

Resumen del Proyecto Fin de Carrera

Título del Proyecto: “Estudio e Implementación de Sensores de Fibra Óptica para Detección de Compuestos Orgánicos Volátiles”

Autor del Proyecto: César Elosúa Alonso.

Número de colegiado: 15402

Tutor del Proyecto: Dr. Cándido Barriain Aisa

Proyecto realizado en la Universidad Pública de Navarra, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Industriales y de Telecomunicación, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Fecha de lectura: 24 de Septiembre de 2004

Calificación: Matrícula de Honor

Proyectos de investigación relacionados con el Proyecto Fin de Carrera

El Proyecto Fin de Carrera se realizó en el marco de los siguientes proyectos de investigación:

Título del proyecto: Subsistemas fotónicos de generación, conversión, amplificación y procesamiento para redes ópticas de sensores y datos

Entidad financiadora: CICYT-TIC. Proyecto TIC2001-0877-C02-02

Entidades participantes: UPNA/UC (Universidad de Cantabria)

Duración: Diciembre 2001-Diciembre 2004

Investigador responsable: Manuel López-Amo Sainz

Título del proyecto: Nuevos sensores de fibra óptica orientados a aplicaciones domóticas, medioambientales y biomédicas

Entidad financiadora: Gobierno de Navarra.

Entidades participantes: UPNA

Duración: Enero 2003-Diciembre 2004

Investigador responsable: Ignacio R. Matías Maestro

Título del proyecto: Sensores y Redes de Sensores de fibra óptica orientados a aplicaciones domóticas, biomédicas y medioambientales

Entidad financiadora: CICYT-TIC. Proyecto TIC2003-00909

Entidades participantes: UPNA

Duración: 2003-2006

Investigador responsable: Ignacio R. Matías Maestro

Publicaciones relacionadas con el Proyecto Fin de Carrera

Como consecuencia del buen desarrollo del proyecto se han obtenido las siguientes publicaciones:

Congresos Internacionales

Autores: C. Bariáin, I. R. Matías, C. Fernández-Valdivielso, C. Elosúa, A. Lúquin, J. Garrido and M. Laguna

Título: Optical fiber sensor based on vapochromic gold complexes for environmental applications

Congreso: 10th International Meeting on Chemical Sensors. IMCS 2004. July 2004.

Publicación: Abstract Book IMCS04; pp. 538-539

Lugar: Tsukuba (Japon).

Autores: C. Bariáin, I. R. Matías, C. Fernández-Valdivielso, C. Elosúa, F. J. Arregui. A. Lúquin, J. Garrido and M. Laguna

Título: Optical fiber sensor based on vapochromic gold complexes for environmental applications

Congreso: 2^{èmes} Journées Franco Espagnoles CMC2 – IBERNAM. November 2004.

Publicación:

Lugar: Biarritz (Francia)

Revistas Internacionales

Autores: C. Bariáin, I. R. Matías, C. Fernández-Valdivielso, C. Elosúa, A. Lúquin, J. Garrido and M. Laguna.

Título: “Optical fibre sensor based on vapochromic gold complexes for environmental applications”

Revista: Sensors and Actuators B. (EN PRENSA)

Otros Méritos

Este trabajo ha sido galardonado con el Segundo Premio al Mejor Proyecto Fin de Carrera otorgado por la Asociación Navarra de Ingenieros de Telecomunicación



1.- INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha producido un interés creciente en sustituir en determinados procesos la monitorización humana por instrumentación electrónica, desarrollando nuevos tipos de sensores: concretamente, se están realizando muchos esfuerzos en desarrollar sensores que detecten compuestos orgánicos volátiles. Estas sustancias están presentes en múltiples procesos de la actividad humana, como en la industria, el terreno de la alimentación y la salud.



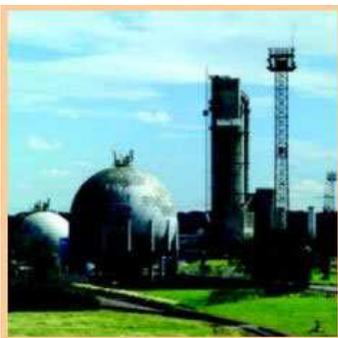
Dentro de la industria, hay determinados compuestos que resultan tóxicos para el hombre, principalmente los disolventes orgánicos empleados para la elaboración de pinturas, barnices, o en la síntesis de distintos productos químicos. Esto obliga a llevar un seguimiento continuo de la concentración volátil de estos productos, ya sea para detectar posibles fugas o para garantizar que las concentraciones de contaminantes están dentro de los valores establecidos.

Fig.1 Necesidad de control de compuestos tóxicos en la industria química

En lo que se refiere a la industria de la alimentación, los compuestos orgánicos volátiles aparecen en distintos procesos naturales, como pueden ser la maduración, fermentación o envejecimiento de los alimentos (desde frutas hasta vinos, licores, leche o productos lácteos). Un adecuado control de los vapores que se desprenden durante estos procesos, permite determinar la calidad de los mismos y del producto final, además de poder detectar y corregir (si es posible) anomalías.



