

LOCALIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN CABLES “OF” MEDIANTE LA TÉCNICA FOTOACÚSTICA APLICADA A LA DETECCIÓN DE TRAZADORES

LOCATION OF LOSSES IN OIL FILLED CABLES BY MEANS OF THE PHOTOACOUSTIC TECHNIQUE APPLIED TO THE DETECTION OF TRACERS

Casas R.¹, Crivicich R.², Láttero A.², Villa G.², Contigiani J.C.², Carabajal L.², Noez D.², Zajarevich N.³, Slezak V.³, Peuriot A.³

1. EDENOR

2. UTN, Fac. Reg. Gral. Pacheco

3. Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP), Juan Bautista de La Salle 4397 (1603), Villa Martelli, Bs. As.
e-mail: vslezak@citefa.gov.ar, gustalv2003@yahoo.com.ar

Recibido 28/02/11, aceptado 02/09/11

El cable subterráneo OF (oil filled) tiene como aislación eléctrica una envoltura de papel, saturada en un aceite mineral, el Linear Alkil Benceno, de baja densidad y biodegradable. El centro del conductor es un pasaje para el fluido que se difunde a través del conductor a la aislación de papel, siendo una cubierta de plomo la que actúa como contención exterior. Un deterioro en la cubierta puede producir una pérdida de fluido aislante. Es importante su detección por las fugas eléctricas y del aceite, especialmente debido a que este cable de potencia es utilizado en ciudades. El método de trazadores químicos PFT (perfluorocarbon tracer), basado en la inyección y posterior detección de estas sustancias químicas volátiles en las cercanías del cable, es el método más prometedor utilizado hasta el momento en combinación con cromatografía gaseosa y espectrometría de masa. En este trabajo realizamos los primeros estudios sobre la posibilidad de aplicar la espectroscopía fotoacústica para la detección del hexafluoro-trifluorometil ciclobutano como PFT. Utilizamos un sistema resonante en base a láser de CO₂ sintonizable con detección sincrónica, una cámara acústica metálica con filtros de cuarto de onda en los extremos del resonador y un micrófono electrete en el centro, adosado a la pared. Calibramos el sistema para diferentes diluciones de este PFT en aire cromatográfico, preparadas en el laboratorio, y estudiamos el límite de detección del sistema.

Palabras clave: cable subterráneo, fotoacústica, láser de CO₂.

The underground OF (oil filled) cable has an electrical insulation paper, saturated in mineral oil (low-density and biodegradable Linear Alkil Benzene). The center of the conductor allows the passage of fluid that diffuses through the conductor to the insulation paper, and a lead sheath is used as the outer retaining wall. Deterioration of this cover may cause a loss of insulation fluid. It is important detecting it because of the electrical and oil leakage, since this power cable is used in cities. The method of PFT (perfluorocarbon tracer) chemical tracers, based on the injection and subsequent detection of these volatile chemicals substances in the vicinity of the cable, is the most promising method so far used in combination with gas chromatography and mass spectrometry. In this work we make the first studies on the applicability of photoacoustic spectroscopy for the detection of hexafluoro-trifluoromethyl cyclobutane as PFT. We used a resonant system based on a tunable CO₂ laser with synchronous detection, an acoustic metal chamber with quarter-wave filters at the ends of the resonator and an electrete microphone in the center, attached to the wall. We calibrated the system for different dilutions of this PFT in chromatographic air, prepared in the laboratory, and we studied the detection limit of the system.

Keywords: underground cable, photoacoustic, CO₂ laser.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de transmisión de electricidad utilizan una combinación de líneas eléctricas aéreas y cables subterráneos OF (oil filled)¹. Los cables subterráneos consisten de un conductor de cobre hueco, rodeado por un aislamiento eléctrico de papel impregnado en aceite. El fluido aislante circula por el centro del conductor y difunde a través del mismo a la aislación de papel. Una vaina de plomo actúa como contención del aceite. En la figura 1 se puede observar en detalle la composición del cable subterráneo. Un deterioro de esta cubierta de plomo puede producir una pérdida de fluido aislante.

