

## Diseño y modelación de un transductor tipo arreglo en versión MEM para aplicaciones médicas

Israel Sánchez Domínguez\*, Pedro Acevedo Contla  
 Universidad Nacional Autónoma de México, DISCA-IIMAS  
 Apdo. Postal 20-726 Admon. No. 20, 01000 México D.F., México  
 (Recibido: 24 de septiembre de 2009; Aceptado: 22 de febrero de 2010)

The miniaturization of Micro-Mechanics Systems or MEMS is a reality now days. In modern medicine, it is possible to find a wide spectrum of options for study and diagnostic through detection and measurement. In the medical area, specifically in the field of ultrasound, there has been a considerable technological development during the last years, thanks to the development of electronics, computing sciences and mainly to transducer technology. The present work describes the design of a transducer array based on MEMS technology, the simulation was made using the finite element method, this method allows to observe the array response, both in its frequency response and in its performance. The corresponding device is under construction; however, a model with larger dimensions was constructed in order to obtain measurements to have useful information about the performance of the simulated array. "In-vivo" tests will be carried forward, once the MEMS device with real dimensions is fabricated.

**Keywords:** MEMS; Finite element method (FEM); Transducer; Array

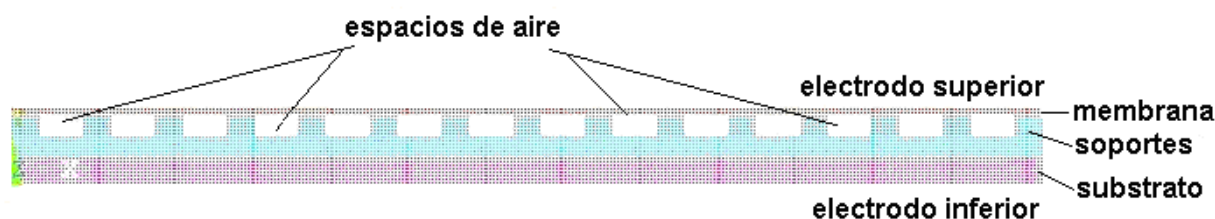
La miniaturización de sistemas micro mecánicos o MEMS ya es una realidad de nuestros días. En la medicina moderna se encuentra una amplia gama de opciones de estudio y diagnóstico a través de la detección y medición. En el área médica, específicamente en el campo del ultrasonido, ha habido un considerable desarrollo tecnológico durante los últimos años gracias al desarrollo de la electrónica, de la ciencia de la computación y principalmente de la tecnología de transductores. En el presente trabajo se muestra el diseño de un transductor tipo arreglo (array) basados en la tecnología MEM, simulado mediante elementos finitos, con este método se observa la respuesta del arreglo, tanto en su respuesta en frecuencia como en el desempeño del mismo. La construcción del MEM correspondiente está en proceso, sin embargo se construyó un modelo a mayor escala para poder realizar mediciones que nos proporcionaron información sobre el funcionamiento del arreglo simulado. La parte de prueba "in-vivo" se realizará una vez construido el MEM con dimensiones reales.

**Palabras clave:** MEM, Método de los elementos finitos (MEF); Transductor; Arreglo

### 1. Introducción

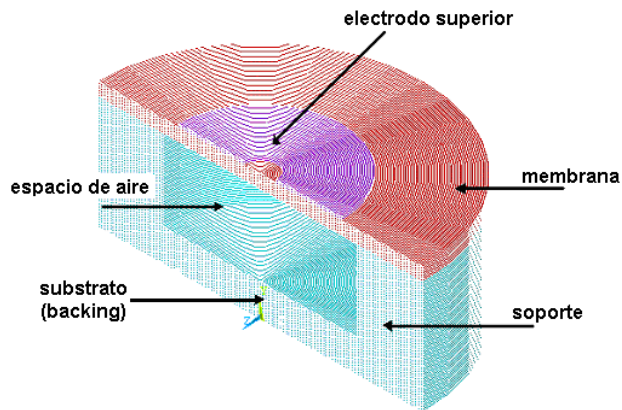
Los avances en el campo de los semiconductores están dando lugar a circuitos integrados con características tridimensionales e incluso con piezas móviles. La tecnología MEMS puede aplicarse utilizando un sin número de diferentes materiales y técnicas de fabricación; la elección dependerá del tipo de dispositivo que se está desarrollando y el sector comercial en el que tiene que operar. Las técnicas básicas para la producción de MEMS se basan en la deposición de capas de silicio, posteriormente a partir del patrón generado por fotolitografía se generan las formas finales del MEM [1],