Fig.2 Algunos alimentos cuya calidad puede estimarse por sus aromas



La calidad del ambiente que nos rodea es un factor con el que la salud está relacionado directamente. Cerca de puntos donde se producen compuestos orgánicos volátiles, la calidad del medio ambiente puede verse alterado negativamente para los seres vivos que lo habitan. Monitorizar la concentración de estos contaminantes orgánicos es vital para mantener la salubridad del medio, y por tanto, no alterar la salud de sus habitantes.

Fig.3 Las industrias químicas son fuente de contaminantes orgánicos volátiles que pueden afectar a la calidad del medio ambiente.



Lo expuesto en los apartados anteriores tiene un denominador común: la salud. En el caso de la industria, se debe velar por la salud de los trabajadores, y evitar que se expongan a concentraciones nocivas de estos compuestos. Cuando hablamos de la industria alimenticia, se vela por la calidad y correcto estado de los alimentos que llegarán al consumidor final, lo cual afecta directamente a su salud. Por último, tener controlados los niveles de contaminación del medio ambiente facilita el mantenimiento y calidad, indispensables para el correcto desarrollo de las actividades de sus habitantes.

2.- DETECCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

Con el desarrollo de sensores para la detección de estos compuestos, se crea una importante herramienta de apoyo para las distintas aplicaciones expuestas, que hasta ahora se veía obligado a realizar el hombre. Esto ocasionaba a veces problemas por el desgaste sensorial, o incluso problemas en la salud de las personas que debían dedicarse a estos menesteres. De ahí el interés en desarrollar sensores que permitan detectar este tipo de compuestos.



Fig 4. Prototipo de nariz electrónica

Actualmente se dispone de comerciales sensores que detectan estas sustancias, e incluso se han desarrollados prototipos que tratan de emular el sentido humano del olfato. Estos sistemas están compuestos de tres partes:

- Una matriz de sensores
- Una cámara donde se sitúa la matriz de sensores y se expone a distintos vapores.
- Un procesado de la señal procedente de la matriz.

El denominador común que tienen estos sensores es que son *electrónicos*. Es cierto que estos sensores se encuentran en una fase muy avanzada en su desarrollo, pero se enfrentan a ciertos problemas en lo que funcionalidad se refiere:

- Al ser sensores electrónicos, son elementos activos. Necesitan una polarización, y en muchos casos, unas condiciones determinadas para trabajar: en el caso de los sensores de dióxido de estaño, deben calentarse hasta 400 ° C para detectar



funcionar correctamente. Por otro lado, tienen una fuerte dependencia con la temperatura y las condiciones de medida.

- Debido a su vulnerabilidad ante interferencias electromagnéticas, requieren situarse cerca del módulo de procesado de señal, para evitar acoplos nocivos que podrían distorsionar irreversiblemente la señal.
- Al trabajar con señales eléctricas, no son recomendables en entornos donde haya un riesgo de inflamabilidad elevado, motivado, por ejemplo, por concentraciones elevadas de compuestos volátiles inflamables, o en centrales nucleares.



Fig.5 Las centrales nucleares tienen medios con alto riesgo de explosión

Todos estos factores suponen una tara a la hora de determinadas aplicaciones, como por ejemplo, el control de la calidad del aire en industrias químicas. Ante estas limitaciones, se presenta una alternativa, que aunque todavía está en un periodo de investigación, resulta muy atractivo: los sensores de fibra óptica.

3.- LOS SENSORES DE FIBRA ÓPTICA PARA LA DETECCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

El crecimiento de la fotónica y el abaratamiento de los componentes ópticos han despertado un gran interés por el desarrollo de sensores de fibra óptica. Frente a los sensores electrónicos, estos presentan una serie de ventajas:



- Son elementos pasivos, no requieren polarización, y no les afectan las condiciones ambientales de medida.
- Tienen inmunidad electromagnética (componentes elaborados con materiales dieléctricos y químicamente inertes). Esto los hace idóneos en entornos con elevadas interferencias, como es el caso de determinadas industrias. Además, pueden colocarse a distancias relativamente elevadas del módulo de procesado de datos, ya que la atenuación en la fibra óptica es baja. Así, el sensor puede colocarse en los puntos deseados sin ninguna limitación.

Fig.6 La fibra óptica ha supuesto una revolución en las telecomunicaciones

- La baja dispersión de la fibra óptica proporciona un elevado ancho de banda, y por tanto, otorga a estos sistemas un elevado grado de multiplexación. Esta



propiedad permite crear redes con un elevado número de sensores, algo impensable con sensores electrónicos.

- Al utilizar señales ópticas, son muy recomendables en entornos donde la inflamabilidad es elevada, de manera que no ponen en peligro a los trabajadores por riesgo de una explosión.

Todo esto ha llevado a un elevado nivel de investigación sobre el amplio abanico de posibilidades que ofrece esta tecnología: detección de gases, disolventes orgánicos, variables químicas y muchos más.

