

## Simulación y caracterización de un transductor ultrasónico utilizando Rexolite como acoplamiento acústico

Sánchez Domínguez Israel \*, Acevedo Contla Pedro, Contreras Juan Antonio  
 UNAM - Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas  
 Circuito Escolar s/n Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Del. Coyoacan, México DF.  
 (Recibido: 12 de septiembre de 2010; Aceptado: 29 de abril de 2011)

Este artículo describe la simulación y caracterización de un transductor ultrasónico, empleando un nuevo material para ser utilizado como elemento de acoplamiento (matching). Este transductor fue simulado usando una cerámica piezoeléctrica comercial PIC255 a 8MHz, y el material que fue empleado como elemento de acoplamiento (matching) fue Rexolite, el cual presenta un excelente acoplamiento acústico. Las simulaciones realizadas con un software de elementos finitos, demostró el buen funcionamiento del transductor al contar con el Rexolite como elemento de acoplamiento. Permitiendo considerar al Rexolite como un material idóneo para trabajar y conseguir resultados óptimos, gracias a su maleabilidad y propiedades acústicas.

**Palabras claves:** Transductor ultrasónico; Rexolite; Simulación; Elementos finitos

This article describes the simulation and characterization of an ultrasonic transducer using a new material to be used as coupling (matching). This transducer was simulated using a commercial piezoelectric ceramic PIC255 at 8MHz, and the material that was used as matching was Rexolite, which features excellent acoustic coupling. The results obtained with finite element method software, demonstrated the proper functioning of the transducer to have the Rexolite as coupling. Rexolite consider allowing a suitable material to work and get results, because of its malleability and acoustic properties.

**Keywords:** Ultrasonic transducer; Rexolite; Simulation; Finite elements

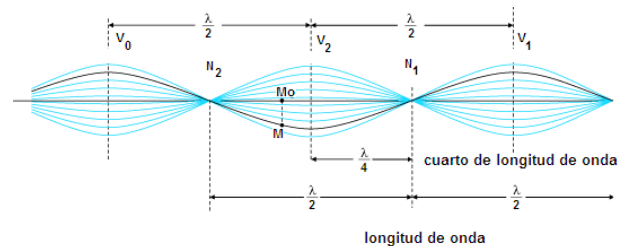
### 1. Introducción

En el diseño y construcción de un transductor es primordial garantizar el mejor desempeño posible, por eso es necesario considerar que todos los materiales que se utilizan posean las características ideales. Una parte importante a considerar es el acoplamiento entre el dispositivo y el elemento bajo estudio, en esta parte el material seleccionado como acoplamiento (matching) debe de poseer propiedades acústicas lo más similar posible a dicho elemento, ya que si el material utilizado no ofrece un buen acoplamiento, la señal entregada por el transductor puede verse atenuada y afectar las mediciones que se realizan con él. El acoplamiento de la energía entre el dispositivo ultrasónico y algunos medios de transmisión (por ejemplo, sangre en los vasos o el agua) se maximiza cuando el medio y el transductor tienen la misma impedancia acústica [1], [2].

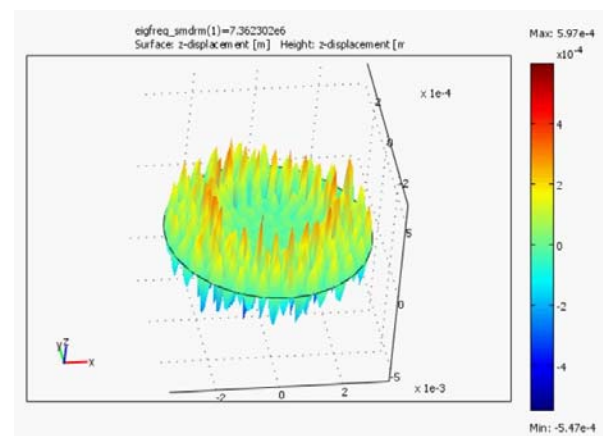
Una capa de acoplamiento (matching) es una capa pasiva, que se fija a la cara frontal de un transductor ultrasónico con el fin de mejorar el acoplamiento de la energía desde y hacia el medio de transmisión.

En virtud de las condiciones de banda estrecha, el acoplamiento se maximiza cuando el espesor de la capa correspondiente es igual a un cuarto de la longitud de onda (o un múltiplo de un cuarto de longitud de onda) de la energía que se transmite, como se muestra en figura 1, [3], [4].

