

11161



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

2

“CARACTERIZACION VIBRACIONAL DE
PIEZOCOMPOSITES PZT - kovar ASIMÉTRICOS”

234719

T E S I S
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERIA
P R E S E N T A:
SERGIO CORTES FRAGOSO

Metal mecánica

ASESOR: DRA. MARIA ELENA VILLA FUERTE CASTREJON

COASESOR: M.C. RICARDO RUIZ BOULLOSA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
COORDINACION GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CARTA DE VOTOS APROBATORIOS

Coordinación General de Estudios de Posgrado
FES-Cuautitlán
Presente.

Por medio de la presente nos permitimos comunicar a usted que revisamos la tesis titulada "CARACTERIZACION VIBRACIONAL DE PIEZOCOMPOSITES PZT-kovar ASIMETRICOS"

que presenta el (la) alumno (a) CORTES FRAGOSO SERGIO

con número de cuenta 8802412-1 y número de expediente 100972009

para obtener el grado de MAESTRO EN INGENIERIA
(METAL-MECANICA)

Consideramos que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el Examen de Grado correspondiente, otorgamos el voto aprobatorio.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

_____ a _____ de _____ del _____

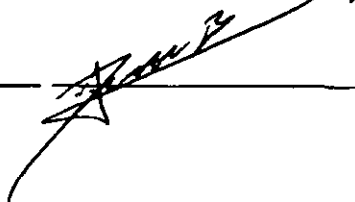
NOMBRE DE LOS SINODALES

Presidente M.I. MARCO ANTONIO ALARCON RAMIREZ, 

Vocal M.I. SERGIO DE MORAES BENITEZ, 

Secretario M.I. HECTOR ENRIQUE CUIEL REYNA, 

Primer Suplente DRA. MARIA ELENA VILLAFUERTE CASTREJON, 

Segundo Suplente M.C. RICARDO RUIZ BOULLOSA, 

Dedicatoria

A un gran tipo llamado Dios, sabes aun no entiendo que haces para que vuelen las cometas. A la mujer mas bella, cual grandeza se mide por lo profundo de sus pisadas, a ti madre, eres la piedra angular de todo esto, gracias. A mi padre, se extraña tu extraño caminar. A mi hermana Rosa Angélica y su compañero de viaje Luis Reséndiz gracias por ser parte de este sueño, a ti Karla por ser la sonrisa de mis pensamientos. A mi hermano Carlos y a su compañera Mari Carmen, hermano la vida no hubiera sido la misma sin ti, es un honor para mi haber crecido junto a ti y lo seguiremos haciendo. A mis tíos Eduardo, Zena, Porfirio y Leticia. Ustedes son los viejos lobos de este viaje, llevan la brújula y el timón de esta generación, gracias por creer en mi. A mis primos Mario, Gíbran, Belén, Irlanda, Argelia y Aldo únicamente les puedo decir que el mundo necesita soñadores y ustedes tienen la creación entre sus manos. A ti Lucero, gracias por haber compartido un espacio de tu tiempo, sabes... aun las estrellas siguen brillando. A ti Alicia (ángel de la tierra) gracias por permanecer en los tiempos difíciles, eres una parte importante para que este mundo continúe. A Gloria Elena (la mujer maya) tienes un corazón muy noble y misterioso, gracias por creer en mi. A Mari Carmen Vázquez gracias por permitirme entrar en tu vida. A Guadalupe Guerra gracias por ser mi amiga. A Gerardo González, (Matusalén) amigo de todos los tiempos de mi vida, seguimos invictos. A Sergio Mercado y Alan Pineda tienen un corazón tan grande como su alegría, seguiremos cabalgando. A Ana Lilia (La grosse) y a Genaro (el cambia piezas) que aburrido seria acústica, sin ustedes. A Jaime Iberri (wearever) extraña manera de ser... pero es autentica. A Martin Arriaga. Amigo! grandes recuerdos me trae la carretera. A Domingo Luna (Leono) llevas dentro un corazón de campeón. A Sergio Nahum siempre he dicho que ser zurdo tiene sus ventajas, a Said Robles, tienes un espíritu luchador, sigue adelante. A Salvador Medrano, genio y figura. Al niño que llevo dentro gracias por soportarme, se que es difícil. Al pensamiento de una princesa gracias por dejarme existir solo en tus sueños. A todos los rostros sin nombre, que de una u otra forma hicieron posible llegar hasta el final del camino, gracias sencillamente gracias.

Sergio Cortés Fragoso.

Agradecimientos

Al maestro Enrique Curiel (jefe de jefes), de personas como usted están construidas las leyendas, gracias por creer en dos perfectos desconocidos. A la Dra. Maria Elena, gracias, por todo el apoyo que me brindo, y por la infinita paciencia que no tuvo, gracias porque me hizo ser una persona mejor. Al maestro Ricardo Ruiz, las mentes mas brillantes son las que permanecen siempre encendidas, gracias por ser mi guía durante este viaje. Al Dr. Saniger, gracias por ser el puente entre ambos centros de investigación. Al Dr. Amador y la vista de águila que tiene para ver los errores en el papel, gracias por ser paciente. Al Dr. José Francisco Fernández, por hacer y mandar las muestras, haciendo un vinculo mas grande entre ambas naciones, gracias. A los maestros Sergio De Moraes y Marco Antonio Alarcón por aceptar ser parte de la conclusión de este proyecto, gracias. A todos los maestros y compañeros que formaron parte importante durante la transición de grado mil gracias.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**. Una parte de mi habitara por siempre en ella. Agradezco la formación que me dio en todos los aspectos de la vida, ya que hizo de mi un mejor ser humano.

A la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**, al **Instituto de Investigaciones en Materiales** y al **Centro de Instrumentos**, gracias por todo lo dado dentro y fuera de esta casa máxima de estudios.

Sergio Cortés Fragoso.

Si para recobrar lo recobrado
debí perder lo perdido,
si para conseguir lo conseguido
tuve que soportar lo soportado,
si para estar enamorado
fue menester haber estado herido,
tengo por bien sufrido lo sufrido,
tengo por bien llorado lo llorado,
porque después de todo he comprendido
que no se goza bien de lo gozado,
sino después de haberlo padecido
porque después de todo he comprendido
que lo que el árbol tiene de florido
vive de lo que tiene sepultado.

Los caballeros de la mesa redonda

s. XIII

INDICE

Indice.....	I
Lista de símbolos.....	III
Introducción.....	1
CAPITULO I	
ASPECTOS GENERALES.....	3
1.1 Historia de la piezoelectricidad.....	4
1.2 Comportamiento ferroeléctrico.....	6
1.3 Constante dieléctrica K , y piezoeléctricas g , e , h y d	7
1.4 Coeficiente de acoplamiento electromecánico.....	9
1.5 Efectos longitudinal y transversal	10
1.6 Modos de vibración en un material eléctrico.....	11
1.7 Análisis de las vibraciones en estructuras.....	13
1.8 Todas las estructuras muestran comportamiento modal.....	13
1.9 Que se entiende por forma modal.....	16
1.10 Modos normales y modos complejos.....	17
CAPITULO 2	
TRANSDUCTORES PIEZOELECTRICOS.....	19
2.1 Materiales piezocomposites.....	20
2.2 Clasificación de los dispositivos piezoeléctricos.....	20
2.2.1 Actuadores simples y bimorfos.....	20
2.2.1.1 Actuadores simples.....	20
2.2.1.2 Actuadores bimorfos.....	21
2.2.2 Actuador multicapas.....	21
2.2.3 Actuadores: tipo media luna y tipo címbal.....	22
2.2.3.1 Piezocomposites tipo media luna.....	22

2.2.3.2 Piezocomposites tipo címbal.....22

CAPITULO 3

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....24

3.1 Procedimiento Experimental.....25

3.2 Sujeción de las pastillas.....25

3.3 Excitación y respuesta.....29

CAPITULO 4

ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....33

CONCLUSIONES.....60

Anexo 1.....62

Anexo 2.....63

Anexo 3.....64

Anexo 4.....65

BIBLIOGRAFIA.....67

Lista de símbolos

K	permitividad dieléctrica relativa
g	constante piezoeléctrica (voltaje)
e	constante piezoeléctrica (g^{-1})
h	constante piezoeléctrica (d^{-1})
d	constante piezoeléctrica (carga)
ϵ	permitividad del material
ϵ_0	permitividad en el vacío
T	esfuerzo
S	deformación
E	campo eléctrico
C	modulo elástico
D	desplazamiento dieléctrico
s	constante elástica
k	factor de acoplamiento electromecánico
Q	factor de calidad de un oscilador
V	voltaje

Introducción

Los electrocerámicos son materiales que están teniendo un auge trascendental en nuestros días, debido a sus propiedades mecánicas y eléctricas. El uso de estos materiales es ilimitado, los encontramos en equipos de medición, actuando como sensores o transductores. Una aplicación directa de los electrocerámicos la podemos observar en el Telescopio Hubble, al incorporarle espejos deformables que funcionan a través de unos actuadores (piezoeléctricos inducidos), estos piezoeléctricos ayudaron a corregirle el astigmatismo a las lentes. También los podemos hallar en los automóviles, el ejemplo más sencillo es en las alarmas de antirrobo o en el encendido electrónico del motor.

Cuando los cristales de un material piezoeléctrico son sometidos a fuerzas de tensión o compresión (deformaciones), el esfuerzo resultante provoca un estado de polarización en el cristal y se crea un campo eléctrico. Inversamente si un cristal es polarizado por un campo eléctrico, se generan esfuerzos en el piezoeléctrico y se crean varias deformaciones. A esto se le conoce como el efecto piezoeléctrico.

El concepto de transductores piezoeléctricos flexión-tensión ha sido desarrollado recientemente con el objeto de cubrir el vacío existente entre los actuadores bimorfos capaces de producir desplazamientos grandes pero con limitaciones fuertes en la generación de fuerza motriz y el de los actuadores multicapa capaces de generar fuerzas grandes y respuestas rápidas, pero a costa de desplazamientos limitados. Este nuevo concepto de actuadores encuentra por tanto aplicación cuando se requieren niveles intermedios de desplazamientos y fuerzas motrices. El tipo de transductor que estudiaremos en este trabajo, es un composite cerámico-metal formado por un disco de PZT al que se fija por cada una de sus caras una lámina metálica (aleación de kovar) conformada de manera que pueda fijarse, con una resina epóxica, al borde del disco cerámico dejando una cavidad interna entre la cerámica y el kovar. De esta manera el movimiento radial de la cerámica piezoeléctrica genera un efecto flexotensional en las tapas metálicas, originando un fuerte desplazamiento en su centro según la dirección perpendicular al disco cerámico. El dispositivo específico empleado en este trabajo es el llamado címbal asimétrico, formado por el disco cerámico de PZT al que se fijó por una sola de sus caras la lámina conformada de kovar. De esta manera resulta posible estudiar por separado las vibraciones de cada una de las caras.

El objetivo de este trabajo lo constituye el estudio de los modos vibracionales mencionados y sus implicaciones en el uso del piezocomposite como actuador. La caracterización vibratoria

de los piezoeléctricos de tipo PZT se ha estudiado ampliamente. Sin embargo, no se ha establecido claramente la relación entre las amplitudes de vibración de los dispositivos y su diseño particular.

Por debajo de la frecuencia de resonancia de la cavidad metálica no se espera la aparición de ningún pico de resonancia por lo que, en consecuencia, el piezocomposite debería seguir el campo aplicado y comportarse como un actuador. Sin embargo, al someter el címbal asimétrico a frecuencias entre, 2 y 20 kHz, se percibió la emisión de señales audibles dentro de un relativamente amplio intervalo de frecuencias, lo que parecía indicar la existencia de resonancias de menor intensidad en ese intervalo espectral. La esencia de este trabajo esta publicada en un artículo de la revista española de Cerámica y Vidrio [25]

En este trabajo se estudiaron las características mecánico vibratorias de materiales cerámicos tipo PZT en comparación con los piezocomposites metál-cerámico, PZT-Kovar de nuevo diseño. Para esta caracterización se utilizó una técnica de vibratometría láser mediante la cual se obtienen perfiles de amplitud a diferentes frecuencias para el piezoeléctrico PZT y el piezocomposite.

Para su mejor comprensión, este trabajo fue organizado de la siguiente manera:

- En el capítulo 1, se presenta una semblanza histórica de la piezoelectricidad, la forma en que tienden a vibrar los piezoeléctricos, los efectos longitudinales y transversales que presenta el fenómeno piezoeléctrico. Y se da una explicación somera del análisis modal.
- En el capítulo 2, se da una clasificación de los dispositivos piezoeléctricos tipo transductores.
- En el capítulo 3, se habla de la parte experimental y el equipo que se utilizó.
- En el capítulo 4, se exponen los resultados obtenidos.
- Y finalmente, se presentan las conclusiones.

