria y eliminarlos. Al finalizar esta rutina se reanuda la alimentación a la unidad sensora.

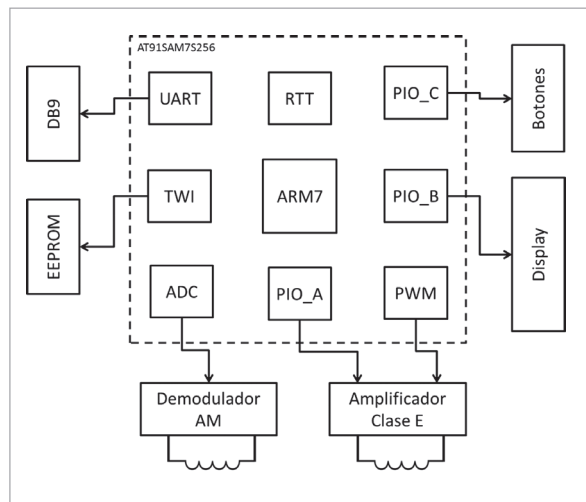


Figura 6. Caracterización de la bobina transmisora

3. Resultados

A continuación se presentan los resultados para cada uno de los bloques diseñados. La implementación de todos los bloques se realizó utilizando componentes de montaje superficial para reducir el consumo de potencia y reducir el tamaño. Se buscaron topologías sencillas orientadas a tener bases para una futura implementación en un circuito integrado de aplicación específica (ASIC).

3.1 Unidad de lectura: transmisión de energía

Para seleccionar la frecuencia a la cual se envía energía al sensor (13.56 MHz) se tuvieron en cuenta las recomendaciones en la literatura, el hecho de ser una banda libre para este tipo de aplicaciones y los resultados experimentales de acoplamiento entre diferentes bobinas diseñadas. Con el acoplamiento entre las bobinas se logró obtener una señal inducida cercana a los $16.5 V_{pp}$, suficiente para alimentar la unidad lectora, con bobinas separadas por una lámina de vidrio de 3 mm.

3.2 Unidad sensora: alimentación

Se caracterizó este bloque para validar cambios en temperatura con variaciones de la tensión de salida inferior del 2%. De la respuesta obtenida en este bloque se evidencia que para voltajes inducidos mayores a 6.6 V el regulador logra mantener un voltaje de 5.2 V a la salida en circuito abierto. Sin embargo para voltajes menores se observa un decaimiento casi lineal en el voltaje de salida, que llega a ser nulo cerca de los 4.5 V. A partir de los resultados de la prueba anterior se realizó una variación de la resistencia de carga partiendo de 50 k Ω con 7 V pico a la entrada.

Se pudo observar que es imprescindible inducir un voltaje pico mayor a 6.6 V sobre la bobina de alimentación y se concluyó que los circuitos que se alimenten a partir del regulador no pueden tener un consumo de potencia superior a 12.5 mW.

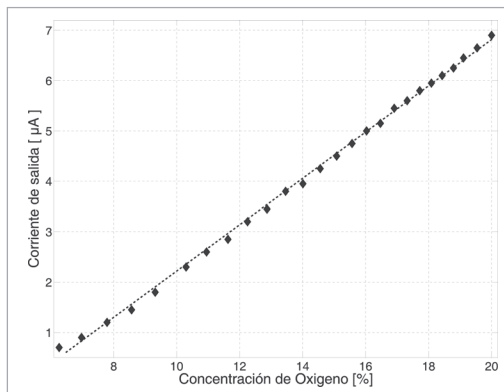


Figura 8. Función de transferencia del sensor

3.3 Unidad sensora: cadena de medición y acondicionamiento

La Figura 8 muestra la curva de transferencia del sensor O2A2 la cual expone una característica fuertemente lineal para todo el rango de medición deseado, por lo que no requiere ningún ajuste por linealidad en la cadena de medición.

Dadas las pequeñas corrientes que genera el sensor, se tuvo especial atención en la magnitud de las corrientes de polarización. Finalmente se decidió utilizar el amplificador TLC27M3, que se encuentra fabricado en tecnología CMOS de bajo consumo

3.4 Unidad sensora: transmisión de retorno de datos (back-telemetry)

En la Figura 9 se muestra la función de transferencia del multivibrador astable. De la



figura se puede verificar que para el voltaje entregado por el sistema de alimentación se tiene una efectiva frecuencia de oscilación de 10 kHz.

