

## **DESARROLLO DE GENERADORES MACROSÓNICOS PARA APLICACIONES INDUSTRIALES EN MEDIOS GASEOSOS. REDISEÑO NUMÉRICO DEL ELEMENTO RADIANTE POR PROBLEMAS DE FATIGA.**

REFERENCIA PACS: 43.25.Cb

Vázquez Martínez, Fernando; Rodríguez Corral, Germán; Gallego Juárez, Juan Antonio; Riera Franco de Sarabia, Enrique; Acosta Aparicio, Víctor Manuel; Campos Pozuelo, Cleofé; Andrés Gallegos Eduardo.

Instituto de Acústica, CSIC.

Serrano 144, 28006 Madrid.

Tel: 34 915 618 806

Fax: 34 914 117 651

E-Mail: [fvazquez@ia.cetef.csic.es](mailto:fvazquez@ia.cetef.csic.es)

### **ABSTRACT**

This work deals with the functioning problems of a macrosonic stepped-plate transducer during its application in a power plant for particle precipitation and the way of redesigning it in order to work under hard conditions. The transducer was studied by using the finite element method which permits to simulate the stresses concentration on the radiating plate. We present the new design and new solutions to distribute adequately the stresses and to make the macrosonic transducer capable to work under hard industrial conditions.

### **RESUMEN**

Se ha desarrollado un generador macrosónico, tipo placa vibrante, compuesto de un vibrador piezoeléctrico que excita a una placa rectangular con perfil escalonado en sus dos caras y de dimensiones de 1,6 m de largo por 0,7 m de ancho. La placa biescalonada que vibra a flexión con catorce líneas nodales paralelas al ancho constituye el radiador acústico [Ref. 1].

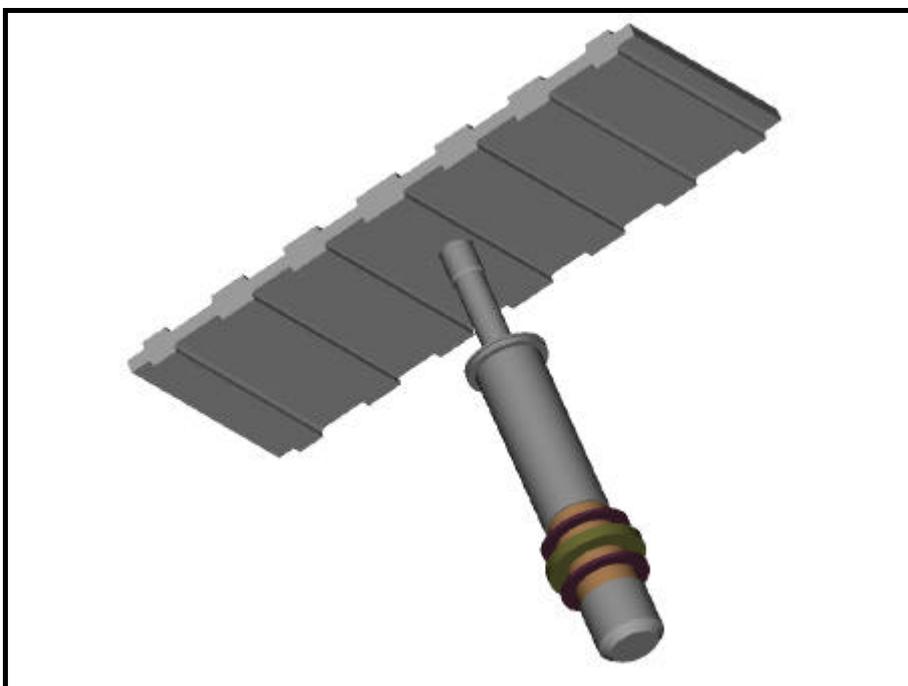
Este radiador, que representa el elemento más crítico del generador macrosónico, se construye en aleación de titanio (Ti6Al4V) con el fin de soportar las fuertes tensiones mecánicas derivadas de las altas amplitudes de vibración, necesarias para obtener altas intensidades acústicas (mayores de 150 dB). El radiador se diseñó inicialmente para una capacidad de potencia de 2000W con un amplio margen de seguridad para evitar deterioro por problemas de fatiga sónica (frecuencia de trabajo: 7kHz). Sin embargo, al realizar las pruebas experimentales bajo condiciones industriales (tratamiento de gases a 250°C provenientes de una central térmica de fueloil), se apreciaron irregularidades que concluyeron con la producción de una falla de fatiga en el material. Para afrontar este problema se ha estudiado por elementos finitos la distribución de tensiones en la zona deteriorada con el fin de efectuar un nuevo diseño del radiador. Paralelamente, se considera el efecto que pudiera tener la temperatura de trabajo sobre la fatiga de los materiales empleados.