La elaboración de un sensor de fibra óptica viene acompañada de la modulación de alguna de las características de la señal óptica. De esta manera, se debe insertar un elemento sensible a la magnitud a medir o sustancia a detectar, de forma que modifique las determinadas propiedades de la señal óptica

En este proyecto se ha investigado la viabilidad de sensores de fibra óptica para la detección de compuestos orgánicos volátiles, empleando como material sensible un compuesto vapocrómico de fórmula $[\text{Au}_2\text{Ag}_2(\text{C}_6\text{F}_5)_4(\text{C}_6\text{H}_5\text{C} \equiv \text{CC}_6\text{H}_5)]$. Cuando este compuesto se expone a vapores orgánicos, reacciona con ellos produciéndose cambios en sus propiedades ópticas, como el color y el índice de refracción. Estos hechos modulan la señal óptica, de modo que se puede establecer una relación entre el compuesto volátil y la señal de luz.

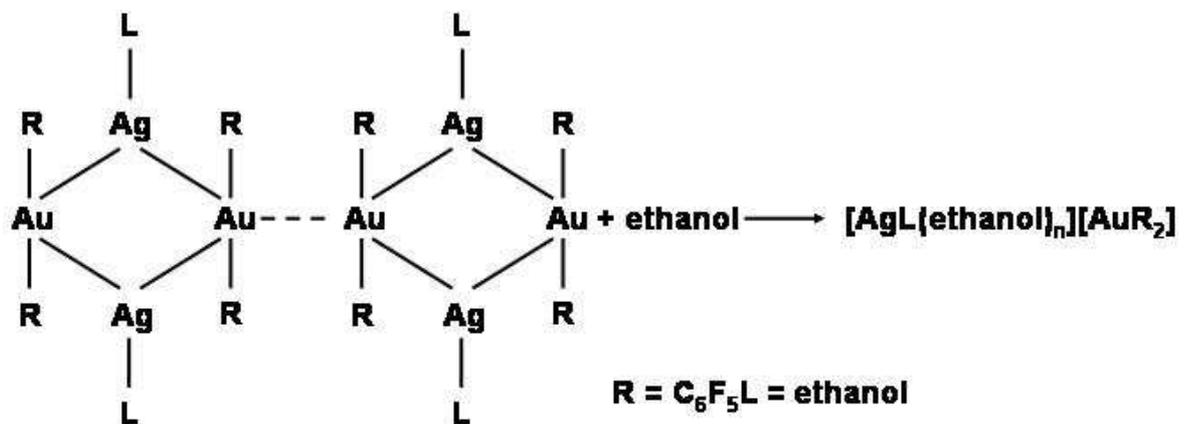


Fig. 7 Molécula del compuesto vapocrómico empleado y su reacción con el etanol

4.- ELABORACIÓN DE SENSORES DE FIBRA ÓPTICA PARA LA DETECCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

Se han desarrollado sensores en tres configuraciones distintas, reflexión, híbrida transmisión e híbrida pura, aunque ha sido en el caso de la primera configuración en el que se ha hecho un estudio más profundo. En todos los casos, se registra la potencia óptica

reflejada, la cual variará (tanto su espectro de absorción como su amplitud) cuando el sensor se exponga a los compuestos volátiles debido al cambio del índice de refracción y de color del material. La fibra empleada tiene un núcleo de 200 micras, y una cubierta con un diámetro de 230. Se ha escogido una fibra de estas dimensiones ya que proporciona mayor superficie donde depositar el compuesto vapocrómico, y por tanto, un mayor efecto de sensado.

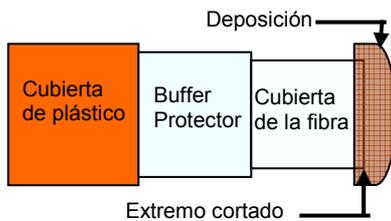


Fig. 8 Sensor en reflexión

En el caso de los sensores en reflexión, el compuesto vapocrómico se deposita en un extremo previamente cortado de la fibra. El fenómeno que produce la modulación puede regirse por la ley de Snell y la teoría que explica la incidencia de una onda electromagnética en un medio de distinto índice de refracción que en el que se propaga.

Para implementar los sensores híbridos en transmisión, se retira parte de la cubierta de la fibra, dejando el núcleo al descubierto, siendo esta zona donde se depositará el material. En el extremo de la fibra se coloca pintura de plata para lograr una reflexión total de la luz y un efecto de sensado doble. En este caso el cambio en la señal óptica se produce por la modificación del campo evanescente.

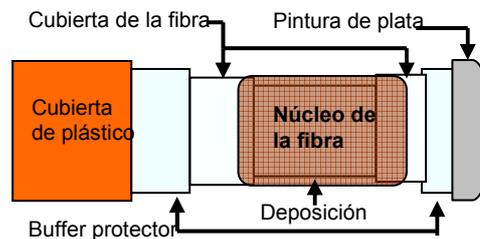


Fig. 9 Sensor híbrido en transmisión

Por último, la configuración híbrida es una mezcla de las anteriores: se retira la cubierta en una zona anterior al extremo de la fibra, y se deposita el material sensible en esta región y en la cubierta. El efecto de sensado es fruto a la combinación de los fenómenos anteriores.