[2]. Las investigaciones en MEMS utilizan diversas herramientas de software de ingeniería para llevar un diseño desde el concepto a la simulación, prototipo y ensayos. El análisis por el método de los elementos finitos (FEM) es importante en el diseño de los MEMS. Este método [3], se basa en el cálculo utilizado en diversos problemas de ingeniería, el cual considera al cuerpo o estructura dividido en elementos discretos, con determinadas condiciones de vínculo entre sí, generándose un sistema de ecuaciones que se resuelve numéricamente y proporciona el estado de tensiones y deformaciones. El método es muy poderoso debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en

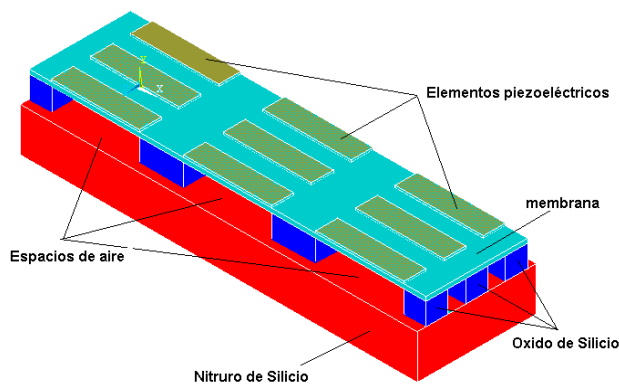


**Figura 1.** Diagrama del arreglo simulado en ANSYS.

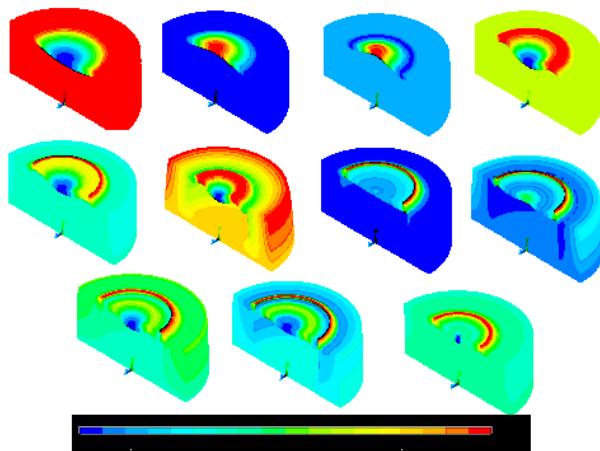
\*israel@uxdea4.iimas.unam.mx



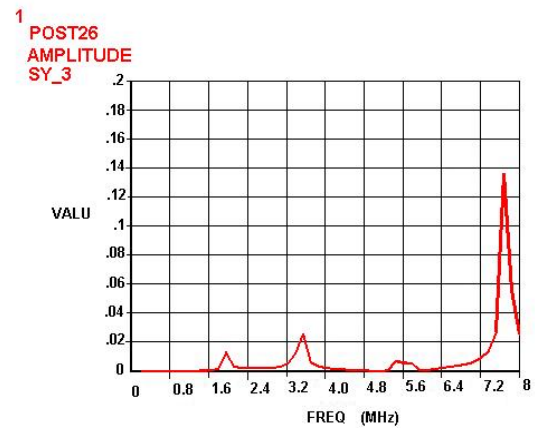
**Figura 2.** Fragmento del arreglo simulado con ANSYS, se presentan las partes que lo componen, las dimensiones corresponden a las dadas en la Tabla No. 1.



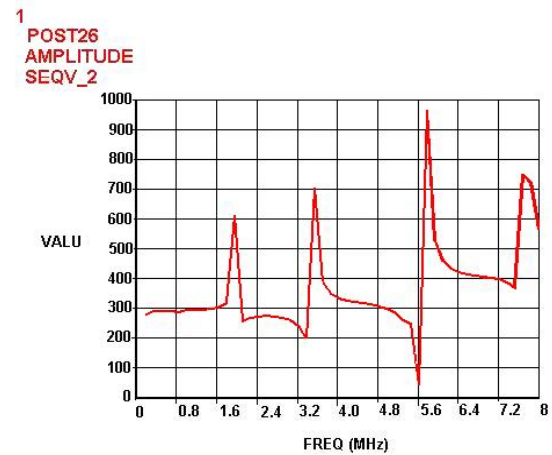
**Figura 3.** Diagrama del transductor construido de manera sobredimensionada en relación al MEM.