En este trabajo se analizan estos problemas ligados a las aplicaciones industriales y se presenta un avance de las soluciones a implementar en los generadores macrosónicos para poder utilizarlos de forma continua y segura bajo condiciones reales adversas.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de generadores macrosónicos parte de un prediseño previamente establecido, orientado a una aplicación específica. De esta manera es preciso definir el tipo de geometría del radiador, su modo de resonancia, la capacidad de potencia y la forma del campo acústico.

Por lo tanto, el empleo de métodos numéricos constituye una herramienta fundamental para analizar dicho modelo y conseguir obtener un diseño fiable con los requerimientos previamente establecidos. En nuestro caso nos referiremos al diseño de un vibrador piezoeléctrico que excita a una placa rectangular con perfil escalonado por sus dos caras, constituyendo el radiador acústico (Fig 1). Posteriormente este diseño se convierte en un prototipo que se construye y caracteriza con suficiente margen de seguridad para garantizar su trabajo continuo a máxima potencia. Sin embargo, en condiciones reales el prototipo puede sufrir deterioros irreversibles imprevistos. La causa, normalmente, es una falla de fatiga en el radiador. La solución consiste en estudiar la zona afectada y efectuar un rediseño del radiador para adaptarlo a dichas condiciones.



**Figura 1**

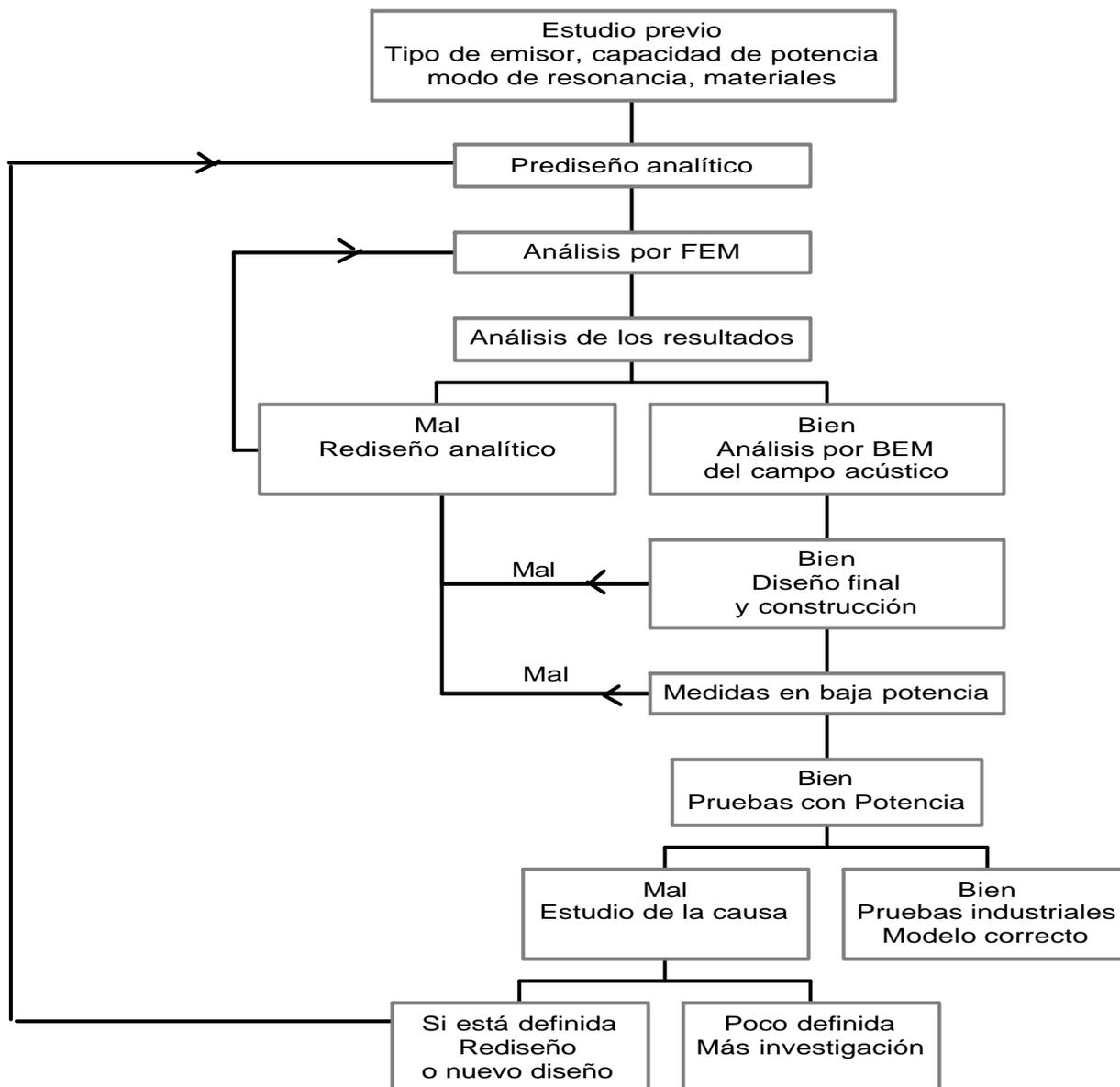
La mayor problemática en el diseño de placas rectangulares vibrando a flexión y en modos altos estriba en conseguir una correcta distribución de desplazamientos y tensiones en las mismas. Para ello se ha utilizado el método de elementos finitos con el que se ha conseguido modelar un prototipo que ha sido construido