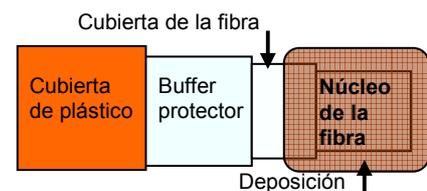


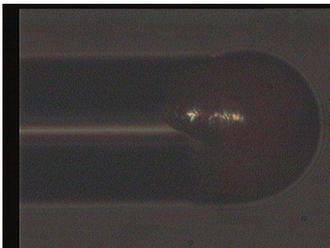
Fig. 10 Sensor híbrido puro

El material vapocrómico empleado es un compuesto órgano metálico, presentado en forma de polvos, por lo que se requiere un medio químico para poder depositarlo en la fibra óptica. Es deseable que este material tenga propiedades parecidas a las de la fibra óptica, de modo que el haz de luz penetre en él y se produzca la modulación. También es deseable que este material forme una matriz porosa que permita la adsorción del compuesto volátil, y de esta manera el cambio en la señal óptica. En trabajos previos se ha utilizado sol gel para depositar el compuesto vapocrómico, pero el proceso de curado es bastante complicado, por lo que en este trabajo se ha empleado un disolvente orgánico, el Si - Liquicoat®, comercializado por la casa Mercks, para lograr este cometido.



El compuesto vapocrómico se disuelve en el Si – Liquicoat® a una proporción de 1 mili gramo de producto por cada 10 micro litros de disolvente, de manera que se conserven las propiedades vapocrómicas del compuesto. La técnica de deposición varía en función del tipo de sensor:

- Sensor en reflexión e híbrido puro: se depositan 10 capas mediante dip – coating, a una velocidad de 40 centímetros por minuto. Entre cada capa se esperan 5 minutos para dejar que la deposición se solidifique.
- Sensor en transmisión híbrido e híbrido puro: ya que sólo se pretendía estudiar la respuesta de estas configuraciones, y no caracterizarla, se realizó una deposición manual, repartiendo una gota de mezcla a lo largo de la zona con el núcleo al descubierto.



El proceso de curado y almacenaje es bastante simple, ya que basta con mantener los sensores apartados de la luz solar, el polvo y los movimientos bruscos.

Fig. 11 Aspecto de un sensor de fibra óptica en reflexión

5.- MONTAJES EXPERIMENTALES

Los montajes con los que se han realizado las medidas fundamentalmente en reflexión. Para ello, se utiliza un acoplador en Y de 200 micras. Una de las ramas se conecta a la fuente de luz, la otra la foto detector (ya sea para medir la potencia o el espectro de absorción), y la tercera al sensor. De esta manera, la señal reflejada en el sensor se registra en la rama del foto detector. Con este sistema se han realizado medidas de la respuesta de distintos sensores ante compuestos orgánicos volátiles, así como un estudio sobre la influencia de la temperatura de la humedad y la temperatura en la respuesta del sensor.

Como fuente de luz se ha empleado un led a 850nm para las medidas en las que se registra el cambio en la potencia óptica reflejada, y una fuente de luz blanca para seguir la evolución del espectro de absorción. Se ha escogido un led como fuente excitadora porque se trabaja con una fibra multimodo, y un láser sufriría demasiadas interferencias debidas a reflexiones en los conectores.

Para el estudio de la respuesta ante compuestos volátiles, se han empleado dos cavidades distintas para exponer el sensor a los disolventes orgánicos: una celda de Petri, y una cámara de vacío. En ambos casos, el método seguido para realizar las medidas consiste en comenzar la toma de datos registrando la potencia reflejada previa a la exposición del sensor al compuesto volátil (creando así una línea de base), registrando la respuesta una vez que el sensor se expone a los vapores orgánicos.