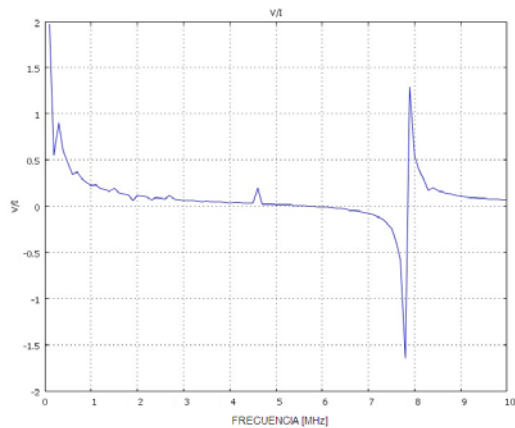
La investigación en el área de materiales ha ido avanzando hasta conseguir materiales, que para ciertas



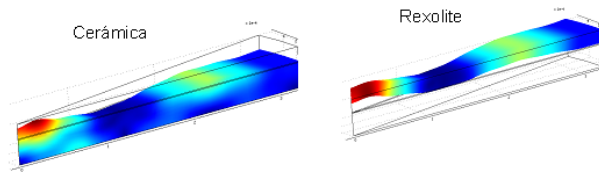
**Figura 1.** Concepto de un cuarto de longitud de onda.



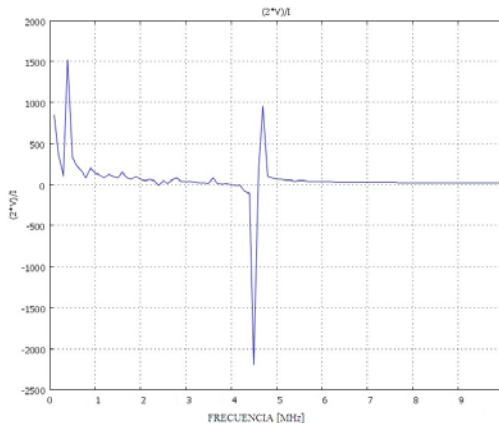
**Figura 2.** Simulación de la cerámica piezoeléctrica, mediante el método de los elementos finitos.



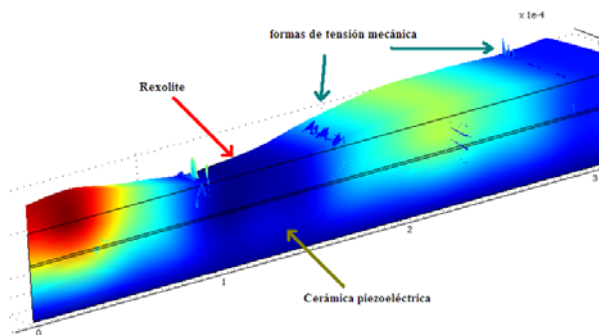
**Figura 3.** Impedancia de la cerámica piezoeléctrica al ser simulada.



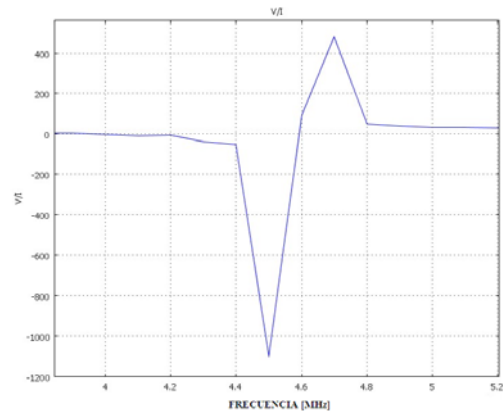
**Figura 4.** Resultado de la simulación cuando se tiene Rexolite sobre la cerámica piezoeléctrica, utilizando el método de los elementos finitos. En la figura se aprecia como oscila cada uno de los componentes y como se acoplan.



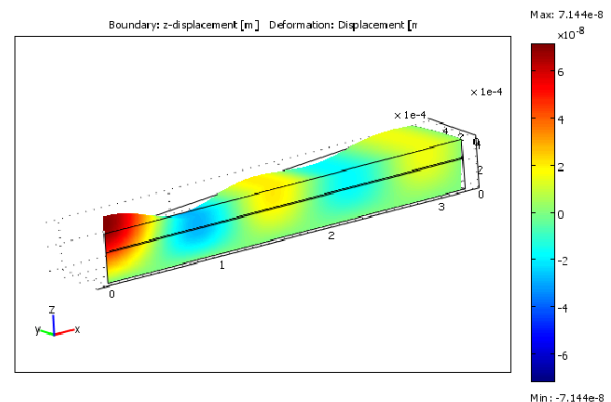
**Figura 5.** Como se observa la frecuencia obtenida con la simulación muestra un desplazamiento de casi el 50% en la frecuencia, el valor obtenido es de 4.750MHz, debido básicamente al espesor que se emplea para la capa de Rexolite.