*El hombre no es mas que el resultado
De sus pensamientos, lo que piensa
Es lo que llega a ser*

Mahatma Gandhi.

Capitulo 1

Aspectos generales

No es fácil ser héroe.

Sercofra.

CAPITULO 1

1.1 Historia de la piezoelectricidad

Los hermanos Pierre y Jacques Curie en 1880, descubrieron el efecto piezoelectrico al observar la relación entre las estructura cristalina y la electricidad. Ellos observaron que los monocristales de Turmalina y la sal de la Rochelle presentan cargas eléctricas al aplicar un esfuerzo de compresión en una dirección dada. Cuando a un material monocristalino se le aplica una fuerza mecánica aplicada sobre él. A este efecto se le conoce como efecto piezoelectrico. Los monocristales piezoelectricos presentan también el efecto inverso, es decir, al aplicarles una diferencia de potencial a sus caras opuestas, se produce una deformación de los mismos. Las excelentes propiedades piezoelectricas de cuarzo monocristalino le ha dado una amplia aplicación en la industria.

La primera aplicación seria que se les dio a los aparatos piezoelectricos, sucedió durante la primera guerra mundial. En 1917, P. Langevin y French trabajaron en el perfeccionamiento de un detector ultrasónico para submarinos. Este transductor estaba compuesto de un cristal de cuarzo que tenia adherido dos discos de metal, este dispositivo estaba diseñado adecuadamente para sumergirse bajo el agua. (el dispositivo tenía una resonancia cercana a los 50 kHz) Trabajando durante y al final de la guerra, lograron la transmisión y recepción de un "chirrido", de alta frecuencia bajo el agua, esto se logro midiendo el tiempo que tardaba la señal (el eco) en regresar.

Primera generación - aplicaciones con cristales naturales 1920-1940

El suceso del sonar estimulo intensamente el desarrollo de los aparatos piezoelectricos algunos ejemplos de estas activadas son:

- Se desarrollaron transductores de cuarzo con resonancias de megaciclos.
- Por primera vez las propiedades de los líquidos y gases podían ser determinados y comparados por medio de la propagación de ondas ultrasónicas.

Segunda generación – aplicaciones con cerámicas piezoelectricas. 1940-1965

Durante la segunda guerra mundial, en Estados Unidos, Japón y la entonces Unión Soviética. Grupos aislados trabajaron para mejorar y descubrir ciertos materiales electroceramicos (la

preparación de la sinterización de polvos de óxidos metálicos) exhibiendo propiedades dieléctricas cien veces mas grandes que la de los cristales comunes, mas tarde esta clase de materiales fue llamado (ferroelectricidad) donde las propiedades piezoeléctricas se mejoraban notablemente, esto tuvo un auge nuevamente en la búsqueda y en el desarrollo de los piezoeléctricos.

El avance de la ciencia de los materiales durante este periodo se distinguió por tres etapas.

- 1.-El desarrollo de nuevas familias del titanato de Bario, y del PZT.
- 2.-El estudio de los cristales con estructura tipo perovskita.
- 3.-Se doparon las cerámicas con impurezas de metal, esto se hizo con el fin de que los materiales tuvieran cierto tipo de propiedades (materiales a la medida) como son: constante dieléctrica, textura, coeficiente de acoplamiento piezoeléctrico, etc.

Todos estos avances contribuyeron a establecer nuevos métodos en el desarrollo de las piezocerámicas- es decir, los materiales fueron hechos de acuerdo a las necesidades o especificaciones. El número de aplicaciones que surgieron hizo tambalear al mundo, se construyeron poderosos sonares, basados en las nuevas geometrías de los transductores, (esferas y cilindros), se desarrollaron sistemas de ignición, que funcionaban al oprimir una pastilla (piezoeléctrica) generaba un voltaje.

En este periodo las industrias estadounidenses revivieron el desarrollo de las piezocerámicas, estas compañías no intercambiaban información, tanto por razones militares como de estrategia empresarial. Con esta política era obvio que el desarrollo de los nuevos materiales prosperaran en una atmósfera secreta, los nuevos mercados no se desarrollaron y el crecimiento de estas industrias fue severamente afectado.

Desarrollo Japonés (1965-1980)

En contraste con la política estadounidense de no dejar salir información sobre la fabricación de las piezocerámicas. En el año de 1951 varias universidades y compañías japonesas formaron una asociación de "cooperación competitiva" esta asociación estudiaría a las cerámicas y sus aplicaciones, formando una organización precedente, para prosperar y vencer no solo en los cambios técnicos y de manufactura, sino que definió una nueva área de mercado.

Comenzando el año de 1965, las empresas comerciales japonesas, cosecharon los beneficios de estudiar el desarrollo de las cerámicas, desde una perspectiva en los negocios, los japoneses

llevaban la delantera, conocían las nuevas aplicaciones, los nuevos procesos y los mercados comerciales tenían un provechoso camino. En comparación con la actividad japonesa, el resto del mundo fue lento, los japoneses tomaban siempre la delantera en la invención de nuevos aparatos y con ello la patente.

En busca de un gran mercado 1980 – Presente

El éxito comercial de los japoneses estuvo, en racionalizar los precios de los actuadores los cuales son bajos en el consumo de energía y altos en rendimiento.

La búsqueda de oportunidades para el producto perfecto piezo esta en proceso, la piezocerámica están teniendo un incremento en la actividad mundial, una prueba de ello es el éxito alcanzado en el ultimo cuarto del siglo 20 teniendo una fuerte economía y un desarrollo tecnológico con grandes perspectivas. [16]

1.2 Comportamiento ferroeléctrico

En algunos materiales existen por naturaleza dipolos eléctricos o distribuciones asimétrica de carga eléctrica que también se puede inducir en otros materiales. Algunas moléculas, entre las que destaca la molécula del agua, muestran un dipolo permanente. Esto significa que no coinciden los centros de las cargas positiva y negativa (como sucede en las moléculas no polares eléctricamente). En la figura 1.1 se muestra la formación de un dipolo eléctrico.

Se conoce al alineamiento espontaneo de dipolos eléctricos en un dieléctrico como ferroelectricidad. Este comportamiento ferroelectrico resulta por el hecho de que el campo local aplicado (E) se incrementa con estos arreglos paralelos de dipolos (polarización). En la figura 1.1 se ilustra esta condición. El titanio de bario ($BaTiO_3$) es un material cerámico ferroeléctrico que a unos $115\text{ }^\circ\text{C}$ modifica ligeramente su estructura iónica. Por debajo de esta temperatura (a la que se le llama el punto ferroelectrico de Curie), los aniones y los cationes se mueven un poco en direcciones opuestas, con lo que resulta un dipolo eléctrico.

Aunque el material ferroelectrico que mas se ha estudiado es el titanio de bario, se encuentran el titanio de plomo ($PbTiO_3$), el metaniobiato de plomo ($PbNbO_3$), el titanio zirconato de plomo $Pb(ZrTi)O_3$, la sal de la Rochelle ($KNaC_4H_4O_4$), fosfato bihidrogenado de potasio (KH_2PO_2), el oxido de tungsteno (TgO_2) y otras estructuras cerámicas (como perovskitas e ilementitas). [17]

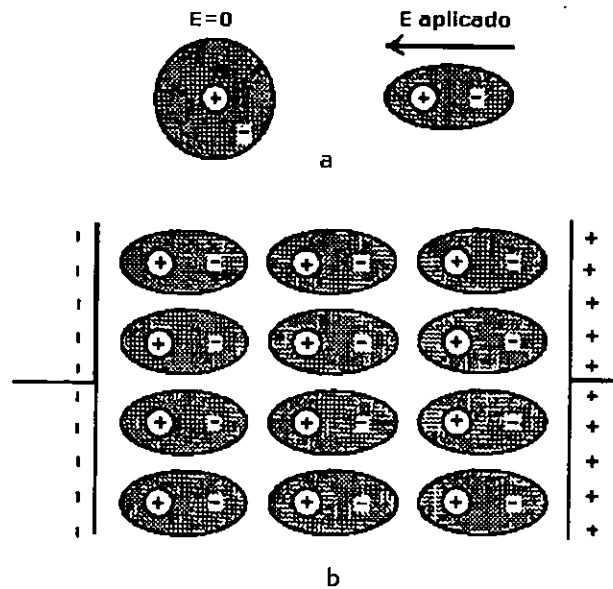


Figura 1.1 Esquema de un dipolo eléctrico: (a) Dipolo formado por un campo eléctrico aplicado; (b) alineación de los dipolos en un campo eléctrico.

1.3 Constante dieléctrica K , y piezoeléctricas g , e , h y d

La permitividad dieléctrica relativa K es adimensional y resulta de dividir la permitividad ϵ del material entre la permitividad ϵ_0 en el vacío. ϵ_0 , en el sistema SI es igual a $8.85 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$.

La constante g relaciona la tensión eléctrica generada con el valor de la presión aplicada. La constante e relaciona la tensión con el campo eléctrico. La constante h relaciona la deformación con el campo eléctrico. Y la constante d relaciona la carga generada con la presión en función a la fuerza.

La carga almacenada en un dieléctrico (cuando se usan voltajes alternos) tiene componentes reales (en fase) e imaginarias (fuera de fase), causadas por fugas resistivas o por la absorción dieléctrica. Estas pérdidas se expresan por la razón entre el componente defasado y aquel en fase. Esta razón es llamada $\tan \delta$ o factor de disipación. El valor de K en la mayoría de los materiales orgánicos e inorgánicos es menor que 5 y que 20, respectivamente.

Las variables mecánicas que relacionan en sentido directo e inverso a los sólidos piezoeléctricos son: T , el esfuerzo y S , deformación.

Las magnitudes eléctricas son: P , polarización y E , campo eléctrico. [18, 19, 20]

Para los sólidos ordinarios, un esfuerzo, T , produce una deformación, S , relacionados con un modulo elástico c

De la siguiente manera:

$$T = c S$$

A esta relación se le conoce como ley de Hooke.

La piezoelectricidad se manifiesta por la aparición de una carga eléctrica a consecuencia del esfuerzo aplicado; esto es un efecto piezoelectrico directo. La carga es proporcional a la fuerza y por lo tanto resulta de signos opuestos para la tensión y compresión. En términos del desplazamiento dieléctrico D (carga por unidad de área) y del esfuerzo T podemos escribir:

$$D = Q/A = d T \quad (d \text{ expresado en } C/N)$$

En el efecto inverso tenemos que al aplicar un campo eléctrico E se produce una deformación S , de expansión y contracción, dependiendo de la polaridad:

$$S = d E \quad (d \text{ expresado en } m/V)$$

Para ambos efectos la constante de proporcionalidad d es numéricamente idéntica:

$$d = D/T = S/E$$

Para materiales que desarrollan movimiento o vibración, se requiere de una constante piezoelectrica d muy alta. Tal es el caso de los transductores para sonar y para los actuadores.

Otra constante piezoelectrica, usada con frecuencia, es g , que nos da el campo eléctrico producido por un esfuerzo mecánico.

De igual forma, la constante g esta relacionada con la constante d y la permitividad:

$$g = d' \epsilon = d' K \epsilon_0$$

En los materiales que generan voltajes, a partir de esfuerzos mecánicos, se requiere que la constante g tenga valores grandes.

Las relaciones para otras dos constantes piezoeléctricas son:

$$T = -e E \quad ; \quad E = -h S$$

Para los cristales, las constantes elásticas dieléctricas y piezoeléctricas pueden diferir de acuerdo a sus diferentes ejes.

Los esfuerzos piezoeléctricos directo e inverso están relacionados por las variables elásticas, esfuerzo y deformación, con variables eléctricas, campo y desplazamiento dieléctrico.

$$D = \epsilon^T E + dT \quad \text{Para el efecto directo.}$$

$$S = dE + s^E T \quad \text{Para el efecto inverso.}$$

1.4 Coeficiente de acoplamiento electromecánico.

Probablemente la manera mas eficiente de medir la fuerza del efecto piezoeléctrico en una cerámica, es el factor de acoplamiento electromecánico k . Cuando se aplica un campo eléctrico su cuadrado expresa la fracción de energía eléctrica que es convertida en energía mecánica o viceversa. En términos k^2 la relación es:

$$k^2 = \frac{E_{elec-mec}}{E_{elec}} \quad \text{o también} \quad k^2 = \frac{E_{mec-elec}}{E_{mec}}$$

donde:

$E_{elec/mec}$ =energía eléctrica convertida en mecánica.

$E_{mec/elec}$ =energía mecánica convertida en eléctrica.

E_{elec} =energía eléctrica aplicada.

E_{mec} =energía mecánica aplicada.