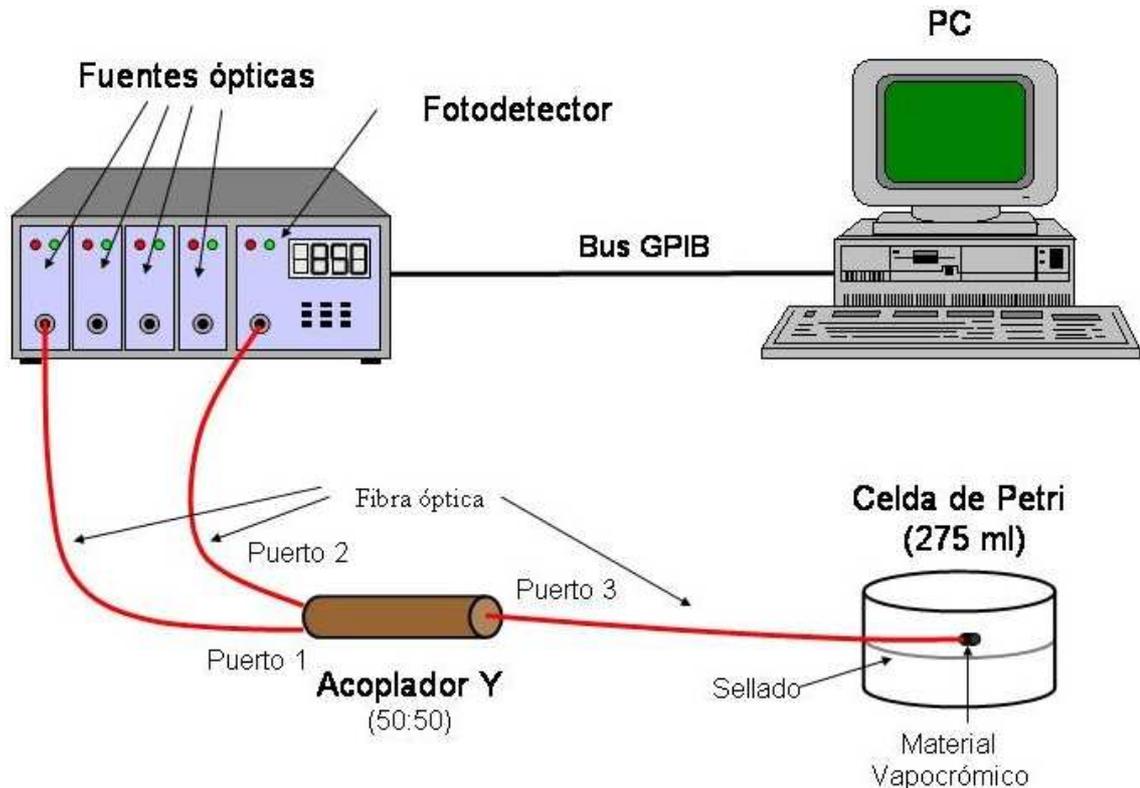


Fig.12 Esquema del montaje para realizar las medidas. Para las medidas de potencia, al puerto 1 se conecta un led a 850 nm y al puerto 2 un fotodetector. En las medidas del espectro, al puerto 1 se conecta una fuente de luz blanca, y al 2 se conecta un espectrómetro.

Por último, para estudiar la influencia de la humedad y la temperatura en la respuesta del sensor, se ha introducido este en una cámara climática, en la que se controla la temperatura y la humedad. El método de toma de datos es similar al empleado en las medidas anteriores.

6.- Compuestos orgánicos volátiles empleados

Los compuestos que se han utilizado para excitar los sensores de fibra óptica son:

- Metanol: este compuesto se obtiene de la destilación de maderas. Es un líquido volátil incoloro, con un olor ligeramente más dulce que el del etanol. Se emplea en la elaboración de componentes orgánicos sintéticos y para disolventes. Puede generar daños irreversibles como la ceguera o la muerte por ingestión, y también intoxicaciones tras una exposición a sus vapores.
- Etanol: alcohol bastante conocido y cotidiano. Forma parte de bebidas en las que se dan procesos de fermentación. Es un líquido incoloro, volátil, y con un olor característico. Se emplea en muchos productos cosméticos y sintéticos.



- Isopropanol: este alcohol de olor parecido al del acetona, está presente en muchos productos de limpieza. Es tóxico tras periodos largos de exposición, ya que es absorbido por el organismo.
- Ácido Acético: presente en como producto en procesos de fermentación, y usado para elaboración de productos sintéticos. Puede absorberse por inhalación y por ingestión. Resulta muy corrosivo para la piel, los ojos y el tracto respiratorio. Saber su concentración en procesos de fermentación como el del vino es determinante para saber la calidad del producto final.
- Heptano: producto proveniente principalmente de hidrocarburos del petróleo. Una exposición por encima de la concentración recomendada puede ocasionar narcolepsia, sensación de vértigo y mareos. Además, afecta nocivamente al medioambiente, pudiendo quedar almacenado en organismos marinos.
- Hexanal: este aldehído forma parte de los aromas de determinados frutos, como manzanas, melocotones o ciruelas, siendo un buen indicador del estado de madurez de los mismos. Dentro del campo industrial, se emplea para sintetizar distintos productos orgánicos. Su toxicidad en grandes dosis es muy elevada.
- N butil acetato: potente disolvente orgánico, con un olor característico más fuerte que el del acetona. Es elevadamente tóxico y muy nocivo para el medio ambiente. Se emplea principalmente para elaborar productos químicos, y está presente en pequeñas dosis en aromas naturales.

Se han escogido estos compuestos por estar presentes en los dos campos donde los sensores de fibra óptica tienen una aplicación potencial más interesante: dentro de la industria química para prevenir intoxicaciones, en la alimenticia, para evaluar la calidad de los productos de consumo y en vista a aplicaciones medio ambientales.

7.- RESULTADOS OBTENIDOS

Se ha caracterizado la respuesta de un mismo sensor en reflexión, en función de la respuesta del mismo cuando se expone a distintas concentraciones de los compuestos volátiles descritos anteriormente. Para ello se ha empleado la evolución de la potencia reflejada y de la repuesta espectral. En el caso de la potencia reflejada, se ha conseguido establecer una relación lineal entre la caída de potencia y la concentración del compuesto, en el caso de medidas donde la concentración del vapor está por debajo de la saturación de la cámara donde se realizan las medidas. Para el caso del ácido acético y del hexanal no ha sido posible realizar medidas por debajo del límite de saturación. En la figura 13 se muestran las rectas de calibración que se han podido estimar para cada compuesto. Esta relación lineal se establece entre la caída de potencia óptica reflejada relativa y la concentración en partes por millón del compuesto volátil. Se incluye la ecuación de las rectas, y el parámetro R^2 .