**Figura 4.** Representación de las diferentes etapas de reflexión del MEM, cuando se le aplica un voltaje, mostrando el mínimo y la máxima reflexión.

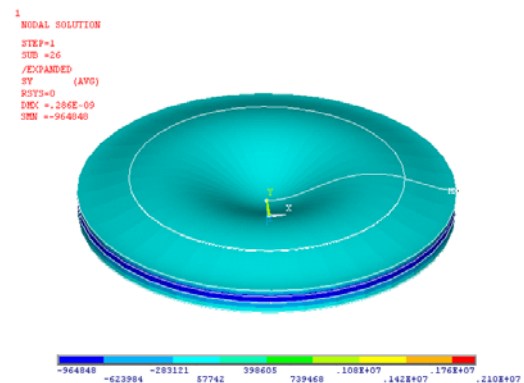


a)



b)

**Figura 5.** Respuesta del análisis efectuado con ANSYS del MEM simulado de manera parcial, a) Frecuencia, b) impedancia.



**Figura 6.** Simulación en ANSYS del MEM simulado.

dos o tres dimensiones). Es muy utilizado en el cálculo de deformaciones (mecánica del continuo), campos de velocidades, presiones (dinámica de fluido CFD) y transferencia de calor. Varios de estos problemas no tienen solución analítica o es muy difícil obtenerla, por lo que se convierte en la única alternativa de solución. El presente trabajo muestra el diseño de un arreglo circular en el cual cada transductor del arreglo (array) presenta electrodos, colocados en la parte inferior y superior del transductor.

Dentro de la simulación se colocó un sustrato de Nitrato de Silicio sobre el soporte de Oxido de Silicio. Finalmente se conectó una membrana de Silicio [4], como se muestra en la Figura 1.

## 2. Metodología y materiales

Se realizaron las simulaciones en ANSYS (programa para trabajar con el FEM), estas simulaciones presentan las características de diseño ideales, donde se pretende obtener una óptima respuesta del transductor. Esta simulación se realizó parcialmente desarrollando una fracción del arreglo, para facilitar la simulación y el tiempo de cómputo, cabe destacar que ANSYS, permite seccionar la estructura a ser estudiada para poder mejorar en desempeño y aumentar la velocidad en el proceso.

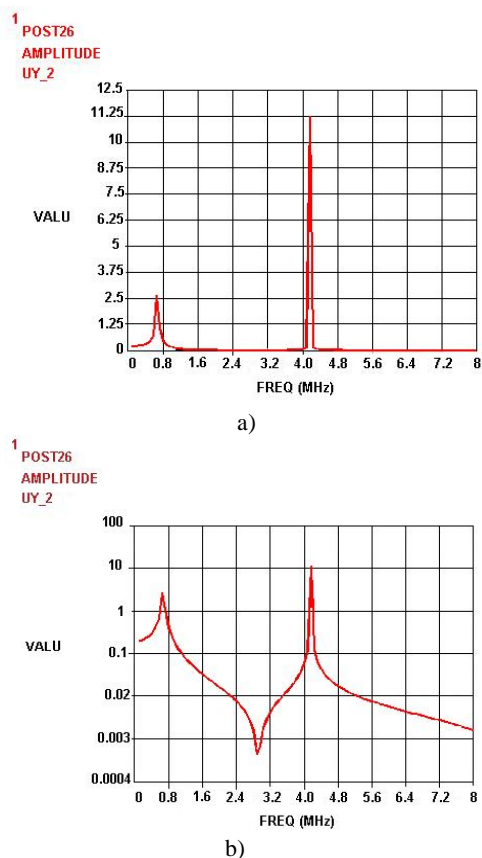
Las dimensiones utilizadas se muestran en la Tabla no.1 en ella se hace mención de cada una de las dimensiones de las componentes del arreglo [5], [6]. En la Figura 2 se muestra esa partición, donde se aprecian los elementos y la forma en la que ANSYS trabaja, esquematizando el elemento.

Se construyó un transductor, basado en los resultados obtenidos en la simulación, en éste se realizaron mediciones con un medidor de impedancias para determinar el comportamiento del transductor y comparar los resultados con los obtenidos en ANSYS. Este elemento fue construido sobredimensionado y de forma rectangular para poder realizar los cortes y poder manipular el elemento de una mejor manera. Cabe mencionar que la construcción del transductor sobredimensionado tuvo que ser rectangular, motivo por el cual se realizó una simulación con un arreglo rectangular de nueve elementos.