y caracterizado experimentalmente. Siguiendo el protocolo de diseño y modelización por métodos numéricos, cuyos pasos se resumen en la figura 2, una vez realizado el primer prototipo en aleación de Al y caracterizado en baja potencia se prueba su funcionamiento con alta excitación (dentro de los límites estimados para este material) durante 100 horas ( $2.7 \cdot 10^9$  ciclos) de funcionamiento continuo. Una vez validado el modelo en alta potencia se pasa a la construcción de un segundo prototipo en aleación de Ti, modelo que se valida asimismo con baja y alta excitación. Conseguido el diseño óptimo se utiliza para la aplicación industrial correspondiente.

## REDISEÑO DE UN RADIADOR DE TIPO PLACA VIBRANTE DETERIORADO DURANTE PRUEBAS DE POTENCIA EN UNA INSTALACIÓN INDUSTRIAL

El transductor diseñado para el proyecto "Desarrollo de filtros acústicos para aglomeración y separación de micropartículas en gases de combustión" (2ª Fase) (Endesa-Ocide) fue montado

en la central térmica de fueloil en Mahón [Ref. 2]. Tras los ajustes iniciales de la línea de proceso se procedió a la realización de las mediciones. La temperatura de los efluentes fue de 250°C. Tras varios días de funcionamiento a una potencia de 2000 W se detectó una irregularidad en el funcionamiento del transductor acústico. Una vez realizadas diversas comprobaciones de los sistemas se demostró que la anomalía era debida a la placa radiante. Examinando dicha placa en las zonas críticas se detectó una grieta en la zona de unión del amplificador mecánico de excitación con la placa. Por otra parte analizando la microestructura del material, ésta no correspondía a la solicitada. Los tamaños de grano eran mayores y su distribución más irregular y por tanto la resistencia mecánica a la fatiga del material suministrado era inferior a la estimada.