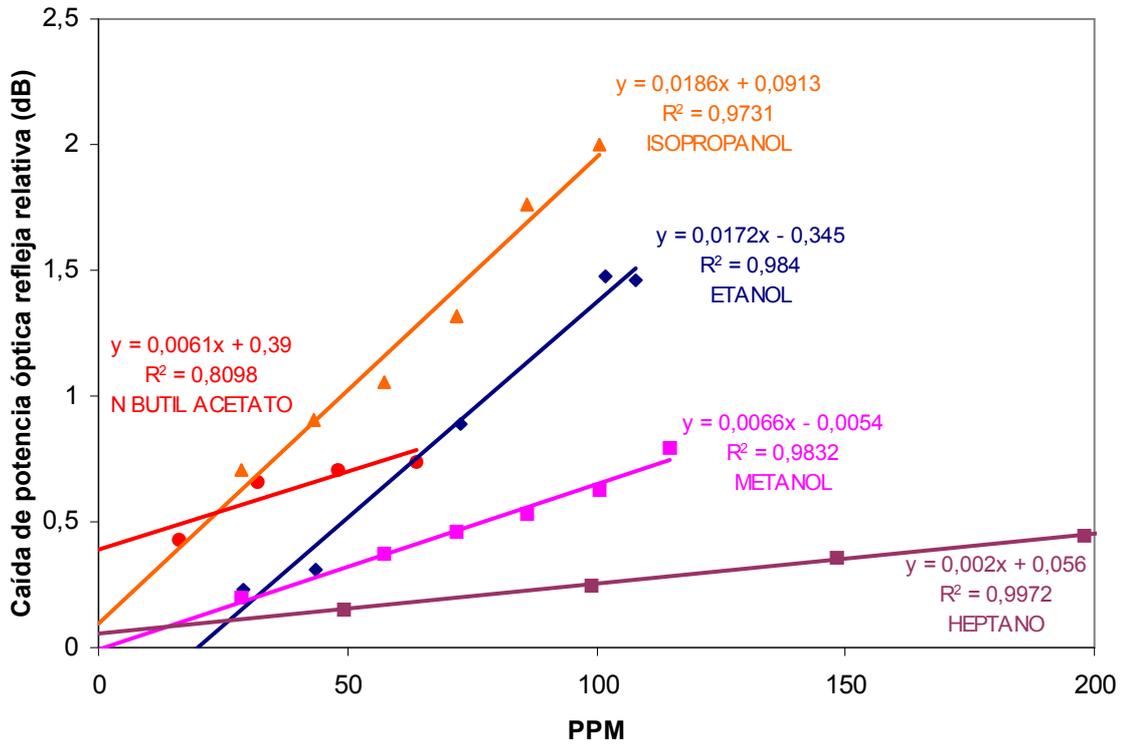


Fig. 13 Resultados obtenidos para las medidas no saturadas

También se han realizado medidas con la cámara de medida saturada (en el equilibrio no todo el disolvente se ha evaporado), en las cuales la relación se establece entre la pendiente de bajada de la potencia y la cantidad de líquido dentro de la celda. En la figura 14 se recogen las calibraciones obtenidas.

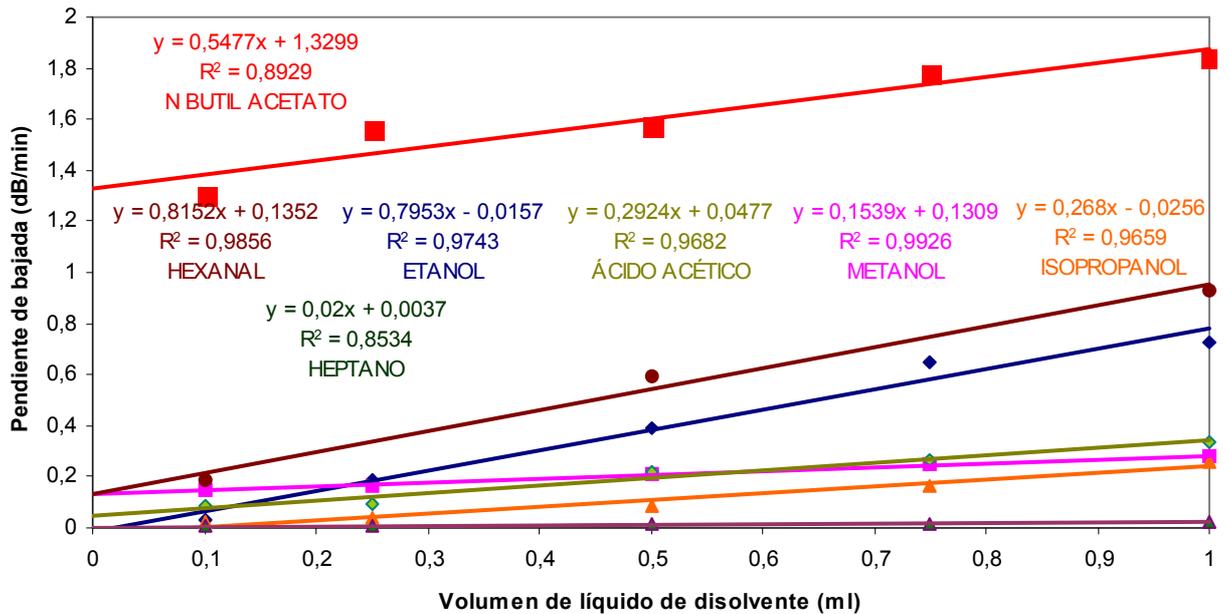


Fig. 14 Resultados obtenidos para las medidas saturadas



Para el caso del espectro de absorción, este adquiere una forma distinta en función del disolvente al que se expone el sensor.