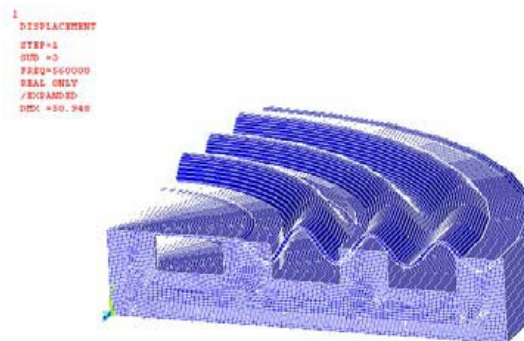
La construcción mantiene en esencia las mismas componentes que el MEM simulado con anterioridad, con la diferencia que el electrodo inferior no se encuentra en la parte inferior del transductor, sino encima del sustrato (material de retaguardia ó backing), y en lugar de utilizar Nitrato de Silicio, Oxido de Silicio y Aluminio, fueron empleados una película fina de polietileno con un material conductor, así como un sistema de pegado más simple y una base de metal, con lo cual se garantizó la presencia de un material uniforme como electrodo inferior [7]. La comprobación del presente prototipo sobredimensionado del arreglo se realizó llevando a cabo mediciones en el analizador de impedancias, aplicando un voltaje al arreglo y midiendo su funcionamiento, también se procedió a realizar una medición con el interferómetro para conocer los grados de vibración del mismo.

## 3. Resultados

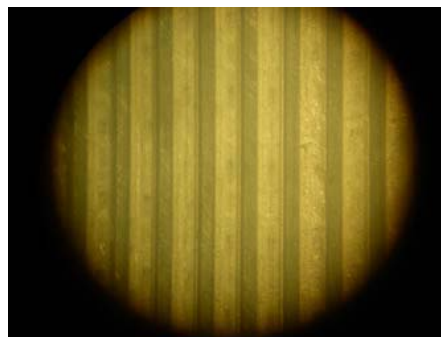
Primeramente son presentados los resultados obtenidos al simular la parte del MEM para obtener un mejor análisis del mismo. Posteriormente se presentan los resultados obtenidos con el modelo, y finalmente los resultados experimentales obtenidos con el transductor sobredimensionado.



**Figura 7.** Respuesta del análisis efectuado con ANSYS del MEM simulado, a) de la frecuencia, b) la impedancia.



**Figura 8.** Fragmento de MEM simulado con ANSYS, se aprecia su funcionamiento (oscilación).



**Figura 9.** Vista desde un microscopio del MEM construido, en el que se aprecian los cortes y los soportes donde serán pegados los electrodos.

**Tabla 1.** Elementos y dimensiones del arreglo simulado.

Elementos del arreglo.	Dimensiones
	$\mu\text{m}$
Longitud del electrodo inferior	25 $\phi$
Ancho del electrodo inferior	0.2
Longitud del sustrato	25
Ancho del sustrato	1.5
Longitud de la espacio de aire	24 $\phi$
Ancho de la espacio de aire	1
Longitud del soporte	1
Ancho del soporte	1
Longitud de la membrana	25 $\phi$
Ancho de la membrana	1
Longitud del electrodo superior	18 $\phi$
Ancho del electrodo superior	0.2

### 3.1. Simulación parcial del MEM

En la Figura 4 se presenta como funciona el transductor cuando se le aplica voltaje, la secuencia muestra las diferentes etapas de reflexión del electrodo superior del MEM funcionando, desde un estado inicial hasta alcanzar la mínima e máxima reflexión.

### 3.2. Simulación del MEM

En esta sección se muestra el resultado del MEM, en ella se puede apreciar su comportamiento cuando se le excita con un voltaje de 80volts. La Figura 6 muestra el elemento completo.

También para el MEM completo se realizó la obtención de su frecuencia y su impedancia, la Figura 7 muestra estas respuestas, observándose en forma mas clara los valores, que en el caso de la simulación de solo una parte del MEM. La Figura 8, muestra la forma de funcionamiento de un fragmento del MEM, en donde se aprecia como sería la oscilación del transductor al ser excitado.