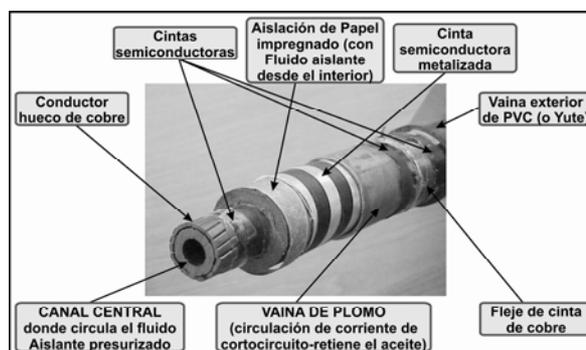


Figura 1: Cable subterráneo OF.

Es de suma importancia la detección y localización de pérdidas, debido a que este cable de potencia es utilizado en ciudades y es necesaria la perforación del suelo para su reparación. Uno de los métodos más prometedores utilizado hasta el momento consiste en el uso de trazadores químicos PFT (perfluorocarbon tracer). El método consiste en la inyección y posterior detección de estas sustancias químicas volátiles en las cercanías de una perforación de la cubierta del cable^{2,3}. Valores típicos en la proximidad de una zona de pérdida están alrededor de 1 a 100×10^{-15} partes. Un método ensayado en la ref. 3 consiste en utilizar un detector de captura electrónica con una trampa adsorbente, que concentra la sustancia. En este trabajo se estudia la posibilidad de aplicar la técnica fotoacústica (FA) a la detección de PFT y se estudia su límite de detección.

La técnica se basa en la generación de ondas acústicas a partir de absorción de radiación. El detector puede ser un micrófono o un diapason de cuarzo para captar la onda acústica, que se genera cuando parte de la energía es entregada en forma de calor. En la figura 2 se muestra un esquema de la teoría FA⁴, cuando la excitación se realiza mediante un láser modulado en amplitud.

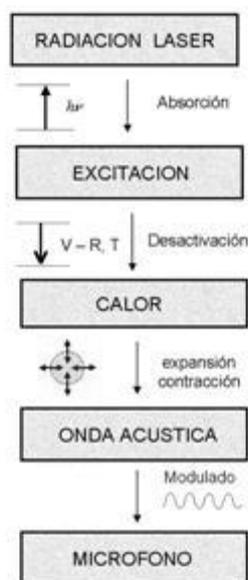


Figura 2: Efecto Fotoacústico.

La radiación absorbida por la sustancia a identificar, inmersa en una atmósfera de aire, da origen a un aumento de la temperatura debido a intercambios de energía mediante choques con el aire. Este aumento de la temperatura se traduce en una variación de la presión que se mide con un micrófono. La celda que contiene la muestra es atravesada por la radiación láser, a través de ventanas. Al incidir el haz en las mismas se genera un calentamiento local y dispersión, produciendo una señal de ruido de fondo sincrónico. El límite de detección es afectado mayormente por el mismo.

II. EXPERIMENTO Y RESULTADOS

Se realizó el estudio de la detección de trazas del PFT elegido (hexafluoro - bis(trifluorometil) - ciclobutano, Aldrich 95%, C_6F_{12}) con un sistema FA resonante en base

a láser de CO_2 . Para determinar la línea láser más adecuada para la medición se registró el espectro infrarrojo de una muestra de 1 Torr del PFT con un espectrómetro FTIR Perkin Elmer System 2000. En la figura 3 se muestra la sección eficaz de absorción resultante vs número de onda.

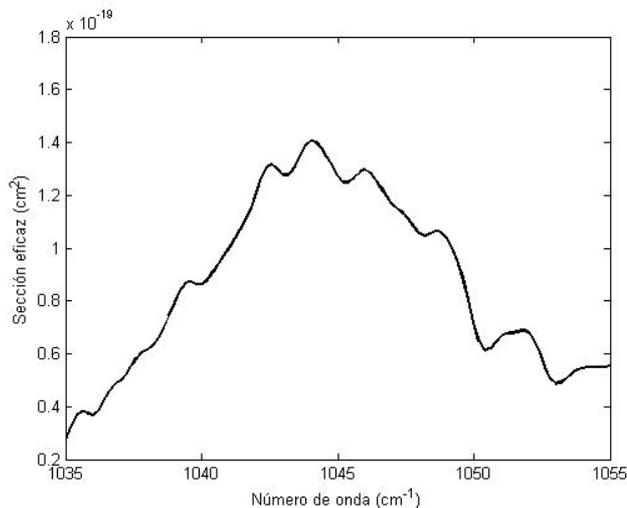


Figura 3: Espectro FTIR de C_6F_{12} .