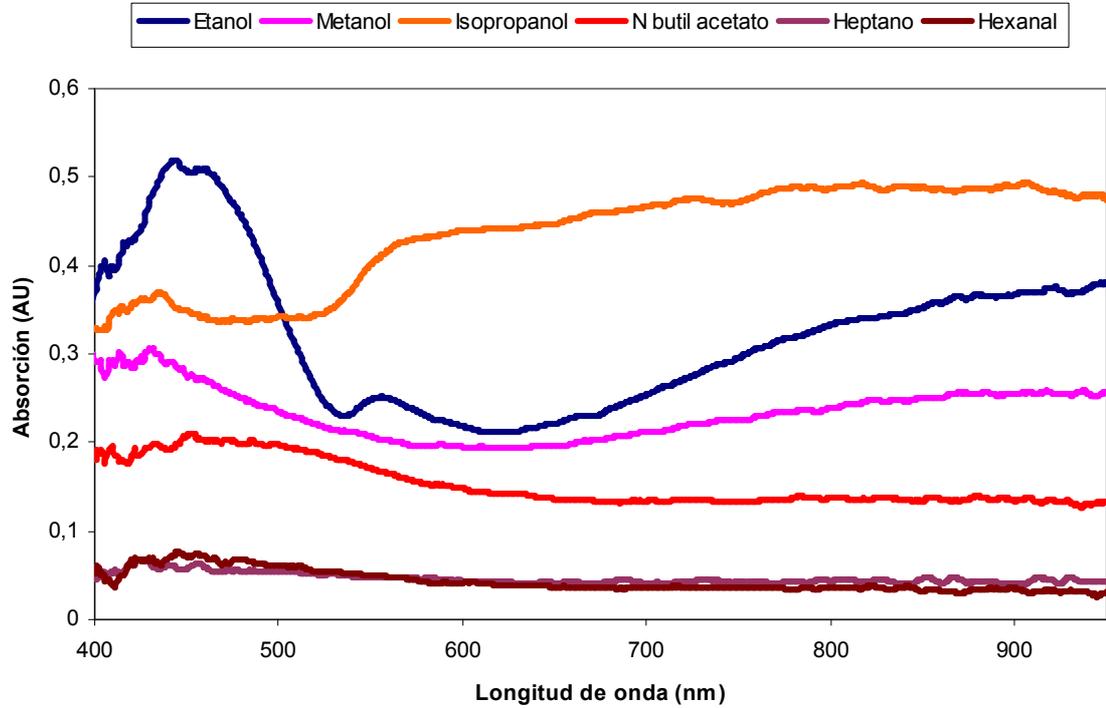


Fig. 15 Espectro de absorción para cada compuesto orgánico volátil

Por último, en la figura 16 se recoge la respuesta del sensor ante distintas condiciones de humedad y temperatura. Puede apreciarse como la potencia reflejada es independiente de las condiciones de medida, lo que hace que el sensor sea bastante versátil.

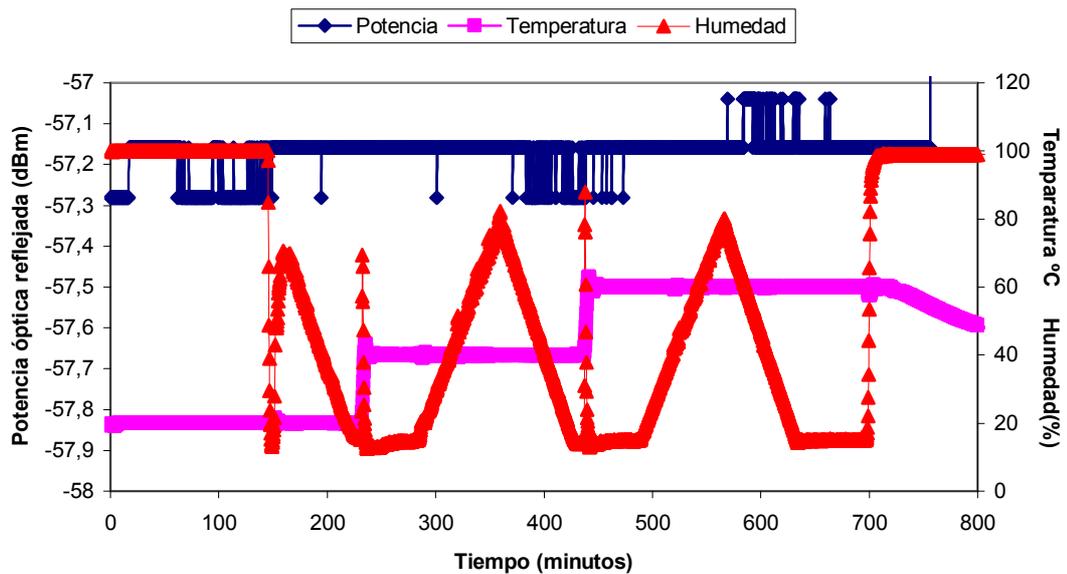


Fig. 16 Respuesta del sensor en distintas condiciones ambientales



También se han obtenido resultados para las dos otras configuraciones, pero no se ha hecho una caracterización tan detallada como en el caso de la configuración en reflexión. Los resultados obtenidos animan a realizar un estudio similar para el sensor híbrido en transmisión y para el híbrido puro.