**Figura 6.** Forma de oscilación de la cerámica con el Rexolite, mostrando la forma en que vibran en conjunto.



**Figura 7.** Respuesta en frecuencia de la simulación con la cerámica piezoeléctrica y el Rexolite, la excitación es hecha en la cerámica.



**Figura 8.** Máximo desplazamiento obtenido de la simulación con la cerámica piezoeléctrica y el Rexolite, la excitación es hecha en la cerámica. Se aprecia que existe un desplazamiento menor a diferencia de cuando esta la cerámica sola.

aplicaciones (por ejemplo en la medicina) se consiga una respuesta acústica muy similar a la del agua, medio que sirve perfectamente para la propagación del ultrasonido generado por un transductor.

El interés en el presente trabajo es mostrar que utilizando un material nuevo en este tipo de aplicación, el cual posee propiedades acústicas muy similares a la del agua, se puede ayudar a obtener un mejor desempeño. Pues permitirá un mejor acoplamiento entre el transductor y el medio de estudio, en este caso tejido humano [1], [3], [5] el material que cumpla esas propiedades es el Rexolite. Para lo cual se realizaron simulaciones mediante el método de los elementos finitos, para determinar el comportamiento del Rexolite cuando este era utilizado en un transductor. Las propiedades físicas del Rexolite se encuentran en la siguiente referencia [6].

La relación entre el elemento piezoeléctrico (PZT) y el Rexolite no ha sido estudiada, por lo menos en la literatura consultada, razón por la cual es presentada como una nueva tendencia en la construcción de un transductor.

## 2. Metodología y materiales

El procedimiento para realizar el estudio del transductor, se llevó a cabo realizando la simulación de cada uno de los elementos que lo conforman. Todo el trabajo fue desarrollado bajo el método de los elementos finitos, obteniendo las respuestas para esta simulación [5]. La cerámica piezoeléctrica que fue utilizada es la PIC 255 a 8MHz [7], en la tabla No.1 se presentan las propiedades físicas de esta cerámica.

## 3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos al simular la cerámica piezoeléctrica en COMSOL [8], [9], [10], así como con la presencia del Rexolite, en la figura 2, se muestra la simulación de la cerámica oscilando en su frecuencia natural (8MHz). En la figura 3 se muestra la gráfica de la impedancia de la cerámica obtenida mediante la simulación. En ella se observa que el valor obtenido en la simulación corresponde al valor de oscilación natural de la cerámica piezoeléctrica.

Como se aprecia en la figura 3, la frecuencia obtenida con la simulación, muestra que corresponde a la de la cerámica, con esto demostramos que la simulación fue correcta, ahora procediendo con el trabajo de simulación se adiciona a la cerámica una fina película de Rexolite, lo cual permitirá conocer el funcionamiento del material en el desempeño del transductor, cuando se unen la cerámica piezoeléctrica y el Rexolite.

En la figura 4 se muestra la simulación con el Rexolite y la cerámica piezoeléctrica, se considera un pedazo de la circunferencia total debido al procesamiento que se precisa para trabajar con toda la circunferencia.

La figura 5 nos muestra la curva de la impedancia, donde se aprecia que existe un desplazamiento en frecuencia, eso se puede deber al grosor que fue empleado en la capa de Rexolite, sin embargo estudios con el Rexolite [3] muestran que el grueso del material no debería de influir en el acoplamiento acústico, pues la respuesta es muy similar con un espesor fino o uno mayor, sin embargo si existe un desplazamiento en frecuencia. Entre más fino más próximo a la frecuencia deseada.

En la siguiente figura se presenta la simulación mostrando el Rexolite con la cerámica, oscilando, se aprecia la forma de oscilación de ambos, así como los componentes de tensión mecánica que se forma en el Rexolite cuando vibra la cerámica, es importante mencionar que la transferencia de energía se realiza de la cerámica hacia el Rexolite, aunque exista un buen acoplamiento, la resistencia del Rexolite va a provocar una cierta tensión mecánica, ya que la frecuencia natural de la cerámica no corresponde a la del material.