En base al espectro obtenido, para la calibración del sistema se eligió la línea láser 9P(22) ($1045,02 \text{ cm}^{-1}$) ya que, si bien el máximo de absorción no coincide con esta línea, la disminución de la sección eficaz de absorción no es significativa, y el láser tiene mayor potencia.

El dispositivo experimental se basa en un láser continuo de CO_2 sintonizable en las bandas de 9 y $10 \mu\text{m}$ (5 W en 10P(20)). El haz modulado por un obturador mecánico (Thor Labs MC1000), pasa a través de una celda de aluminio (14 cm de longitud), con filtros de cuarto de longitud de onda acústica en los extremos del resonador (12 mm de diámetro) y un micrófono en el centro, adosado a la pared. Se realiza detección sincrónica con un sistema totalmente basado en una PC según un esquema que se ha publicado previamente⁵. La señal del micrófono, previamente amplificada por un amplificador de bajo ruido, y la señal de un detector piroeléctrico, que actúa de referencia, son enviadas respectivamente a los dos canales de la entrada de línea de una placa de sonido convencional de una PC. Para obtener mejor precisión se requiere aprovechar la máxima excursión de señal de la placa de sonido. Con este fin la ganancia del amplificador es controlada de acuerdo a la señal de micrófono por puerto serie (RS-232). La sintonía del láser se realiza en forma automática desde el puerto paralelo de la PC con un motor paso a paso, que produce una rotación controlada de la red de difracción⁶. Se pueden cometer errores en la determinación del máximo de la señal debido al cambio de temperatura ambiente, que ocasiona un corrimiento de la resonancia acústica. Para evitarlos, se promedia la señal para distintas frecuencias de modulación alrededor del máximo de la resonancia (pasos de 5 Hz alrededor de la resonancia en 2200 hz), lo cual también se realiza en forma automática, y luego se determina el máximo del perfil lorentziano de la resonancia acústica. En la figura 4 se muestra el esquema del sistema descrito.

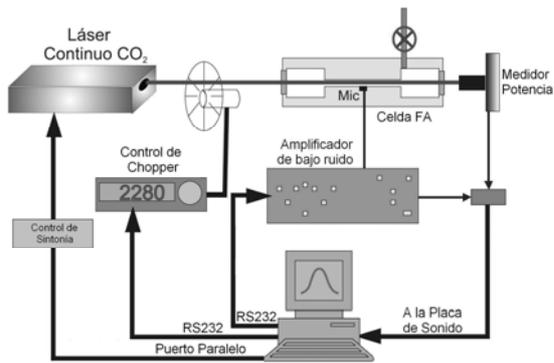


Figura 4: Arreglo Experimental.

La calibración del sistema se realizó registrando la señal acústica relativa a la potencia del láser para distintas mezclas de C_6F_{12} en aire cromatográfico (L'Air Liquide, 99.5 %). En la figura 5 se pueden observar las mediciones y el ajuste de una recta, que presenta un coeficiente de correlación de 0,997. La pendiente de la recta de calibración dio como resultado $5,57 \times 10^{-5}$ V/W/ppm.