Ya que la conversión siempre es incompleta, k^2 es siempre menor que 1 y por lo tanto k_p es también menor que 1. Los valores típicos de k_p para algunos materiales son: 0.1 para el cuarzo, 0.4 para la cerámica de titanio de bario BaTiO_3 , 0.7 para la cerámica de titanato zirconato de plomo $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ y hasta 0.9 para la sal de la Rochelle a 24°C (temperatura de Curie).

1.5 Efectos longitudinal y transversal

El efecto piezoeléctrico puede ser transversal o longitudinal. En el efecto longitudinal, las deformaciones tienen lugar en la posición en paralelo al eje eléctrico como en la Fig.1.2(a); en el efecto transversal, las deformaciones son perpendiculares al eje eléctrico, como en la Fig.1.2(b). En la práctica estos dos tipos de efectos tienen lugar al mismo tiempo.

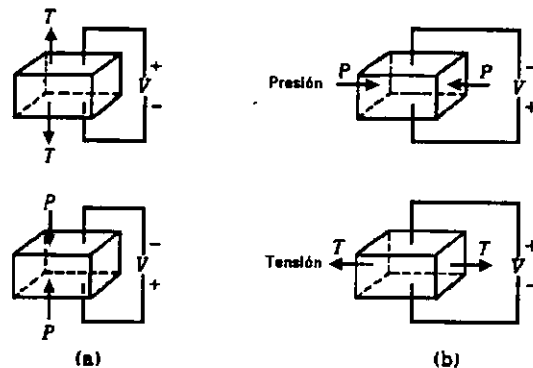


Fig.1.2 El efecto piezoeléctrico: (a) efecto longitudinal; (b) efecto transversal.

El efecto piezoeléctrico transversal se puede ejemplificar con un bloque de gelatina cuando es oprimido de una forma uniforme, se expande hacia los lados. Fig.1.3 (a). De una forma similar, cuando un campo eléctrico es aplicado a través del grosor de un cuerpo cerámico, este produce una expansión relativamente grande en ángulos rectos al campo eléctrico (efecto piezoeléctrico transversal).

La razón de Poisson es un parámetro el cual nos indica las deformaciones relativas en las direcciones longitudinal y transversal. Especifica la relación de alargamiento transversal o contracción longitudinal cuando una presión es aplicada a un sólido con un voltaje constante [21].

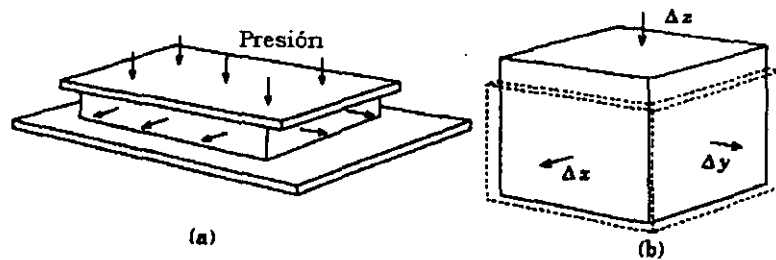


Fig.1.3 Relación de Poisson.(a) Si un trozo de gelatina es presionado hacia abajo, su área se expandirá. (b) Cuando un cubo es presionado hacia abajo en la dirección z , como resultado ocurrirá un cambio de longitud Δz y una expansión de $\Delta z/2$ tendrá lugar en ambas direcciones x y y , procurando que el volumen del cubo se guarde sin cambios. En realidad, el volumen no es siempre el mismo, y la relación de cambio en la dirección x hace que la dirección z este referida como la relación de Poisson

1.6 Modos de vibración en un material piezoeléctrico

Los materiales cristalinos se agrupan en 32 clases de los cuales 11 de ellas muestran un centro de simetría mientras que los otros 21 no lo tienen. 20 tipos de estos cristales, sin centro de simetría, pueden mostrar piezoelectricidad.

Un cristal piezoeléctrico siempre presenta un momento dipolar eléctrico aun en ausencia de un campo eléctrico, debido a que el centro de sus cargas negativas no coincide con el centro de sus cargas positivas (anisotropico).

Cuando se aplica un campo eléctrico de frecuencia variable a una cerámica, esta puede oscilar con una frecuencia especifica; se establece que las direcciones (X,Y,Z) corresponden a $(1,2,3)$. En un disco el modo planar resulta al aplicar un campo eléctrico en la dirección 3 y se obtiene una respuesta mecánica en las direcciones 1 y 2. La letra k con dos subíndices designa un coeficiente de acoplamiento, donde el primero corresponde a la dirección del campo eléctrico aplicado y el otro a la dirección de la repuesta mecánica. [22]

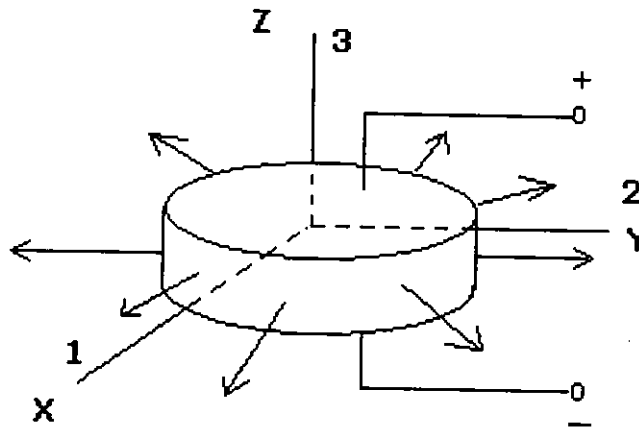


Figura 1.4 Disco que oscila en el modo planar

Otros modos de vibración lo son: espesor y corte. En el modo de corte se usan los subíndices 4,5,6. Cada modo esta caracterizado por un coeficiente de acoplamiento electromecánico que se define como la raíz cuadrada de la razón entre la energía aplicada y la energía almacenada.

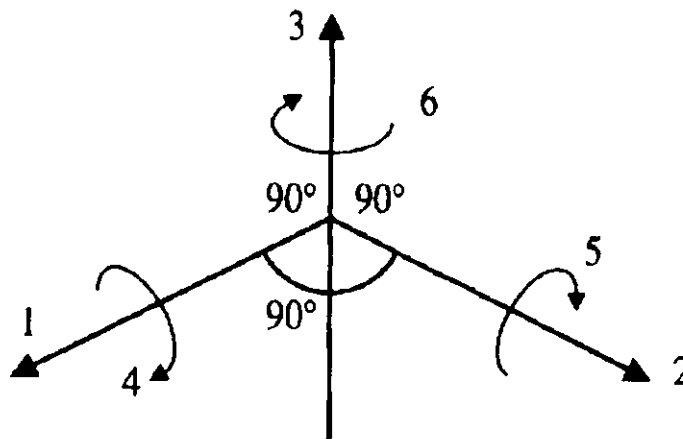


Figura 1.5 oscilación en las direcciones 4, 5 y 6 (espesor y corte)

En la siguiente figura el modo planar resulta al aplicar un campo eléctrico en la dirección 3 y se obtiene una respuesta mecánica en las direcciones 3, 1 y 5 respectivamente [23]

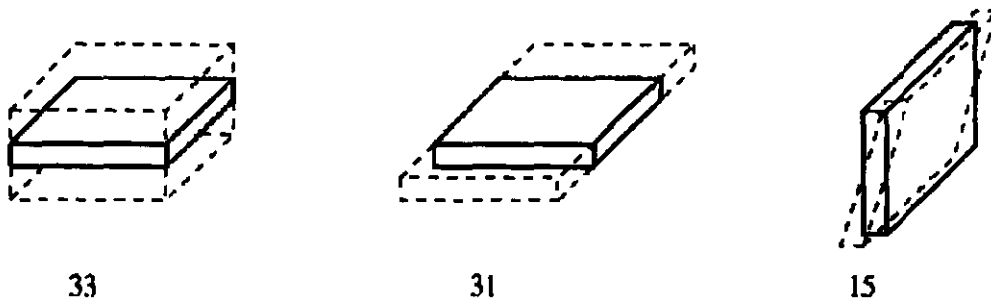


Figura 1.6 respuesta mecánica al aplicar un campo eléctrico

1.7 Análisis de las vibraciones en estructuras

La mayoría de las estructuras vibran, todas las maquinas, vehículos y edificios cuando están en operación están sujetos a fuerzas dinámicas las cuales causan vibraciones. Al aplicar un campo eléctrico a un piezoeléctrico este vibrará. Muchas veces las vibraciones tienden a ser investigadas, porque causan problemas inmediatos, o porque las estructuras tienden a tener especificaciones o estándares de pruebas. Cualquier razón que se necesite para obtener un mayor desempeño de la estructura. Este estudio implica factores como la fatiga de los materiales que puede ser evaluada mediante la técnica de análisis de señales. Podemos medir vibraciones directamente en la estructura y hacer un análisis de frecuencia.

El espectro de frecuencia describe como pueden variar los niveles de vibraciones respecto con la frecuencia. Al hacer un análisis de frecuencia podemos predecir el comportamiento de la estructura, haciendo este tipo de pruebas nos dará resultados, en los cuales no sólo nos revelará las condiciones de medición, sino que los resultados podrán ser evaluados para la mejor comprensión del comportamiento de esfuerzos.

El análisis modal es una alternativa, con la que podemos tener medidas de esfuerzos que actúan dentro de la estructura pudiendo construir un mapa de vibraciones a diferentes frecuencias. [24]

1.8 Todas las estructuras muestran un comportamiento modal.

Una medición de la función de respuesta en frecuencia de la vibracion (desplazamiento, velocidad etc.) hecha en cualquier estructura muestra una serie de amplitudes máximas y mínimas, muchas

veces estas amplitudes son agudas, el cual se identifica el centro de la frecuencia indicándonos que existe una resonancia. Cada resonancia responde a un grado de libertad (GL) de la estructura. Si analizamos el ancho de las amplitudes, incrementamos la resolución de la frecuencia, usualmente se encuentran dos o más resonancias muy juntas, esto hace pensar que se tratará de varios elementos mecánicos o de una subestructura. Esta es la base del análisis modal, a través del comportamiento de la estructura podemos identificar y evaluar todos los modos de resonancia, que tiene la estructura.

Veamos un ejemplo muy sencillo de como las estructuras pueden ser representadas en diferentes dominios. A través de esto seremos capaces de ver la descripción de los modos y describir los dominios del tiempo y de la frecuencia.

Como modelo tomaremos la resonancia de una campana Fig. 1.7 Cuando golpeamos con fuerza una campana se produce una respuesta acústica, esto se asocia a una respuesta de vibraciones. Esto nos sirve como un ejemplo exacto de cómo la campana actúa como un almacén de energía.

[24]

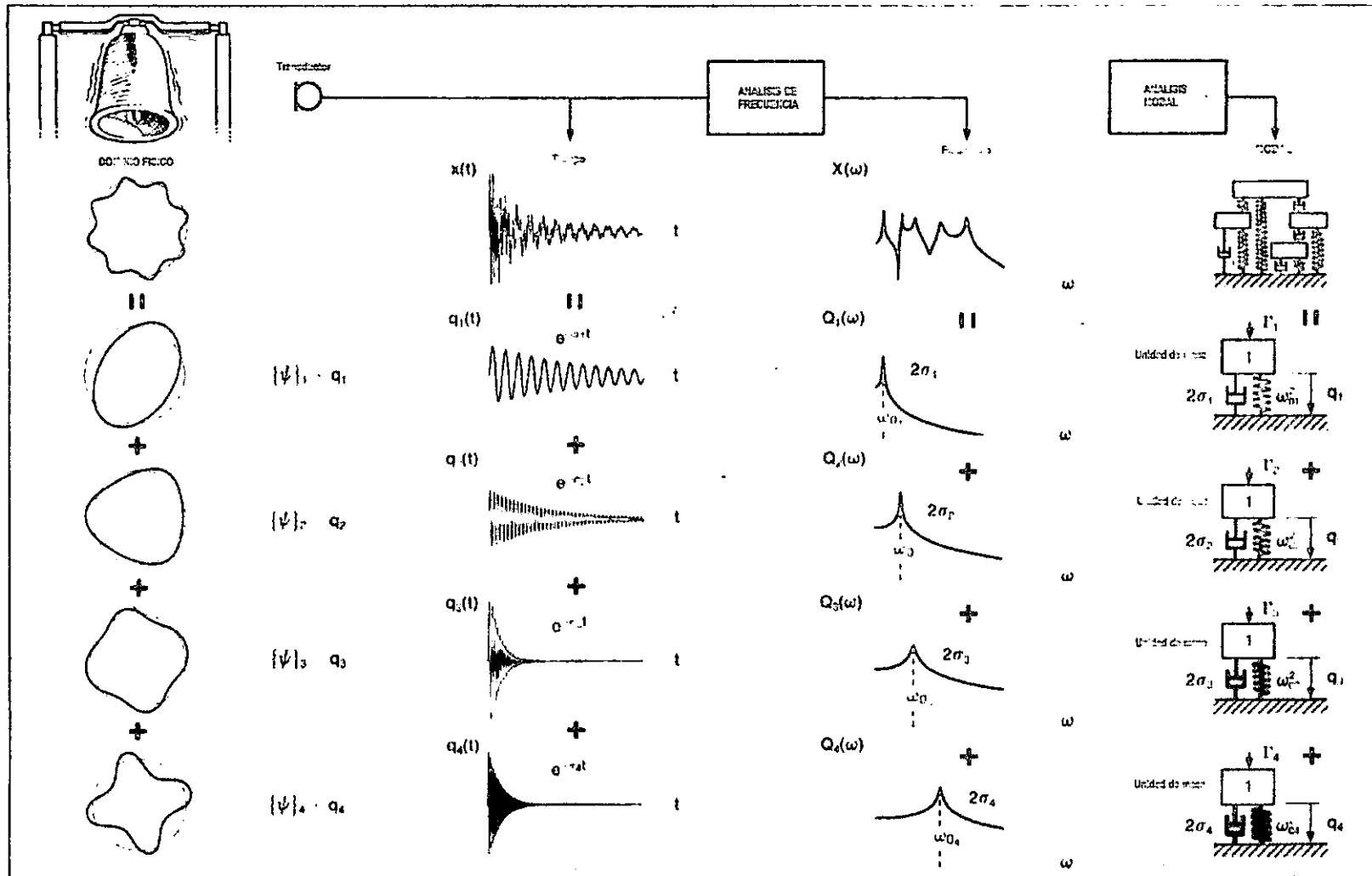


Figura 1.7
Comportamiento modal de una campana

En la ilustración se muestra que cada columna representa diferentes dominios:

En el dominio físico, la geometría compleja de flexión del modelo de la campana puede ser representada por un modelo independiente o estado de forma.