La Figura 10(a) muestra la señal triangular utilizada para comparar el nivel del voltaje DC del sensor y general la modulación por ancho de pulso como se observa en la Figura 10(b).

3.5 Unidad de lectura: recepción de datos

La Figura 11 muestra la variación del ancho de pulso de la señal modulada como resultado de la salida del sensor. De esta curva se observa una variación lineal entre la concentración y el ancho de pulso que cumple la siguiente relación:

$$D(C) = TM1, 1368 \times C + 49.6 \text{ [%]} \quad (1)$$

Donde $D(C)$ es ciclo útil o el ancho del pulso normalizado al periodo de la señal en función de la concentración de oxígeno C .

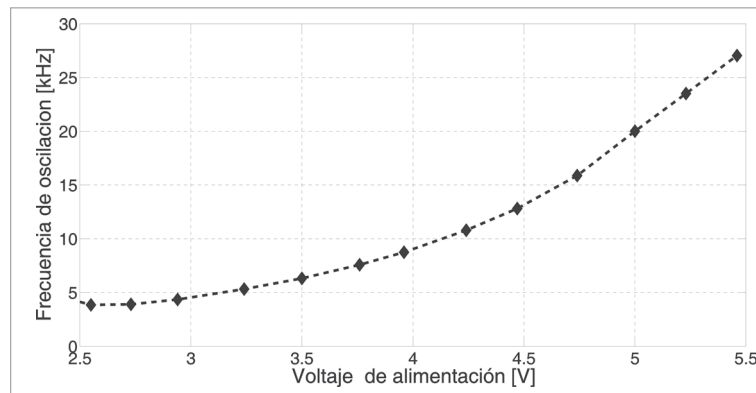


Figura 9. Función de transferencia del multivibrador astable.

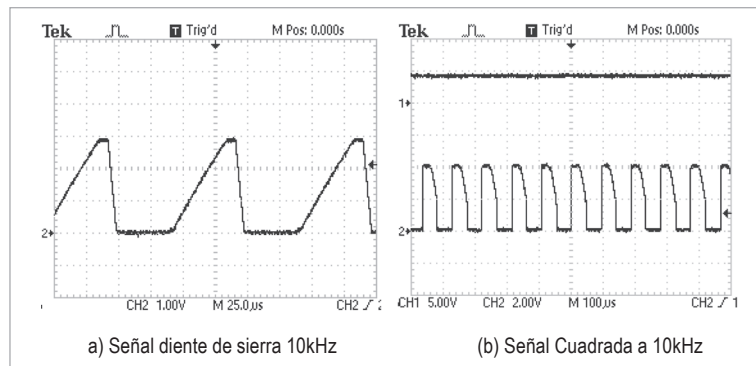


Figura 10. Muestra de resultado de las señales diente de sierra y cuadrada a 10kHz

4. Conclusiones y trabajo futuro

El sistema cuenta con una cadena de medición y un bloque para transmisión de retorno de datos basado en telemetría inductiva. Se utilizan dos pares de bobinas para alimentar la unidad sensora y recibir información de la misma. La medición de la concentración de

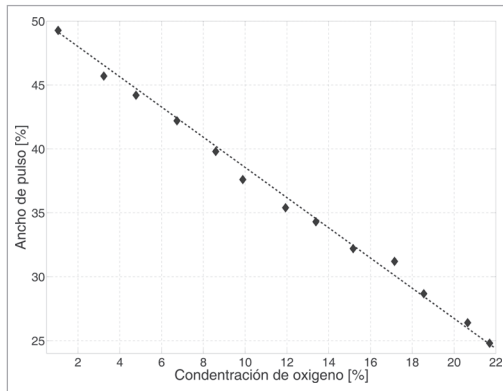


Figura 11. Función de transferencia de la modulación por ancho de pulso.

oxígeno se realiza por medio del sensor comercial O2A2 de *Alphasense*, usando una resistencia de 100Ω y un etapa de amplificación de ganancia 100 en voltaje. El sistema de retorno de datos envía por medio de una bobina planar, un tren de pulsos bajo una modulación OOK. El tren de pulsos se genera a partir de la comparación entre el nivel DC de salida de la cadena de medición y la señal diente de sierra a 10 kHz, que resulta de la integración de un nivel DC de la alimentación durante el tiempo de encendido de una onda cuadrada del multivibrador astable.