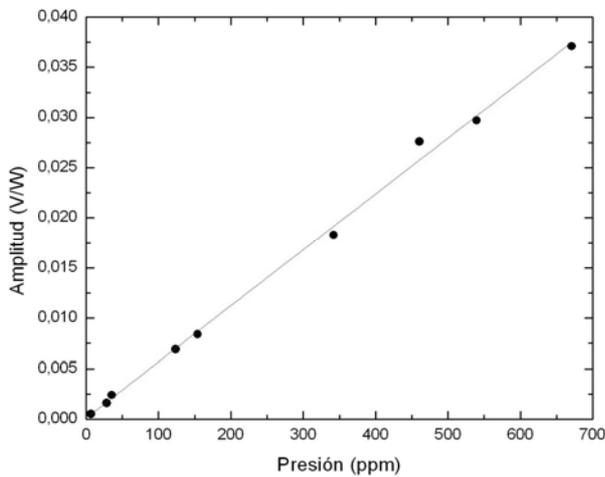


Figura 5: Recta de calibración en 9P(22) de C_6F_{12} en aire.

Un segundo estudio consistió en relevar el espectro FA del PFT en aire cromatográfico para comparar con el espectro de mediana resolución ($\sim 1 \text{ cm}^{-1}$) obtenido con el espectrómetro FTIR. Para ello se registró la señal acústica relativa a la potencia del láser para las líneas láser desde 9P(18) a 9P(28) promediando cinco mediciones en cada caso. Los resultados se resumen en la figura 6: se puede observar que con el ancho de línea del láser el espectro presenta una estructura fina, indicando que la línea láser para la cual hay mayor señal es la 9P(24). Dado que la constante del dispositivo, que es la pendiente de la recta de calibración, es proporcional a la sección eficaz de absorción⁴, se puede concluir que ésta sería 1,3 veces mayor que la correspondiente a la 9P(22), y por lo tanto sería más conveniente irradiar con la 9P(24) para obtener mayor sensibilidad.

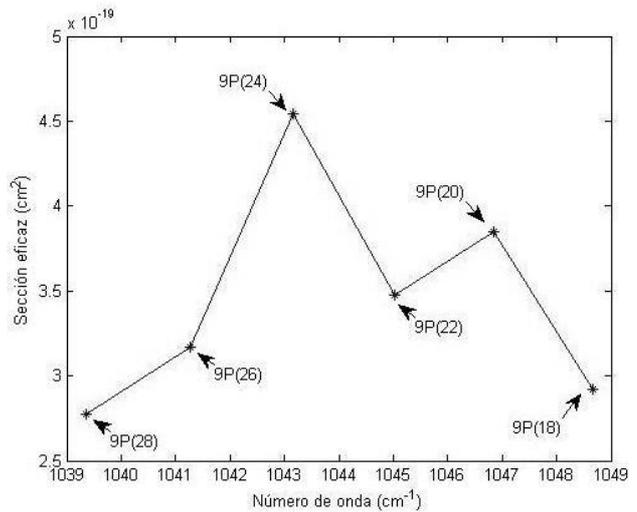


Figura 6: Espectro Fotoacústico de C_6F_{12} .

Calibrado el sistema se procedió a la determinación de la señal de fondo para luego calcular el límite de detección del sistema para el C_6F_{12} . Se hicieron 10 repeticiones de la medición de fondo y se calculó la desviación estándar (σ). El límite de detección para la línea 9P(24) se obtuvo determinando la concentración correspondiente a una amplitud de 3σ en la recta de calibración, que resulta de escalar la obtenida en la fig. 5 por el cociente entre las secciones eficaces para la 9P(24) y 9P(22). Este valor de amplitud se determinó en base a las mediciones que se muestran en la figura 7, donde se observan varios barridos del pico de resonancia para el fondo, y se indica el valor medio del máximo y su desviación estándar. El límite de detección obtenido en 9P(24) fue de 0,11 ppm.

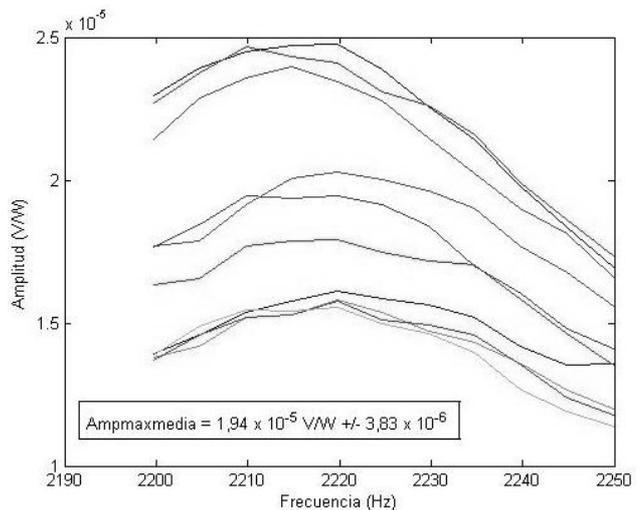


Figura 7: Fondo de aire a 1 Atm.