En el dominio del tiempo (vibración). Se representa el decaimiento del sonido en el tiempo desde el comienzo hasta el final.

En el dominio de la frecuencia. Analizando en términos de frecuencia (transformada de Fourier) una señal del tiempo. El espectro contiene una serie de picos, que muestran las resonancias (como picos).

En el dominio modal, vemos la respuesta de la campana como una estructura construida, como una energía de varios sistemas de un solo grado de libertad (GL).

En la ilustración a lo largo de la fila podemos ver cada modelo de (GL) asociado con la frecuencia. Los parámetros modales son:

- Frecuencia modal
- Amortiguamiento modal
- Forma modal.

Los cuales juntos forman una descripción completa de los parámetros de la estructura de todos los modos, que pueden estar dentro de los rangos de frecuencia de interés. [24]

1.9 Que se entiende por forma modal

Una forma modal, es como se vio en el ejemplo de la campana, la asociación de un modelo de flexión asociado a una frecuencia. Ocurre a una frecuencia localizada y lo podemos aislar en consecuencia del resto de los modos de vibración.

El desplazamiento físico en general, en cualquier punto siempre será la combinación de todos los modos de forma que están en la estructura.

Cuando la excitación es senoidal o armónica el desplazamiento de la estructura se debe fundamentalmente a ese modo particular de vibración, pero cuando excitamos al azar tendemos a producir arbitrariamente todas las formas modales.

1.10 Modos normales y modos complejos.

Las formas modales son divididos en dos clases:

- Modos normales

Estos pueden ser caracterizados por que todas las partes de la estructura están en fase ó 180° fuera de fase dentro de la misma estructura, los desplazamientos modales son por lo tanto positivos o negativos. Una forma modal puede ser considerada como una onda estacionaria con líneas modales en regiones donde no vibra o casi no vibra, Figura 1.8 (a)

- Modos complejos

Estas pueden tener cualquier relación de fase entre los diferentes partes de la estructura, el desplazamiento modal se puede evaluar en cualquier fase los modos complejos pueden ser consideradas como ondas en propagación y sin un nodo estacionario fijo, lineal, Figura 1.8 (b). [24]

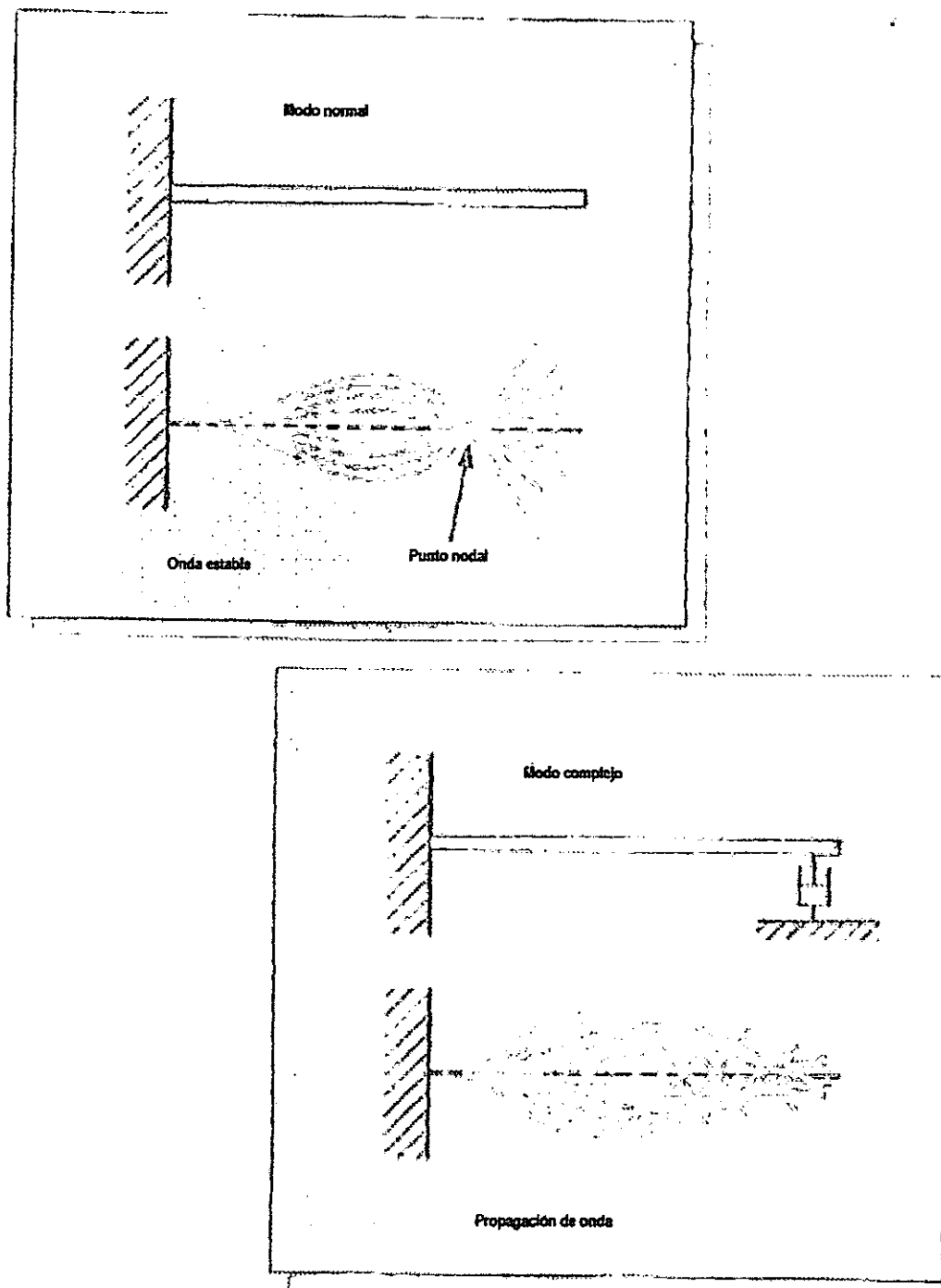


Figura 1.8
Modos de normales (a) y modos complejos (b)

*Sé que de un salto no voy a alcanzar
la luna, pero sino lo intento...
nunca tendré la certeza.*

Un soñador anónimo.

Capitulo 2

Transductores piezoeléctricos

*Te dicen descuidado porque ellos
están acostumbrados a los
jardines, no a la selva*

J. Sabines

2.1 Materiales piezocomposites.

Existen situaciones en los equipos donde ningún material es adecuado para satisfacer los requerimientos de un proceso en particular. Sin embargo, al combinarse estructuralmente dos o más materiales, se pueden conseguir propiedades deseadas y proporcionar una solución factible al problema de la selección de los materiales. A este nuevo tipo de materiales se les conoce como materiales composites.

En los piezoeléctricos, al adherir otro material (no estructuralmente) recibe generalmente el nombre de piezocomposite.

2.2 Clasificación de los dispositivos piezoeléctricos.

En las cerámicas piezoeléctricas, el diseño varia de acuerdo a la aplicación que le queremos dar, existen diferentes formas y dimensiones de estas, entre las mas que destacan podemos mencionarlas las cerámicas de una sola pieza y del tipo *multicapas* (que son dos o más cerámicas simples apiladas), que pertenecen a la clasificación que se menciona más adelante. Los transductores piezoeléctricos flexión-tensión [1-3] se utilizan cuando se requieren niveles intermedios de desplazamientos, y de fuerzas motrices, con el objeto de cubrir el vacío existente entre los actuadores bimorfos, capaces de generar desplazamientos grandes y fuerzas motrices limitadas, y el de los actuadores multicapas capaces de generar fuerzas grandes y respuestas rápidas, pero a costa de desplazamientos limitados [4].

2.2.1 Actuadores simples y bimorfos

Los actuadores simples y bimorfos son definidos por el número de pastillas o discos de cerámica piezoeléctrica: un sólo disco de cerámica es pegado a una lamina elástica y delgada (simple), o dos discos de cerámica son pegados a una lámina (bimorfos).

2.2.1.1 Actuadores simples

Un dispositivo simple esta desarrollado con una pieza de cerámica simple [12]. La

operación principal se basa en una cerámica polarizada, que al aplicarle un campo eléctrico genera un desplazamiento debido al efecto piezoeléctrico. Cuando se le aplica una corriente alterna a la pieza esta generara un movimiento vibratorio.

2.2.1.2 Actuadores bimorfos.

Los bimorfos convencionales están compuestos por dos piezas de cerámica piezoeléctrica pegados entre sí, o por dos piezas piezoeléctricas con una lámina elástica entre ambas. A estos dispositivos, cuando les es aplicado un voltaje inverso a cada cerámica, esta tiende a deformarse debido a que están pegadas y producen, un efecto contrario una de la otra.

En la figura 2.1 (a) se observa que los desplazamientos generados por una estructura bimorfa convencional, son menores debido a que esta sujeta por ambos lados de la lamina. Sin embargo usando un nuevo diseño, como se observa en la misma figura del inciso (b) aumenta el valor del desplazamiento, teniendo un tiempo de vida de 4 veces mas que el del diseño convencional [13].

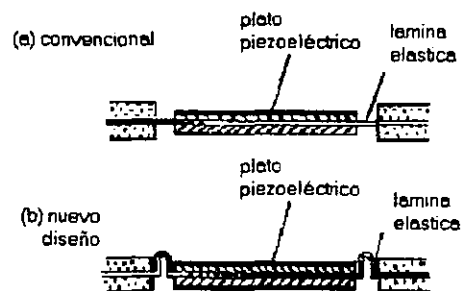


Figura 2.1 Mecanismo de doble soporte (bimorfo)

2.2.2 Actuador multicapas

Otro de los dispositivos piezocomposites más comunes son los llamados multicapas, donde mas de tres piezas de cerámica PZT son apiladas, teniendo un espesor de 1 mm, éstas son acopladas con una lamina de metal entre cada disco de PZT, dándoles la forma de un emparedado de varios pisos. La lamina de metal sirve como electrodo [10].

Este dispositivo genera un desplazamiento de 100 μm con un voltaje e 1.6 kV y una fuerza máxima de 3 000 kg. Sin embargo este método generalmente tiene algunas desventajas en la eficiencia de la manufactura y en el manejo de alto voltaje.

2.2.3 Actuadores: Tipo media luna y tipo Címbal

2.2.3.1 Piezocomposites tipo media luna (Moonie)

Los piezocomposites tipo luna consisten en un disco piezoeléctrico polarizado en la dirección axial, se le adhieren dos cápsulas metálicas que tienen una cavidad en forma de media luna, (una por cada lado de la pastilla) dándole la apariencia de un emparedado [5] Este material composite fue desarrollado para ampliar los desplazamientos perpendiculares inducidos por una pastilla de cerámica piezoeléctrica, figura 2.2 (a)

Si se compara al actuador multicapas y al actuador tipo media luna, a las mismas condiciones de trabajo con un voltaje de 60 V y con las mismas dimensiones (5 mm x 5 mm x 2.5 mm), vemos que el actuador tipo media luna genera un desplazamiento de 20 μm , que es 8 veces mas largo que el del dispositivo multicapas [11].