La unidad sensora diseñada valida el principio de transmisión de retorno de datos basado en un oscilador de alta frecuencia. Aunque no se realizó una validación del sistema vía un proceso de fermentación alcohólica, si se caracterizó completamente el sistema. La unidad en si misma demostró su funcionamiento y se validó el principio de transmisión por retorno de datos basado en un oscilador en alta frecuencia

La selección de componentes se basó en el estudio de dispositivos de bajo consumo y de montaje superficial disponibles en el mercado local, escogidos teniendo en cuenta las corrientes de polarización y la razón de rechazo al ruido en la alimentación (PSRR). Es importante anotar que aunque el sistema implementado ocupa un área significativamente grande con respecto a los que se esperaría para la aplicación de control de calidad en botellas de vino, si se evidenció que el diseño planteado escalado e integrado en un circuito integrado es viable y permitirá tener un seguimiento completo de la calidad del vino hasta el usuario final.

El diseño presentado se basó en minimizar el consumo de potencia de los dispositivos utilizando topologías que a futuro puedan ser implementadas a nivel de circuito integrado; esto con el propósito de seguir investigando en este campo y poder llegar a niveles de integración muy altos. De todas formas es importante seguir estudiando y mejorando el diseño de elementos como el oscilador de alta frecuencia, dado que su consumo de energía es muy alto y restringe poder alimentarlo por telemetría inductiva sobre todo a niveles de circuito integrado en donde el tamaño de las bobinas que se pueden implementar son mucho más pequeñas. Otro inconveniente que se presenta en la implementación futura, es que las bobinas que se pueden fabricar en tecnología de circuito integrado tiene un factor de calidad muy bajo, debido a los materiales utilizados. Lo ideal sería no incorporar post-procesos al proceso de fabricación y si estudiar mejor las topologías y geometrías para lograr un alto desempeño.

A partir de la experiencia y el resultado que se presentan en este documento, se espera realizar un estudio sobre la resonancia entre de las bobinas de alimentación con el fin de utilizar un frecuencia de bandas libres o asignadas para este tipo de usos, lo cual implica elevar la frecuencia de trabajo y utilizar bobinas más pequeñas que se asemejen al de las presentes en un circuito integrado. El sistema de recepción de datos, debe rediseñarse incluyendo otro tipo de antena con mayor ganancia y un sistema de filtros para garantizar



mejores alternativas de procesamiento. Se deben diseñar bobinas con frecuencia de trabajo más altas con el fin de realizar la modulación OOK en la banda libre de los 900 MHz. Por último y para realizar la integración a circuito integrado de este sistema, es importante estudiar el diseño de un sensor de oxígeno con larga vida útil a escala del tamaño de los sistemas VLSI, lo cual es una tarea amplia por explorar.

Agradecimientos

Los autores agradecen al equipo de profesionales del Laboratorio Sala Limpia y el Laboratorio de Circuitos Impresos de la Universidad de Los Andes, especialmente a la Ingeniera Adriana Ascencio por su ayuda en la estación de caracterización de sensores.