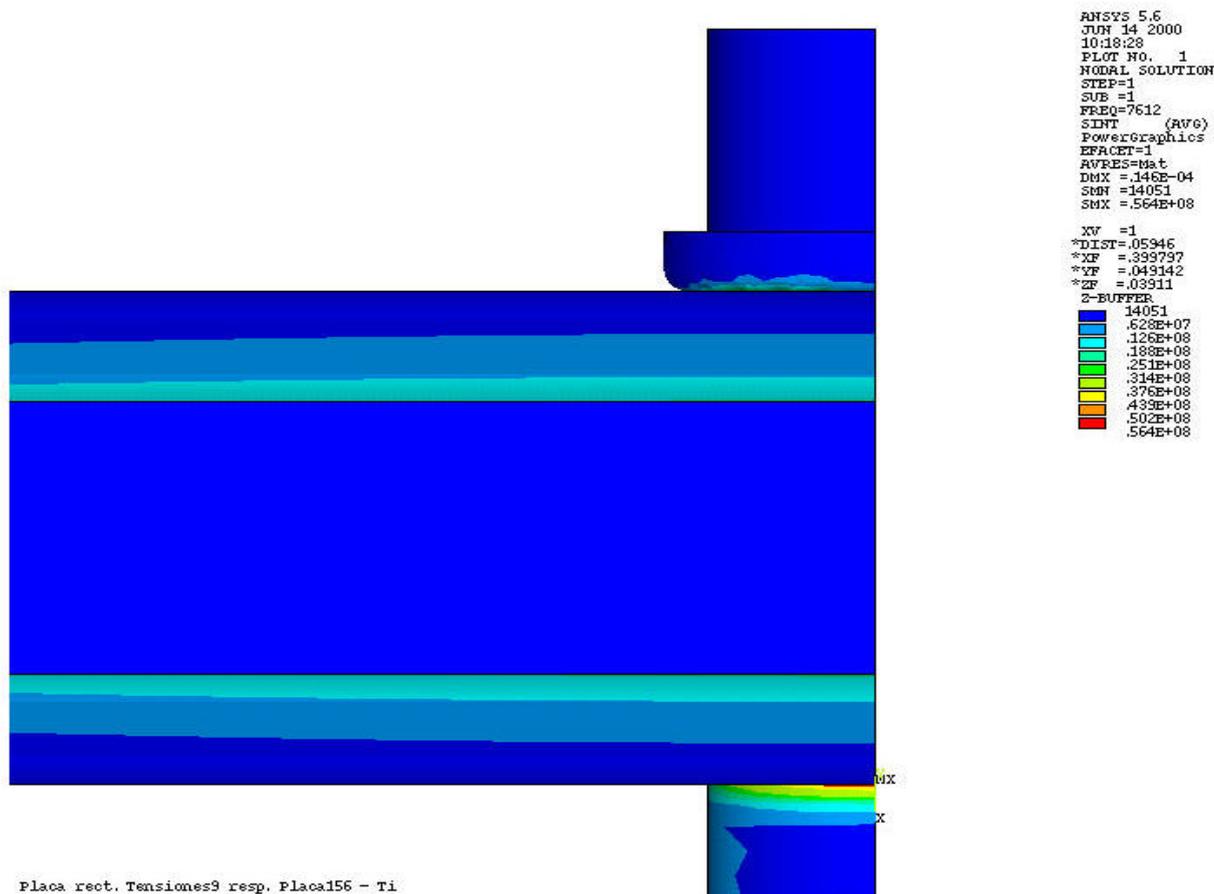
**Figura 2. Diseño y modelización por métodos numéricos de placas vibrantes**

Se procedió a la simulación de la zona mediante elementos finitos modelando el agujero pasante central de la placa así como el tornillo y la punta del amplificador mecánico. Los resultados mostraron una zona de stress máximo justo en la unión de la placa con el amplificador mecánico (Fig 3). En esta unión se había colocado una arandela de diámetro igual al de la sección menor del amplificador mecánico. Los resultados derivados del cálculo indicaron que la capacidad de potencia era drásticamente inferior al predicho con el modelo en

el que no se había tenido en cuenta esta unión. El modelo inicial se había desarrollado para una placa radiante sin agujero pasante central, sin tornillo y sin simular tampoco el amplificador mecánico. Esto se debió a que el modelado del transductor completo era inabordable con los sistemas de cálculo disponibles en aquel momento.