2.2.3.2 Piezocomposites tipo Címbal

El piezocomposite tipo címbal asimétrico, consiste de un disco de PZT que tiene en cada una de sus caras una lámina metálica en forma de cono truncado (aleación de kovar). Este dispositivo esta unido por medio de una resina epóxica, (por el borde del disco cerámico) dejando una cavidad interna entre la cerámica y el kovar [3, 6].

Los actuadores tipo címbal generan desplazamientos entre 20-100 μm , y fuerzas generatrices máximas 3N. El tiempo de respuesta que tienen va de 20 μs a 100 μs y demuestran una baja fatiga en pruebas de larga duración (10^7 ciclos).

El movimiento radial del piezocerámico se transforma por medio de las cápsulas metálicas en movimientos rotacionales y flexotensionales. De esta forma, se obtiene un desplazamiento amplificado del composite en la dirección perpendicular al disco cerámico, coincidiendo con la dirección de polarización. Como sensor presenta una

elevada sensibilidad hidrostática con una ligera dependencia con la presión. La respuesta a aceleraciones a baja frecuencia es mas de 50 veces mayor que la observada en los discos de PZT sin encapsular.

La respuesta a la frecuencia es función del diseño de la cavidad metálica y las características de sintonización son únicas en este tipo de composites. Figura 2.2 (b).

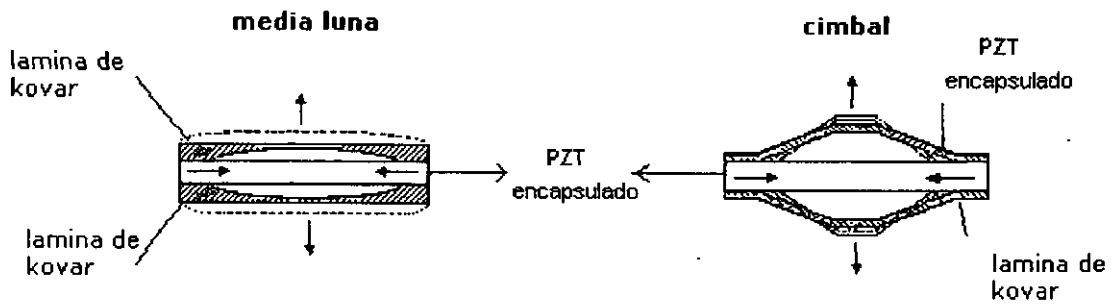


Figura 2.1

Actuador tipo luna (a) y un actuador luna modificado (Címbal) (b)

En la siguiente gráfica, figura. 2.3, se muestra el desplazamiento del PZT sin encapsular, el desplazamiento del actuador tipo media luna y el del actuador címbal asimétrico a las mismas condiciones[9].

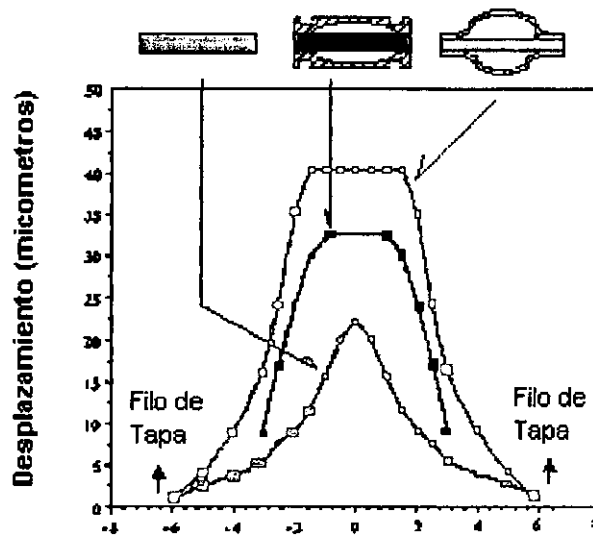


Figura 2.2

Evolución del desplazamiento del dispositivo tipo media luna

Dios también esta en lo más pequeño.

(de un pensamiento mientras hacia las mediciones)

Capitulo 3

Procedimiento experimental

A falta de un buen nombre te llamaremos: Blue!

PK y compañía.

Capítulo 3

3.1 Procedimiento Experimental

El transductor estudiado en este trabajo, es el dispositivo llamado címbal asimétrico las pastillas piezoeléctricas fueron proporcionadas por el Departamento de Electrocerámica, Instituto de Cerámica y Vidrio, Arganda del Rey, Madrid, España. La cerámica piezoeléctrica de PZT que estudiaremos es de 12.7 mm de diámetro y 1 mm de espesor, se obtuvo por reacción en estado sólido siguiendo el método cerámico [7] para el titanato zirconato de plomo con la formulación equivalente a un PZT tipo PZT 5A [8] Los discos fueron tratados térmicamente a 400°C para disminuir esfuerzos internos, después se polarizaron, durante 15 minutos a 120°C dentro de un baño de silicona, con un campo eléctrico de 40 kV/cm; A continuación se dejó enfriar el baño durante 30 minutos, hasta 80°C, a partir de ahí se desconectó el campo eléctrico. Como material para las cápsulas se utilizó una lámina metálica de la aleación denominada kovar (54% Fe, 29% Ni, 17% Co) de 250 µm de espesor. La forma final se obtuvo por troquelado aplicando una presión de 100 MPa, el diámetro de la cavidad es 8.7 mm y su espesor 2.70 mm [3]. El disco cerámico de PZT y la cápsula se unieron a lo largo del perímetro con ayuda de una resina epóxica. Las uniones se llevaron a cabo cuidadosamente evitando que se impregnara de manera accidental de la resina epóxica. Para mejorar la unión, se aplicó una pequeña presión por medio de un pistón en las áreas de contacto. El actuador tipo címbal se recubrió con un disco de papel retroreflectivo (22 mg de peso) este papel tiene la propiedad de reflejar la luz en la misma dirección de incidencia tal como se requiere en el sistema de medición.

3.2 Sujeción de las pastillas

Para comparar como influye el tipo de sujeción en los modos de vibración, se probaron cuatro anclajes diferentes. La primer sujeción se hizo pegando la pastilla por uno de sus bordes a una cabeza esférica de alfiler de plástico, figura 3.1, esté a su vez se fijó a un vástago de un posicionador óptico de dos dimensiones, posibilitándose así el desplazamiento del dispositivo a lo largo del plano XZ. El objetivo de sujetar la pastilla

desplazamiento del dispositivo a lo largo del plano XZ. El objetivo de sujetar la pastilla de esta manera es para evitar agentes externos que hicieran vibrar a la pastilla de diferente manera, se trato de dejar a la pastilla lo mas libremente posible y acercar a las mediciones a condiciones reproducibles en cualquier laboratorio a las mismas condiciones. De esta manera el dispositivo puede vibrar sin ninguna constricción, al estar suspendido únicamente de un punto. Figuras 3.1 y 3.2

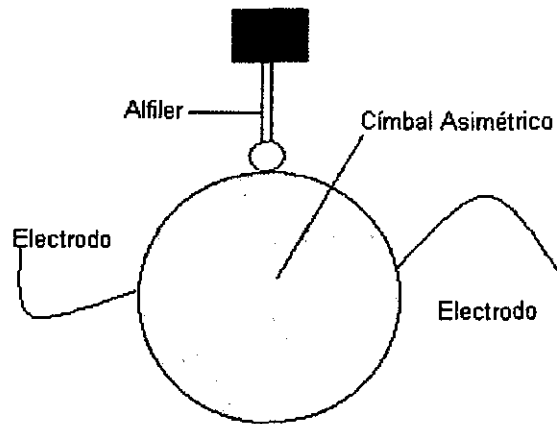


Figura 3.1 címbal asimétrico suspendida en un punto

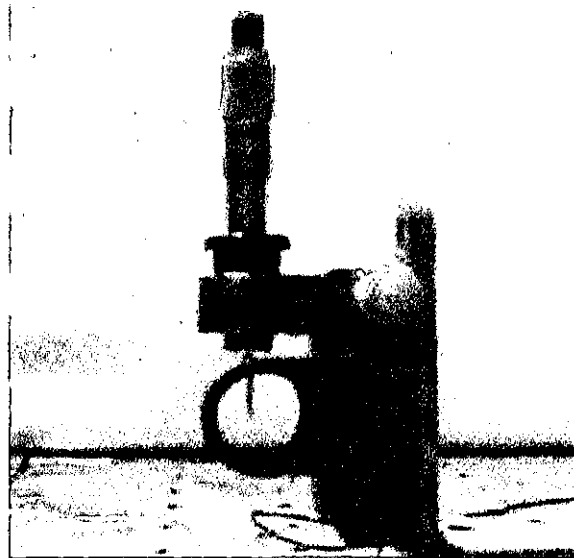


Figura 3.2 Posicionador óptico de dos dimensiones, visto de perfil, en la figura se puede observar la pastilla PZT suspendida.

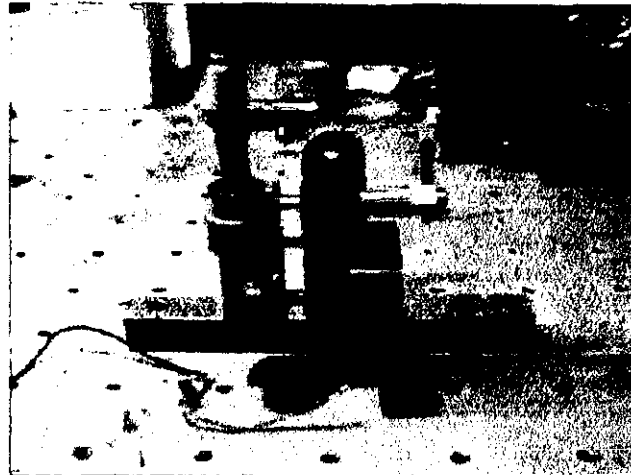


Figura 3.3 Posicionador de dos dimensiones vista frontal, el haz del rayo láser esta apuntando a la pastilla.

Una segunda forma de sujetar las pastillas, fue anclándolas dentro de la circunferencia interior de una rondana, figura 3.4. La tercera y cuarta formas de sujetar las pastillas, fue anclándolas en dos y cuatro puntos respectivamente. Ver figuras 3.5 y 3.6.

Para todas las sujeciones se utilizó el vástago de un posicionador óptico de dos dimensiones, posibilitándose así el desplazamiento del dispositivo a lo largo del plano XZ.