8.- CONCLUSIONES FINALES

Los compuestos vapocrómicos empleados disueltos en Si – Liquicoat® permiten implementar sensores de fibra óptica para la detección de compuestos orgánicos volátiles. La caracterización que se ha podido hacer de un mismo dispositivo muestra que este tipo de sensores puede tener una aplicación muy interesante en los campos expuestos en la introducción.

Compuesto Orgánico Volátil	Aproximación lineal	R ²	L. D. (PPM)	L. C. (PPM)
Etanol	y (dB) = 0,0172 x(PPM) - 0,3450	0,9840	2,01	6,71
Metanol	y (dB) = 0,0066 x(PPM) - 0,0054	0,9832	3,83	12,77
Isopropanol	y (dB) = 0,0186 x(PPM) + 0,0914	0,9731	1,26	4,19
Ácido acético	N/D	N/D	N/D	N/D
Nbutil acetato	y (dB) = 0,0189 x(PPM) + 0,3900	0,8009	3,20	10,66
Heptano	y (dB) = 0,0020 x(PPM) + 0,056	0,9972	3,31	10,03
Hexanal	N/D	N/D	N/D	N/D

Tabla 1 – Resumen de los resultados obtenidos en las medidas sin saturar la celda

Se ha establecido una relación lineal entre la respuesta del sensor y la concentración del compuesto volátil (cuando se evapora por completo) o la cantidad de líquido presente (cuando no se evapora por completo). Estos resultados se resumen en las tablas 1 y 2. A partir de estas aproximaciones, se puede distinguir entre un compuesto y otro, apoyándose en parámetros como el cambio del espectro de absorción registrado. También se ha podido establecer el límite de detección (concentración a partir de la cual el sensor reacciona) y cuantificación (concentración a partir de la cual el sensor trabaja en la recta de calibrado) para cada compuesto volátil. La respuesta del sensor es rápida, teniendo como cota superior los 10 minutos del heptano, compuesto muy estable desde un punto de vista químico. Además, el rango dinámico también puede emplearse para distinguir entre las sustancias, ya que la disminución en la potencia óptica reflejada es distinta para cada compuesto (esto da una idea de la reactividad de la sustancia que se está detectando).



Compuesto Orgánico Volátil	Aproximación lineal	R ²	Rango dinámico (dB)	Tiempo de bajada (minutos)
Etanol	y (dB/min) = 0,7953 x(ml) - 0,0157	0,9743	1,89	2,35
Metanol	y (dB/min) = 0,1539 x(ml) + 0,1309	0,9926	1,91	4,85
Isopropanol	y (dB/min) = 0,268 x (ml) - 0,0256	0,9659	2,01	6,95
Ácido acético	y (dB/min) = 0,2924 x(ml) + 0,0477	0,9682	1,20	3,25
Nbutil acetato	y (dB/min) = 0,5477 x(ml) + 1,3299	0,8929	0,85	0,45
Heptano	y (dB/min) = 0,0200 x(ml) + 0,0037	0,8534	0,4	13,2
Hexanal	y (dB/min) = 0,8152 x(ml) + 0,1352	0,9856	0,68	0,65

Tabla 2 – Resumen de los resultados obtenidos en las medidas con la celda

9.- LÍNEAS FUTURAS

Los resultados obtenidos animan a seguir trabajando en la investigación de sensores de fibra óptica para esta determinada aplicación. El abanico de posibilidades que tiene este tipo de sensores es bastante amplio, y abarca tres ramas muy importantes para la sociedad: la prevención de riesgos laborales en la industria química, el control de calidad de los alimentos y el control de calidad del medio ambiente.

Gracias a la posibilidad de multiplexación de la tecnología óptica, y el reducido tamaño de la fibra, pueden implementarse matrices de sensores reducidas y más versátiles que las matrices de sensores electrónicas. A la hora de implementar sistemas que emulen la actividad humana, como sería una nariz opto electrónica para medir la calidad de determinados alimentos, estos sensores presentan características muy deseables, como son la respuesta lineal, reactividad ante distintos compuestos e independencia con la humedad y la temperatura.

La parte de procesado de señal en sensores de aromas está bastante avanzada, por lo que puede utilizarse para implementar dispositivos inteligentes cuya interfase con el medio exterior sean sensores de fibra óptica.

Con este trabajo queda demostrado que los sensores de fibra óptica son una alternativa muy atractiva a los sensores electrónicos. Esta posibilidad se ha utilizado en otras disciplinas dentro de las telecomunicaciones, y el resultado está siendo muy satisfactorio, lo que invita a unirse a esta corriente en vista de los óptimos resultados obtenidos.