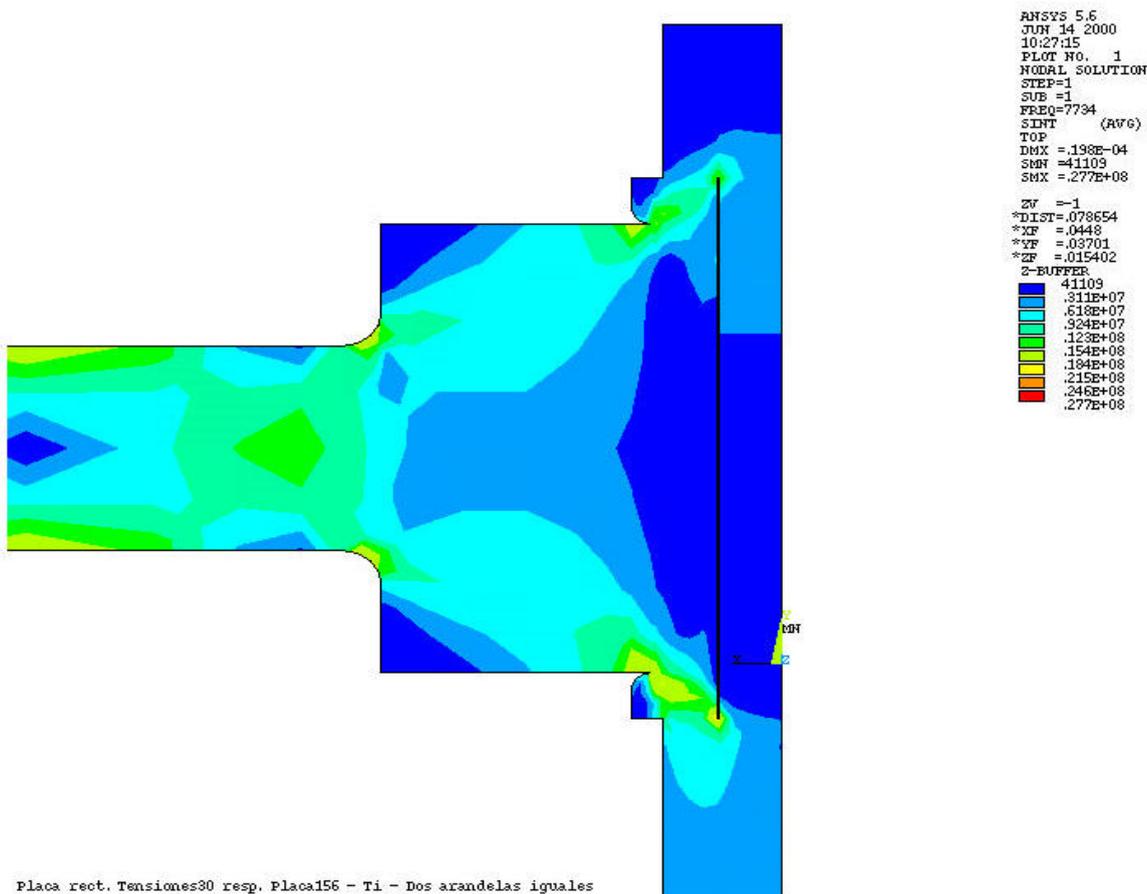
Los modelos posteriores se realizaron con un sistema informático compuesto por dos procesadores trabajando en paralelo con 0.5 GB de RAM y discos de 18 GB y el programa de elementos finitos ANSYS ©. Con este sistema se ha podido abordar la simulación del transductor completo. Así, se pudo modelar la zona crítica de excitación de la placa radiante. Esta zona, como ya se ha comentado es la parte central de la placa.

Se desarrollaron varios modelos teniendo en cuenta que lo que se pretendía era disminuir los esfuerzos en dicha zona y por tanto aumentar la capacidad de potencia. Se estudiaron diversos tipos de arandela para el acoplo del sistema tornillo pasante-placa-amplificador mecánico. Además se tuvo en cuenta qué tipo de material era el óptimo para conseguir dichos resultados. Se consiguió, de esta manera, llegar a un nuevo modelo de placa radiante en el que con ligeras modificaciones de los espesores en la zona crítica y con arandelas de forma adecuada se disminuyeron los desplazamientos relativos en dicha zona y, por tanto, los esfuerzos incrementándose la capacidad de potencia (Figura 4).



**Figura 3 – Distribución de tensiones en la zona de excitación de la placa.**

Paralelamente se ha estudiado experimentalmente el efecto de la temperatura en el comportamiento del material utilizado (aleación especial de titanio Ti6Al4V) y, en una primera aproximación, parece deducirse que la influencia de este parámetro está más directamente ligada al gradiente que al valor absoluto en sí mismo.



**Figura 4. Distribución de stress en el modelo final.**

**CONCLUSIONES**

Se han podido determinar con precisión las causas que han motivado los fallos del modelo inicial de placa radiante en pruebas de potencia en una central térmica. Mediante el método de elementos finitos se ha realizado un rediseño en el cual se ha incrementado notablemente la capacidad de potencia del transductor.

**AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido realizado dentro de la segunda fase del Proyecto "Filtros acústicos para la aglomeración y separación de micropartículas en gases de combustión" financiado por OCIDE y coordinado por ENDESA.

**REFERENCIAS**

[1] F. Vázquez Martínez, G. Rodríguez Corral, C. Campos Pozuelo, L. Elvira Segura, J. A. Gallego Juárez, "Nuevos avances en el desarrollo de transductores macrosónicos de placa escalonada", Congreso Ibérico de Acústica - I Simposio Iberoamericano de Acústica - Tecniacústica, Lisboa, 14-16 Septiembre 1998. Libro de Comunicaciones, pp. 387-390.

[2] J.A. Gallego, G. Rodríguez, E. Riera, C. Campos, F. Vázquez, V.M. Acosta, A macrosonic system for industrial processing. Ultrasonics 38 (2000), pp. 331-336.