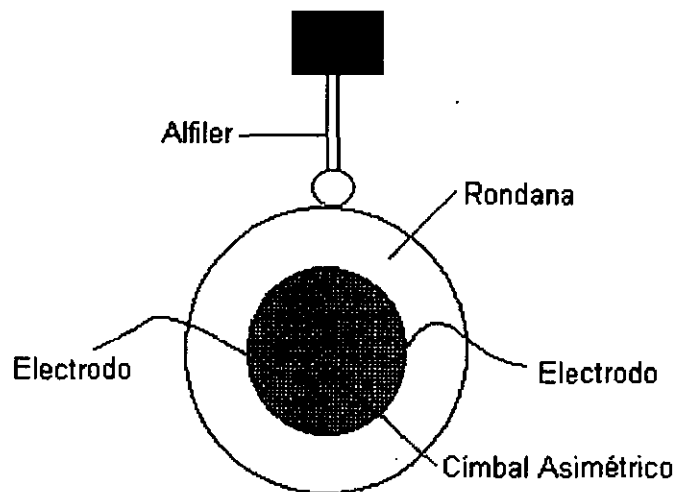


Figura 3.4 Címbal asimétrico anclado a una rondana

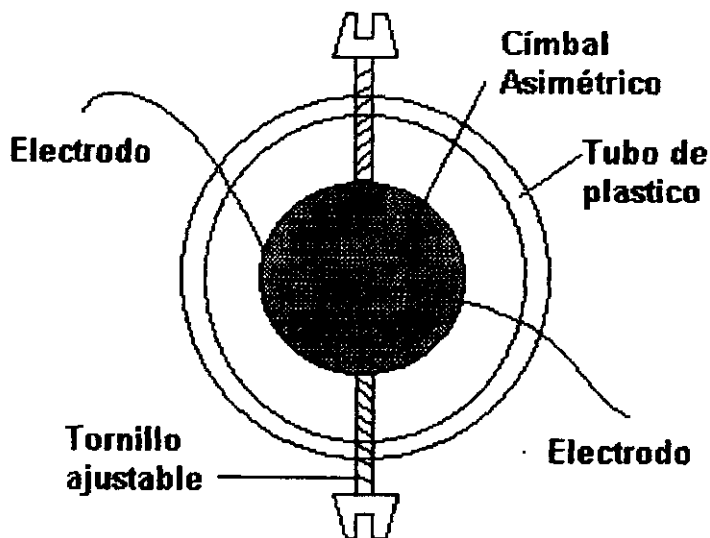


Figura 3.5

Címbal asimétrico anclado a dos puntos

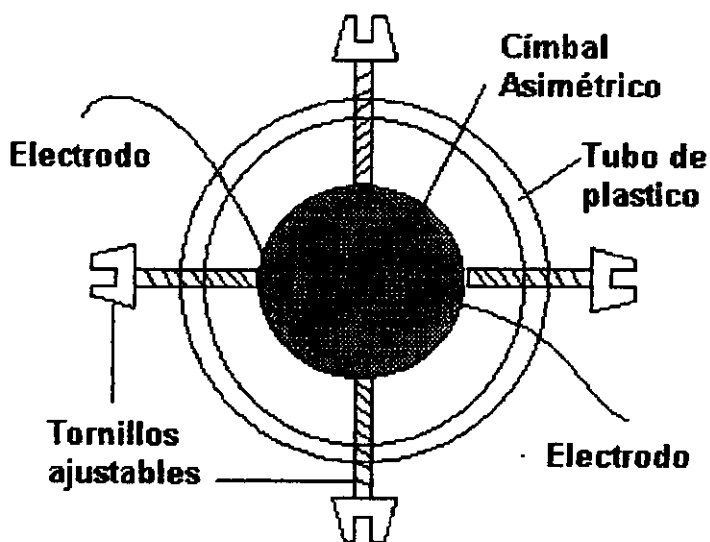


Figura 3.6

Címbal asimétrico anclado a cuatro puntos

3.3 Excitación y respuesta

Para la obtención del espectro de resonancia, se utilizó el montaje del equipo de la figura 3.7 a una frecuencias de 20 Hz – 25 kHz, se obtuvo midiendo en diversos puntos del disco la velocidad de vibración resultante, al excitar a la pastilla con una señal eléctrica con un espectro de ruido blanco. Para medir la velocidad de vibración de las pastillas se utilizó un vibrómetro láser (B & K 8323, ver anexo 1), que utiliza el efecto Doppler sobre la luz reflejada por una superficie vibrante, para obtener información de su velocidad de vibración. El haz de salida del instrumento se dirige a la superficie vibrante y la señal medida es la componente de velocidad del haz reflejado en la dirección de incidencia, por lo que se tiene que asegurar la perpendicularidad del haz con respecto a la superficie. La amplitud de la salida de voltaje del vibrómetro láser es proporcional a la velocidad de vibración y la señal es un análogo de éste (la calibración del vibrómetro láser fue de: $1 \text{ V} = 1 \text{ m/s}$). El voltaje de salida se conectó a un canal de un analizador digital de Fourier (B & K 2034, ver anexo 2), mientras que en la otra entrada se conecta una derivación de la señal eléctrica de ruido blanco que a través de un amplificador de audio (Yamaha AX380, ver anexo 3) excita a la pastilla. Para proteger el amplificador se conectó una resistencia de 10Ω , 20 W, en paralelo con el dispositivo para disipar parte de la potencia generada. El voltaje promedio de excitación a la entrada de la pastilla fue de 20 V rms. El analizador calcula la relación de los espectros de los dos canales para obtener el cociente entre velocidad y voltaje de excitación. Esta función está relacionada con la función de transferencia denominada admitancia mecánica (velocidad/fuerza) y presenta máximos en las resonancias mecánicas (la frecuencia de resonancia de velocidad se define como la frecuencia a la que la velocidad es un máximo).

Para la obtención de los modos de vibración se utilizó el montaje del equipo de la figura 3.8. Se excitó la pastilla con una señal senoidal de un generador de funciones (HP 204, ver Anexo 4) con un rango de frecuencia de 20 Hz – 20 kHz. El generador se conectó a su vez al amplificador de audio con el fin de excitar a la pastilla. Para medir la velocidad de vibración de las pastillas nuevamente se utilizó el vibrómetro láser conectando el voltaje de salida de éste a un analizador digital de Fourier, donde el

espectro de la señal vibratoria se puede observar claramente. Se midió la amplitud del voltaje rms de esa línea, que es proporcional a la amplitud de la velocidad de vibración. Se obtuvieron los datos de la velocidad de vibración en una matriz de puntos sobre la superficie de la pastilla. Esta malla de puntos fue recorrida secuencialmente moviendo la pastilla, por pasos constantes en la dirección x y en la dirección z . De esta manera se obtuvo una matriz de datos de velocidad que corresponden punto a punto a la red o malla virtual de puntos sobre la pastilla. La gráfica en tres dimensiones de estos datos $v(f_n, x, z)$ para cada frecuencia de excitación f_n nos da el módulo de la velocidad de vibración de la superficie a esa frecuencia. Al dividir la magnitud de la velocidad entre la frecuencia angular de excitación ($2\pi f_n$) se obtiene la magnitud (módulo) del desplazamiento (rms) de la superficie a esa frecuencia en determinado punto. Las gráficas se obtuvieron con Matlab haciendo una matriz para cada frecuencia de excitación y un pequeño programa para el despliegue de las mismas.

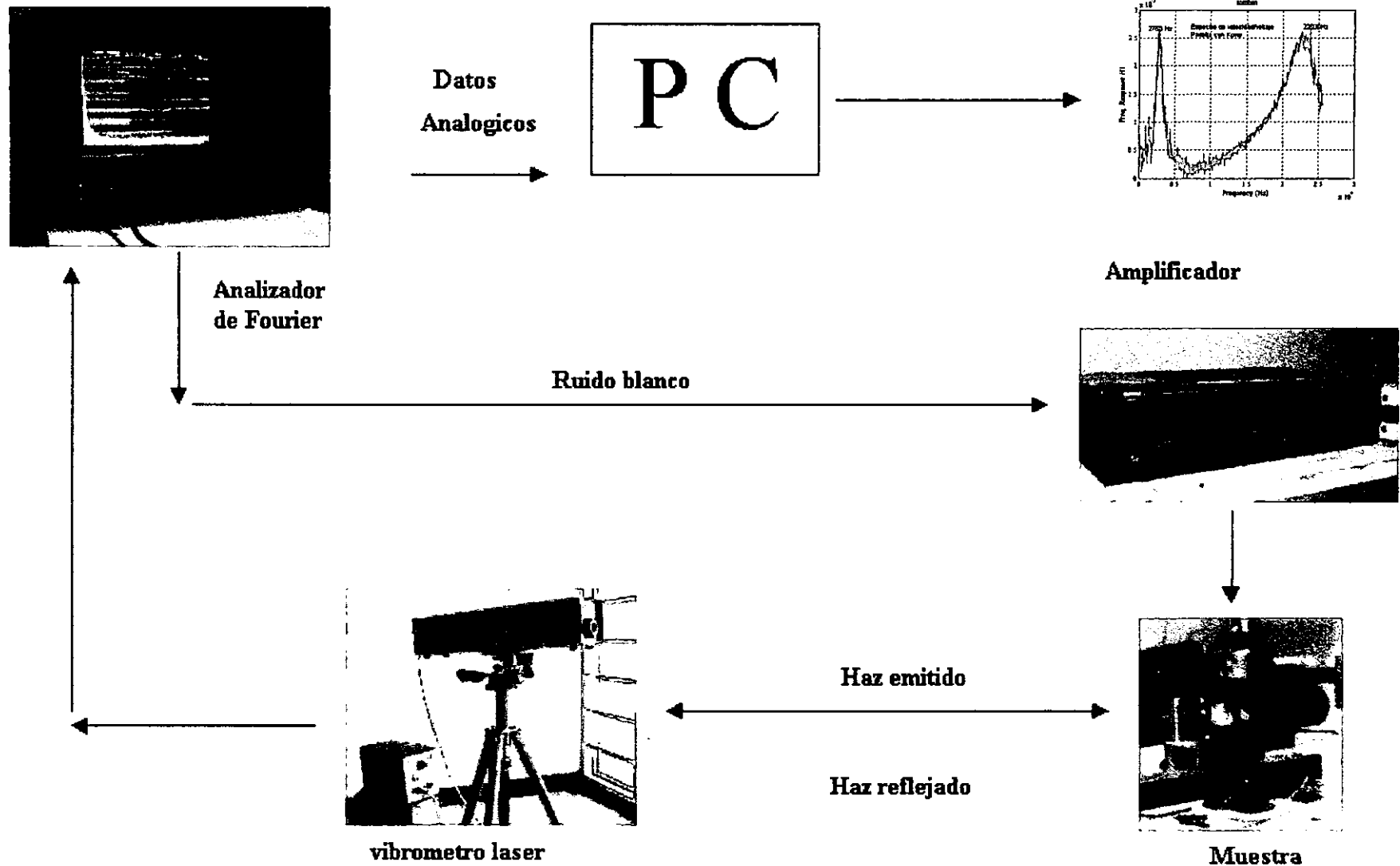


Figura 3.7
Equipo utilizado para la obtención del espectro de resonancia

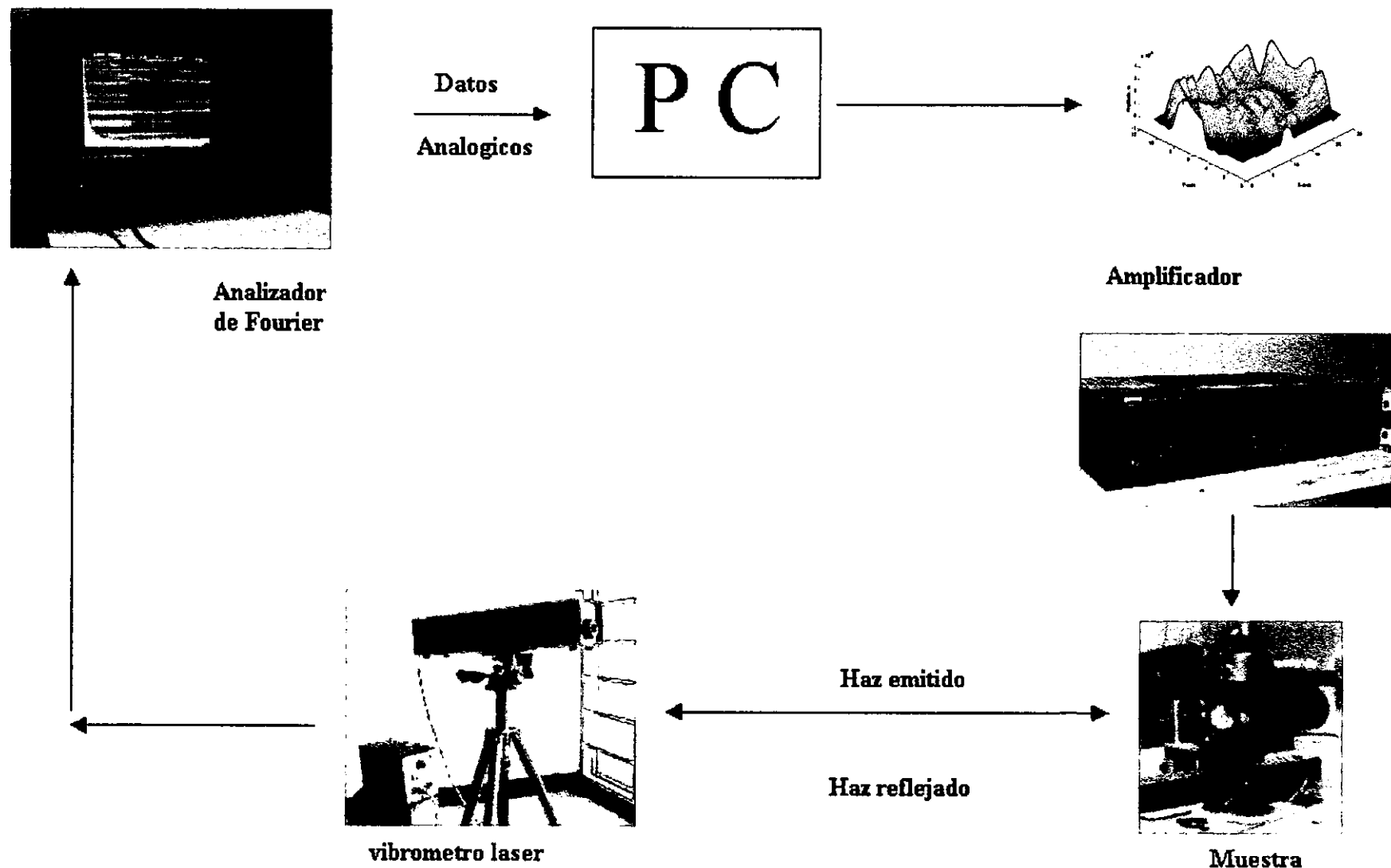


Figura 3.8
Equipo utilizado para la obtención de los modos de vibración

*La visualización es la
clave para el entendimiento.*

Capítulo 4

Análisis de los resultados

*Cuando el espíritu está dispuesto
la materia será inquebrantable.*

S. Cortés

CAPITULO 4

Análisis de los resultados.