Referencias bibliográficas

- [1] M. R. Jung, C. Freund, and J. S. Schüssler, "Impact of oxygen level in wine at bottling," *Practical Winery and Vinerard Journal*, sep 2009.
- [2] P. Patz, "Determination of oxygen in wine," in *PRACTICE REPORT LABORATORY ANALYSIS ELECTROCHEMISTRY OXYGEN LDO*, HACH LANGE, 2008.
- [3] O. Chevalerias, T. O'Donnell, D. Power, N. O'Donovan, G. Duffy, G. Grant, and S. O'Mathuna, "Inductive telemetry of multiple sensor modules," *Pervasive Computing, IEEE*, vol. 4, pp. 46–52, jan.-march 2005.
- [4] J. Sacristan-Riquelme, F. Segura-Quijano, and M. Osés, "Simple and efficient inductive telemetry system with data and power transmission," *Microelectronic Journal*, vol. 39, pp. 103–111, 2008.
- [5] J. Sacristan, F. Segura, and M. T. Osés, "Bidirectional telemetry for implantable Systems," *ISCAS 2006*, pp. 349–352, 2006.
- [6] Z. Tang, B. Smith, J. Schild, and P. Peckham, "Data transmission from an implantable biotelemetry by load-shift keying using circuit configuration modulator," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 42, pp. 524–528, may 1995.
- [7] G. Bawa, A. Huang, and M. Ghovanloo, "An efficient 13.56 mhz active back-telemetry rectifier in standard cmos technology," in *Circuits and Systems (ISCAS), Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on*, pp. 1201–1204, 30 2010-june 2 2010.
- [8] F. Kocer, P. Walsh, and M. Flynn, "An rf powered, wireless temperature sensor in quarter micron cmos," in *Circuits and Systems, 2004. ISCAS '04. Proceedings of the 2004 International Symposium on*, vol. 4, pp. IV–876–9 Vol.4, may 2004.
- [9] S. Chatzandroulis, D. Tsoukalas, and P. Neukomm, "A miniature pressure system with a capacitive sensor and a passive telemetry link for use in implantable applications," *Microelectromechanical Systems, Journal of*, vol. 9, pp. 18–23, mar 2000.
- [10] A. Sodagar, K. Wise, and K. Najaû, "An interface chip for power and bidirectional data telemetry in an implantable cochlear microsystem," in *Biomedical Circuits and Systems Conference, 2006. BioCAS 2006. IEEE*, pp. 1–4, 29 2006-dec. 1 2006.
- [11] H. Greenhouse, "Design of planar rectangular microelectronic inductors," *IEEE Transactions on parts, hybrids and packaging*, vol. PHP-10 No.2, pp. 101–109, 1974.
- [12] "Alphasense o2-a2 oxygen sensor datasheet". Disponible en: <http://www.datasheetarchive.com/O2-A2%20Oxygen%20Sensor-datasheet.html> (Última visita: Junio 2012).

Jorge Mario Garzón Rey

Nació en Villavicencio (Meta), Colombia. Ingeniero Electrónico con Opción en Astronomía de la Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia. Es candidato al título de Ingeniero Eléctrico y estudiante de segundo año de Maestría en Ingeniería Electrónica y de Computadores en la misma universidad. Actualmente se desempeña como investigador en el línea de Técnicas y Tecnologías de Diseño Electrónico en el Centro de Microelectrónica (CMUA) de la Universidad de Los Andes de Bogotá, Colombia.

Johann F. Osma

Nació en Bogotá, Colombia. Ingeniero Electrónico con MSc. en Ingeniería Electrónica de la Universidad de los Andes. Inició su carrera investigativa en el Centro de Microelectrónica de la misma universidad en el año 2001 bajo el tema de micro y nanotecnologías. Luego continuó su formación con un MSc. y un Doctorado en Ingeniería química, ambiental y de procesos en la Universitat Rovira i Virgili (España) en el tema de bio-nanotecnología. Desde el año 2010 se vinculó de nuevo a la Universidad de los Andes como Profesor en el área de Ingeniería Electrónica donde inicio el área de estudio de biomicrosistemas fluidicos.

Fredy Segura-Quijano

Nació en Bogotá, Colombia. Ingeniero Eléctrico con MSc. en Ingeniería Electrónica y Computadores de la Universidad de los Andes. Inició su carrera investigativa en el Centro de Microelectrónica de la misma universidad en el año 2000 bajo el tema de microtecnología. Luego continuó su formación con un MSc. y un Doctorado en Ingeniería Electrónica en la Universidad Autónoma de Barcelona (España) en el tema de microelectrónica. Desde el año 2010 se vinculó de nuevo a la Universidad de los Andes como Profesor en el área de Ingeniería Electrónica trabajando en el área de microelectrónica y sistemas embebidos.