Para hacer gráfica la posibilidad de detección de trazas con este sistema, en la figura 8 se muestra la señal para aire sintético y para una concentración de 6,6 ppm de C_6F_{12} , pudiendo distinguirse claramente la diferencia entre las amplitudes respectivas.

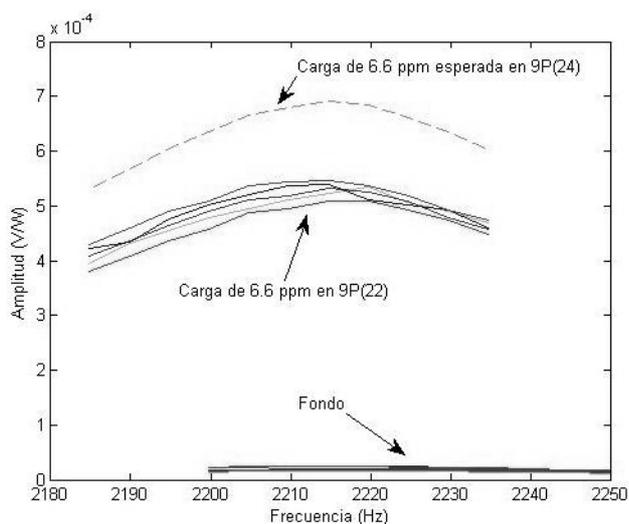


Figura 8: Mezcla de C_6F_{12} en aire a 1 atm y Fondo con aire sintético.

III. CONCLUSIONES

En este trabajo se pudo comprobar que la técnica FA es adecuada para la detección de trazas de C_6F_{12} . Para completar el estudio habría que analizar interferencias de la sustancia bajo estudio con otras sustancias existentes en el ambiente.

El límite de detección (0,11 ppm) podría mejorarse aumentando la potencia incidente en la celda haciendo la medición FA con una celda adentro de la cavidad láser. Además, analizando el espectro de absorción del C_6F_{12} , se puede observar que la sección eficaz de absorción es alrededor de diez veces mayor en la región de $7,9 \mu\text{m}$ que en el rango de emisión del láser de CO_2 . Por lo tanto se puede estimar que el límite de detección podría disminuirse aproximadamente diez veces si se midiera en esa región. Se concluye que para desarrollar un dispositivo compacto que permita detectar concentraciones de C_6F_{12} de hasta algunas ppb es apropiado el uso de un láser de cascada cuántica con emisión en la región de $8 \mu\text{m}$.

Los autores agradecen al Sr. J. Luque por su colaboración técnica. Este trabajo fue financiado parcialmente por EDENOR.

Referencias

- [1] S.J. Johnson, D.A. Barry, N. Christofi y D. Patel, Land Contamination & Reclamation **9** (3), 279-291 (2001).
- [2] R. N. Dietz y E. A. Cote, Environment Internacional **8**, 419-433 (1982).
- [3] R. Ghafurian, R. N. Dietz, T. Rodenbaugh, J. Domínguez, N. Tai, IEEE Transactions on Power Delivery **14**, 18-22 (1999).
- [4] A. Miklós, P. Hess y Z. Bozóki, Rev. Sci. Instrum. **72**, 1937-1955 (2001).
- [5] M. González, G. Santiago, V. Slezak, A. Peuriot, Rev. of Sci. Instrum. **78**, 055108 (2007).
- [6] A. J. Mitchell, M. G. González, G. D. Santiago, N. M. Zajarevich, F. González, A. L. Peuriot, V. B. Slezak, Anales AFA **20**, 23-27 (2008).