En la figura 4.1-A se muestra el espectro de vibración (velocidad / amplitud de voltaje de excitación), del címbal asimétrico hasta 25 kHz. Al ser sometido el dispositivo a frecuencias entre 20 Hz y 20 kHz. Se percibió la emisión de señales audibles en el intervalo de ~1 kHz a 20 kHz y en particular en dos zonas de frecuencia el sonido emitido aumentaba en intensidad (midiéndolo auditivamente) lo que parecía indicar la existencia de resonancias de menor amplitud en esa zona espectral. Se procedió a hacer las mediciones en el címbal asimétrico para investigar si efectivamente había frecuencias en las que la amplitud de las vibraciones fueran mayores. Se observa que en este intervalo la vibración del sistema está definida por dos picos de resonancia, el primero a 2.75 kHz con una anchura aproximada de 0.1 kHz y el segundo centrado en 22.5 kHz con una anchura estimada de 5 kHz (entre frecuencias donde la amplitud de la velocidad es igual a la mitad de la amplitud máxima).

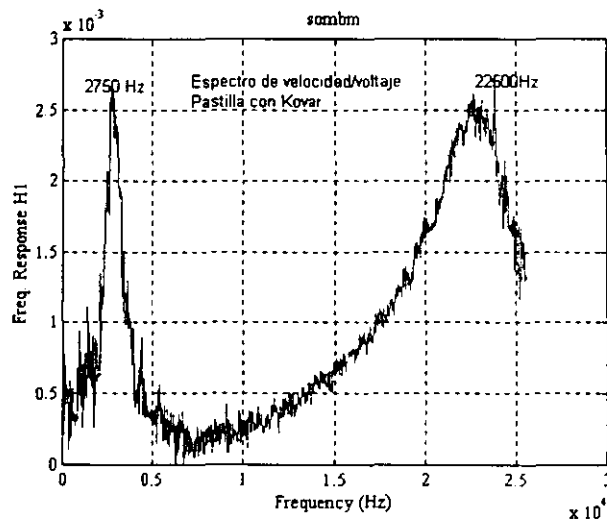


Figura 1.4-A

Espectro de vibración del címbal asimétrico

Dada la fuerte diferencia en la forma de los picos (anchuras) es de esperar que la forma de vibración del dispositivo esté marcada mayoritariamente por el pico de 22.5 kHz y que el predominio del primero de ellos ocurra exclusivamente a frecuencias muy próximas a los 2.75 kHz. La explicación de porqué aparece este modo es debido a la configuración experimental del dispositivo de medida, el primer modo de vibración está relacionado con la fijación del dispositivo en la punta de un alfiler. De esta forma el dispositivo vibraría como una especie de cantilever anclado. Pero podría ser también que a esta frecuencia el metal y la pastilla se flexionen efectivamente como mariposa con una línea nodal. La reducción en frecuencia del modo de vibración correspondiente a la cápsula metálica podría estar relacionada con la carga de la película retroreflectiva. La adhesión de un disco de 3mm de diámetro y 28 mg de masa en la parte superior del cono truncado de la cápsula metálica provoca una reducción del modo de vibración en 8 kHz en un címbal asimétrico

En los grupos A y B se muestran, con fines de comparación las formas de vibración del dispositivo por cada una de sus caras a diferentes frecuencias. Por la cara de la cápsula metálica de Kovar se presentan en el grupo A Las amplitudes de vibración a 2.7 kHz (fig. 4.1) , 8.0 kHz (fig. 4.2), 11.8 kHz (fig. 4.3) y 20 kHz (fig. 4.4), con valores de amplitudes de vibración que van de 100 a 300 nm de manera creciente según su proximidad al máximo de resonancia en 22.5 kHz. En la figura fig. 4.1 se presenta la forma de vibración que denominamos de doble ala o de mariposa, con mayor amplitud en los bordes de la pastilla que en el centro. Para frecuencias superiores se observa un incremento de la amplitud junto con un centrado del desplazamiento en el dispositivo, lo que le confiere una forma de sombrero. Si se interpretan estas formas de vibración con base en el espectro de la figura 1.4-A, puede presuponerse una correlación del modo de vibración de doble ala, a 2.7 kHz, con el pico de resonancia de esa misma frecuencia. A mayores frecuencias la forma correspondería fundamentalmente a la influencia del modo de mayor anchura centrado a 22.5 kHz.

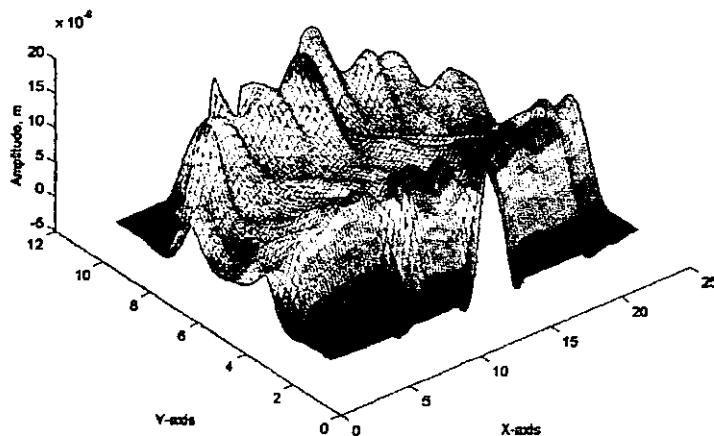
En el grupo B se presentan las amplitudes y formas de vibración del címbal asimétrico por el lado de la cerámica PZT. Nuevamente, el modo a 2.7 kHz (fig. 4.5) es del tipo doble ala lo que denota la influencia del primer pico de resonancia. Sin embargo, en las frecuencias siguientes de 8.0 kHz (fig. 4.6) y 11.8 kHz (fig. 4.7), se observa una doble

tendencia. Por una parte, de manera similar a lo que se vio en la cara del kovar, va apareciendo un máximo relativo de amplitud en el centro de la pastilla, mientras que por el otro lado se conservan los valores máximos de amplitud en los bordes de la pastilla. A lo anterior se añade la formación de una zona vibracional de forma circular que separa las zonas vibrantes del borde y centro de la pastilla, de menor amplitud probablemente producida por la rigidez de la cápsula en esta zona y la resina epóxica. La forma y dimensión de esta zona de poca amplitud sugiere una sociación con la estructura de kovar en la cara opuesta. La forma de la estructura metálica y su rigidez mecánica anclan esta zona en la cara opuesta.

En la tabla 4.1 y 4.2 se hace un resumen de los grupos A y B respectivamente.

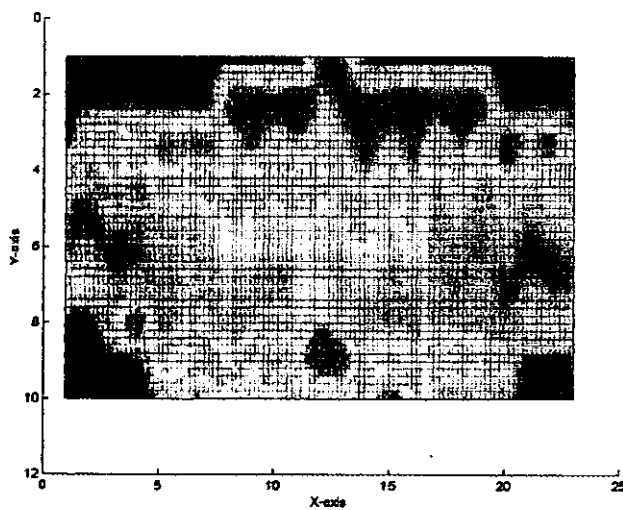
Tabla No. 1 Grupo A

	Fig. 4.1	Fig. 4.2	Fig. 4.3	Fig. 4.4
Tipo de sujeción	En un punto	En un punto	En un punto	En un punto
Medición tomada por la cara	Kovar	Kovar	Kovar	Kovar
Frecuencia (Hz)	2 750	8 000	11 800	20 000
Amplitud Máxima (m)	0.180×10^{-6}	0.10×10^{-6}	0.14×10^{-6}	0.26×10^{-6}

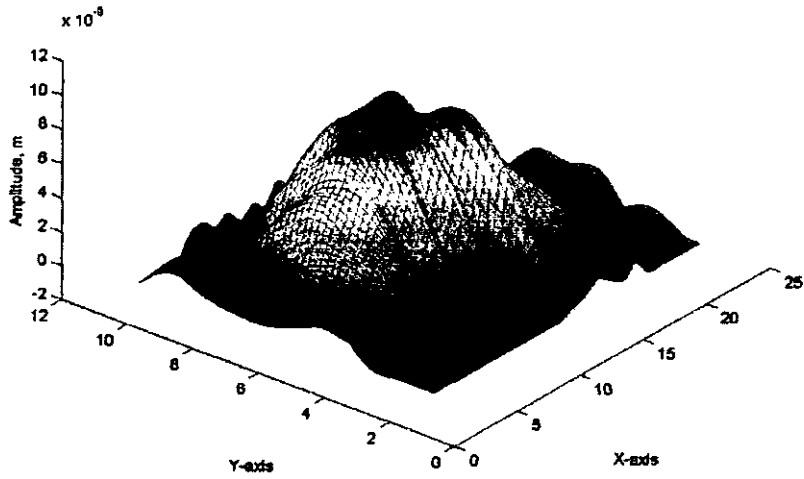


Grupo A, Figura N.4.1

Modo de vibración del címbal asimétrico por la cara del kovar a una frecuencia de 2 750 Hz

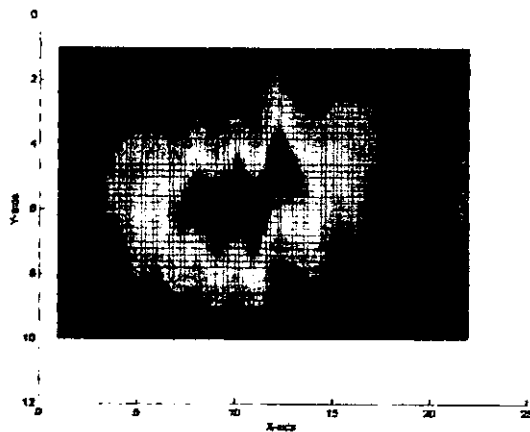


Vista superior

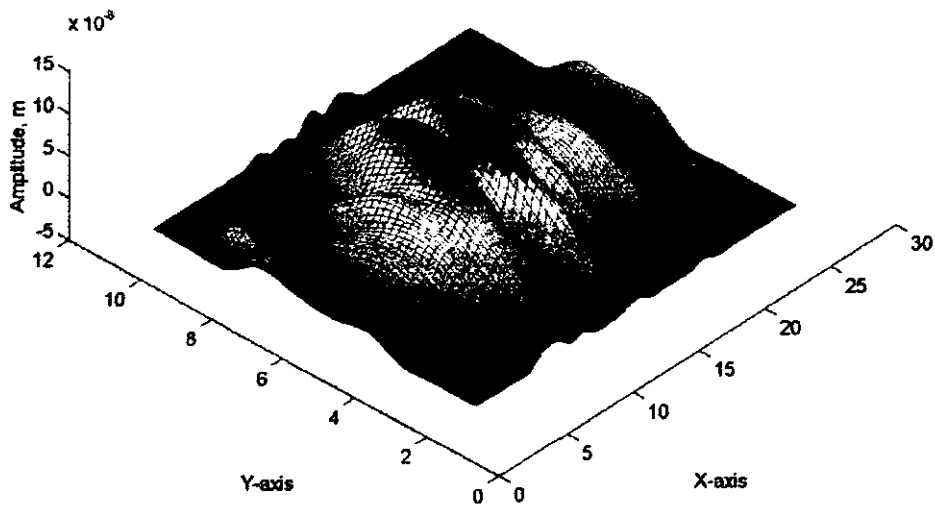


Grupo A, Figura No. 4.2

Modo de vibración del címbal asimétrico por la cara del kovar a una frecuencia de 8 000 Hz