La forma en que responde la cerámica con una placa de Rexolite colocado sobre ella, nos muestra que existirá una variación en la frecuencia como se aprecia en la figura 7, en la figura 8 se muestra el máximo desplazamiento que se

**Tabla 1.** Propiedades de la cerámica piezoeléctrica PIC255

Propiedades físicas y dieléctricas		
Densidad	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	7.80
Temperatura de Curie	$T_C$ (°C)	250
Permitividad, dirección de la polarización	$\epsilon_{33}$ T/ $\epsilon_0$	2400
Perpendicular a la polaridad	$\epsilon_{11}$ T/ $\epsilon_0$	1980
Factor de pérdidas Dieléctricas	$\tan \delta$ (10 <sup>-3</sup> )	20
Propiedades Electromecánicas		
Factores de Acoplamiento	$\kappa_p$	0.62
	$\kappa_t$	0.53
	$K_{31}$	0.38
	$K_{33}$	0.69
	$K_{15}$	
Constantes Piezoeléctricas de carga	$d_{31}$ (10 <sup>-12</sup> C/N)	-210
	$d_{33}$ (10 <sup>-12</sup> C/N)	500
	$d_{15}$ (10 <sup>-12</sup> C/N)	
Constantes Piezoeléctricas de voltaje	$g_{31}$ (10 <sup>-3</sup> Vm/N)	-11.5
	$g_{33}$ (10 <sup>-3</sup> Vm/N)	22

obtiene al trabajar con el Rexolite, según los valores el desplazamiento máximo indicará cual fuerte es la oscilación resultante cuando se tiene un material colocado sobre la cerámica, como se observa en la figura la deformación permite que haya una frecuencia de vibración pero no es la misma que se tiene cuando la cerámica esta sola. Eso nos indica que habrá que estudiar el espesor del Rexolite para garantizar una frecuencia de vibración que sirva para las aplicaciones médicas que son de interés. Ya que el fenómeno de acoplamiento acústico esta garantizado, pues en estudios aparte se ha demostrado que el espesor en el Rexolite no afecta a su respuesta acústica [3].

## 4. Conclusiones

Las simulaciones nos permitieron determinar el desempeño de la cerámica así como de la cerámica con el Rexolite, demostrando que existe un desplazamiento en la frecuencia de vibración cuando se tiene una capa de Rexolite, esto es debido básicamente al espesor del Rexolite que se utilizo en la simulación. Sin embargo comparando la respuesta del Rexolite en otro trabajo, se demostró que el Rexolite ofrece un buen acoplamiento acústico no importando el espesor, sin embargo para el proceso de construcción de un transductor el espesor es un punto importante, motivo por el cual se recomienda que la capa sea lo más delgado posible, para garantizar que no haya atenuación.

En el presente trabajo se simuló el comportamiento de una cerámica con Rexolite, también se comparó como varía cuando se excita la cerámica sola, y como, cuando se excita con el Rexolite. Se puede concluir que un transductor funcionaria bien, si se considera el espesor del Rexolite y la frecuencia de operación de la cerámica.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la DGAPA-UNAM (PAPIIT IN-113610).

## Referencias

- [1]. I. Sánchez, J. Contreras, P. Acevedo, M. Fuentes, “Simulación Mediante Elementos Finitos de Un Transductor Ultrasónico Tipo Arreglo (Array) Para Aplicaciones Médicas“. SOMI XXIII, Congreso de Instrumentación, Xalapa, Veracruz, México, octubre de 2008, memorias en CD
- [2]. Turnbull Daniel H., and FOSTER F. STUART, July 1992 “Fabrication and Characterization of Transducer Elements in Two-Dimensional Arrays for Medical Ultrasound Imaging”
- [3]. I. Sánchez Domínguez, P. Acevedo Contla, “Nueva caja de prueba para la selección de materiales en base a sus propiedades acústicas para la construcción de transductores piezoeléctricos ultrasónicos”. SOMI XXIV, Congreso de Instrumentación, Mérida, Yucatán, México, octubre de 2009.
- [4]. Whittingham T. A., Phys. Med. Biol. **36**, 1503 (1991).
- [5]. Y. Kagawa and T. Yamabuchi, IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, **26**, 81 (1979).
- [6]. <http://www.rexolite.com/>
- [7]. <http://www.physikinstrumente.com/>
- [8]. Manual COMSOL 3.3: Manual Structural Mechanics Module pag 323 - 346, Version 3.3, Agosto 2006.
- [9]. Manual COMSOL 3.3: Chapter 2 Acoustic Structure Interaction, Vibrations of a Disk Backed by an Air-Filled Cylinder, Agosto 2006.
- [10]. <http://www.comsol.com/multiphysics/piezoresistiveeffects/>