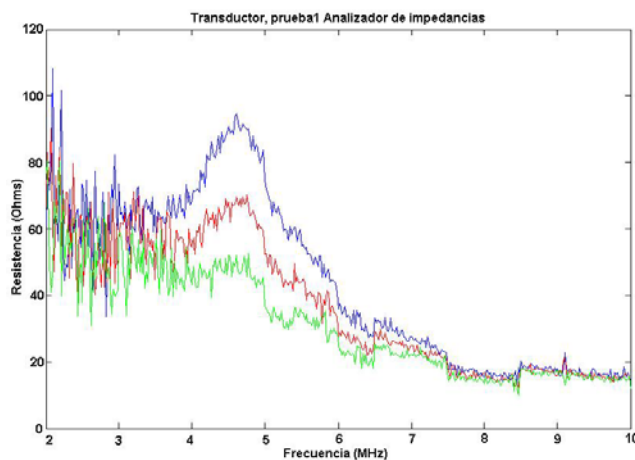
Por último se presentan los resultados obtenidos al construir un MEM sobredimensionado. La Figura 9 muestra los cortes realizados, vistos a través de un microscopio. La Figura 10 muestra las curvas obtenidas cuando se le aplicó diferentes valores de excitación. El equipo utilizado para realizar las mediciones es un analizador de impedancias de Hewlett Parckard (Impedance/Gain-phase analyzer, mod. 4194A).

De la Figura 10 se observa el cambio de la impedancia del transductor. La línea en color azul muestra la variación en la intensidad de voltaje cuando es máximo este valor. La línea roja, indica la impedancia obtenida cuando se ha disminuido la intensidad de voltaje de 40 voltios a 30 voltios. La línea verde muestra como la impedancia tiene un valor menor debido a que la intensidad de voltaje aplicado al sistema es de solo 20 voltios.

Cabe mencionar que las pruebas de aplicación médica no fueron llevadas a cabo, por no contar con el MEM en su tamaño real, sin embargo fueron hechas mediciones con el MEM sobredimensionado, con el cual se obtuvo una respuesta con un % de atenuación. Consideramos que esta atenuación se debe básicamente al espesor de la película utilizada en la construcción del MEM sobredimensionado.

## 4. Conclusiones

Se realizaron simulaciones con ANSYS para obtener las características principales del funcionamiento del MEM, como lo son su frecuencia natural de oscilación, tensión, etc. Se construyó un MEM artesanal con dimensiones sumamente mayores a las ideales para un transductor de este tipo, con la finalidad de estudiar de manera más simple los elementos mecánicos del MEM, y poder realizar un mejor diseño y construcción de un modelo con las dimensiones deseadas.



**Figura 10.** Grafica de la impedancia en relación al voltaje aplicado al MEM construido.

Se observó que existen algunos errores en la construcción del MEM sobredimensionado, actualmente se está trabajando en la búsqueda de los elementos idóneos para la construcción de uno nuevo.

El estudio matemático de nuevos modelos nos permitirá obtener un mejor diseño para determinar de manera más eficiente el desempeño del transductor. El trabajo conjunto entre diferentes instituciones de la UNAM será importante para la futura construcción de un MEM con dimensiones reales (orden de micras), siendo en el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas donde se lleve a cabo el diseño de este dispositivo.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la DGAPA-UNAM (PAPIIT IN-109207).

### Referencias

- [1] <http://www.memsnet.org/mems/what-is.html>
- [2] ManagerAlbert P. Pisano, Ph. D.MEMS Program Microsystems Technology Office Defense Advanced Research Projects Agency.  
<http://www.darpa.mil/MTO/MEMS/>
- [3] Y. Roh and B. T. Khuri-Yakub. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, **49** 293 (2002).
- [4] A. Cowen, B. Dudley, E. Hill, M. Walters, R. Wood, S. Johnson, H. Wynands and B. Hardy. MetalMUMPs Design Handbook, aMUMPs process, 2000.
- [5] Xuecheng Jin, Igal Ladabaum, F. Levent Degertekin, Sam Calmes, and Butrus T. Khuri-yakub. Journal of Microelectromechanical systems, **8**, 100 (1999).
- [6] Xuecheng Jin, O. Oralkan, F. Levent Degertekin, and Butrus T. Khuri-yakub. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, **48**, 750 (2001).
- [7] J. M. Bustillo, R. T. Howe, and R. S. Muller. Proceedings of the IEEE, **86**, 1552 (1998).