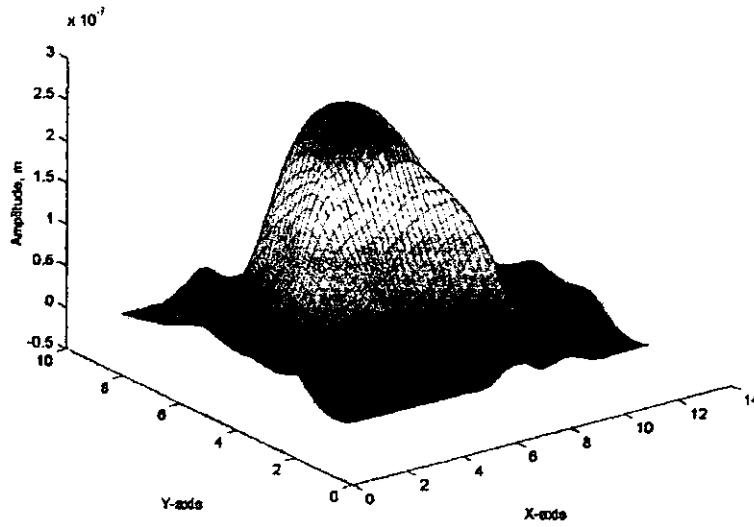


Vista superior



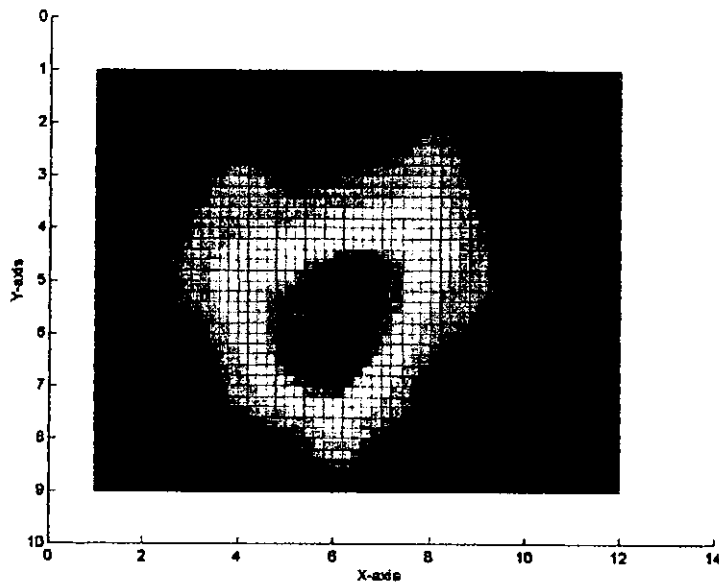
Grupo A, Figura No. 4.3

Modo de vibración del címbal asimétrico por la cara del kovar a una frecuencia de 11.8 kHz



Grupo A, Figura No. 4.4

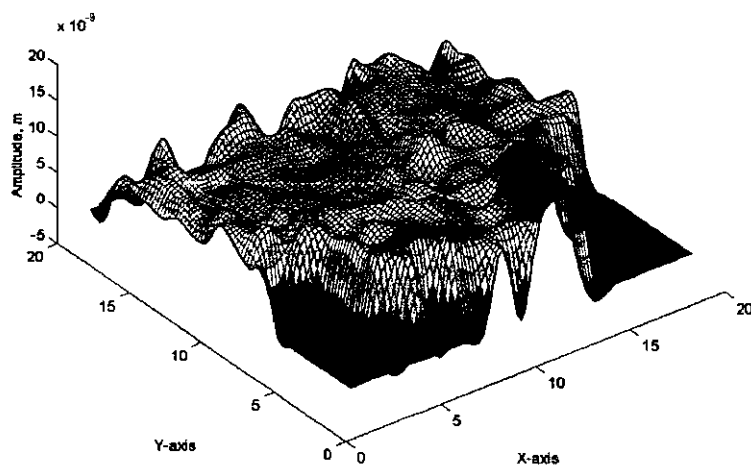
Modo de vibración del címbal asimétrico por la cara del kovar a una frecuencia de 20 kHz



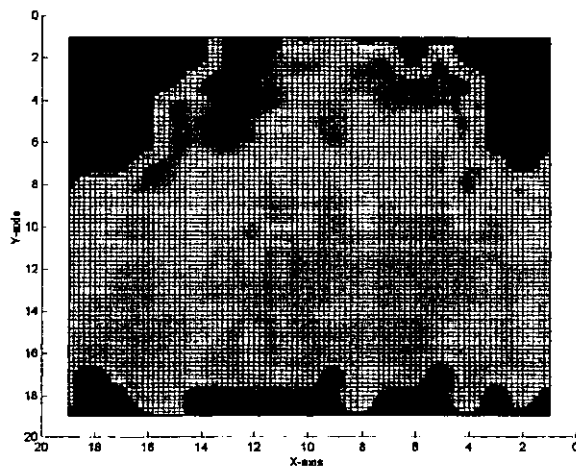
Vista Superior

Tabla No. 2 Grupo B

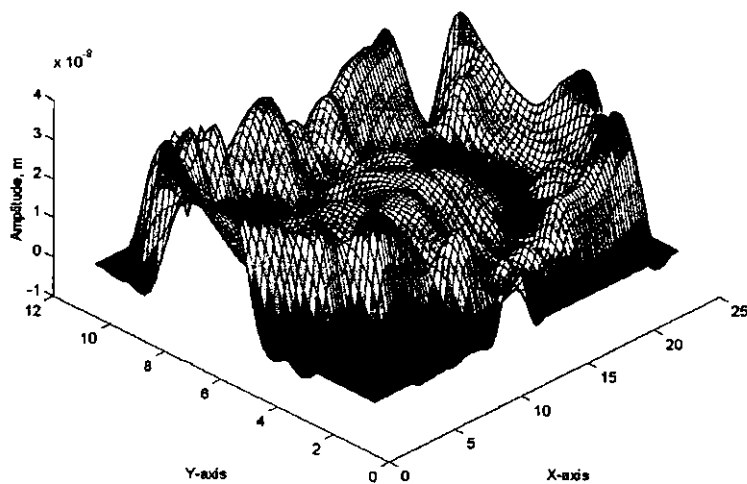
	Fig. 4.5	Fig. 4.6	Fig. 4.7
Tipo de sujeción	En un punto	En un punto	En un punto
Medición tomada por la cara	PZT (sin encapsular)	PZT	PZT
Frecuencia (Hz)	2 950	8 000	11 800
Amplitud Máxima (m)	0.016×10^{-6}	0.036×10^{-6}	0.053×10^{-6}



Bloque B, Figura N.4.5
Modo de vibración del PZT (sin encapsular) a una frecuencia de 2 950 Hz.

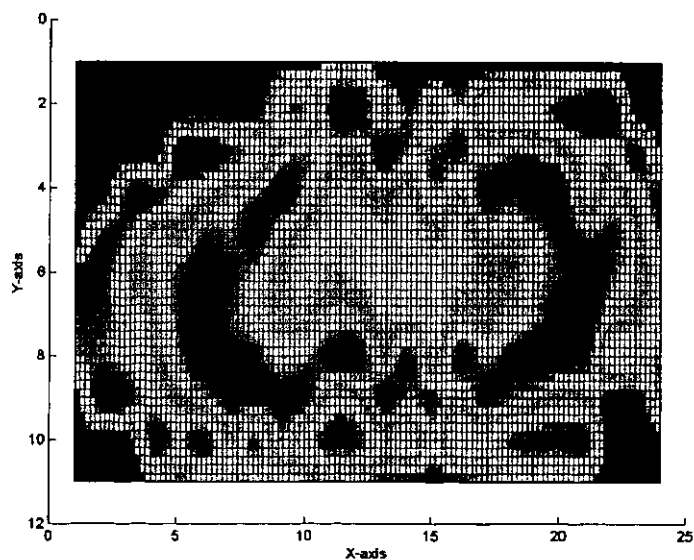


Vista superior

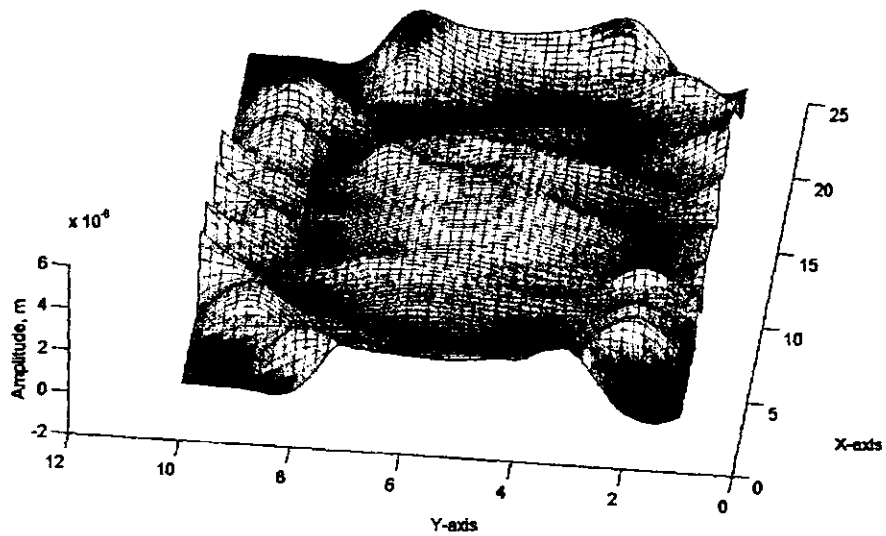


Grupo B, Figura No. 4.6

Medición del piezocomposite tipo címbal (pastilla de PZT con kovar), la medición se hizo por el lado del PZT a una frecuencia de 8 000 Hz



Vista superior



Grupo B, figura 4.7

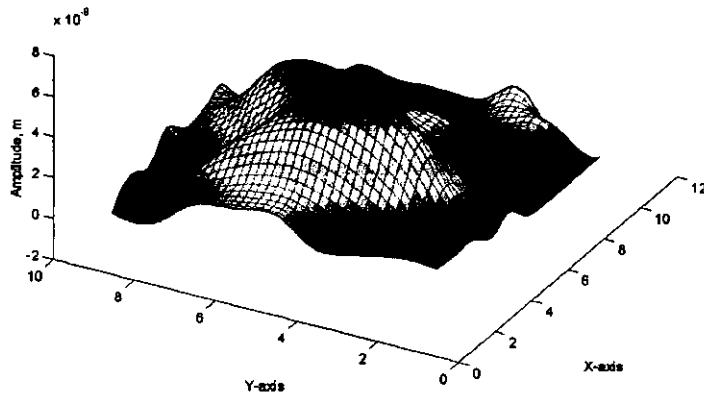
**Medición del címbal asimétrico (pastilla PZT-kovar), la medición se hizo
Por la cara del PZT a una frecuencia de 11.8 kHz.**

En el grupo C se muestran las figuras 4.8 y 4.9 a una frecuencia de 2 750 Hz c/u, pero con diferentes condiciones de anclaje. En la figura 4.8, la pastilla se encuentra libre de anclajes, quedando depositada en una cama de hule espuma, podemos apreciar como se presenta una protuberancia en forma de chipote, muy parecido a los modos de vibración de las figuras de los grupos A y B, esto se debe a que el espectro de resonancia de la figura 1.4-A es el mismo. En la figura 4.9, la pastilla se encuentra sujeta a dos puntos en forma vertical, se encontró una amplitud de 0.076×10^{-6} m, comparando ambos desplazamientos observamos un mayor desplazamiento en la figura 4.9.

En la siguiente tabla, se hace un resumen de los resultados obtenidos.

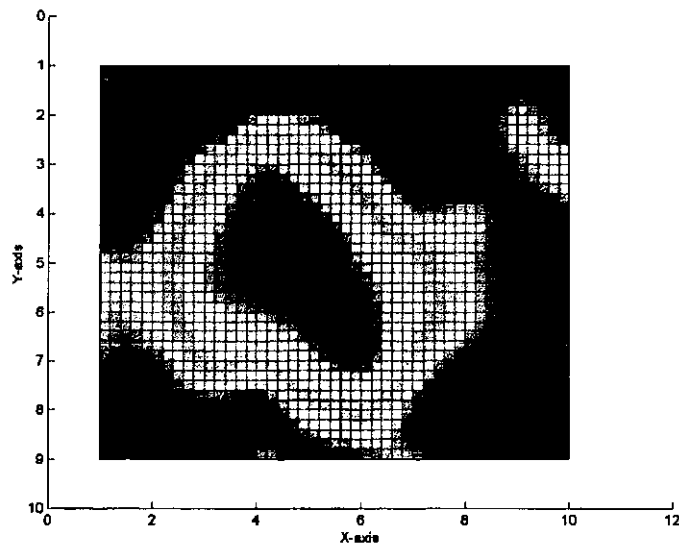
	Fig.4.8	Fig. 4.9
Tipo de sujeción	La pastilla se encuentra depositada en una cama de hule espuma, libre de anclajes	En dos puntos
Medición tomada por la cara	Kovar	Kovar
Frecuencia (Hz)	2 750	2 750
Amplitud Máxima (m)	0.063×10^{-6}	0.076×10^{-6}

Tabla 3-C

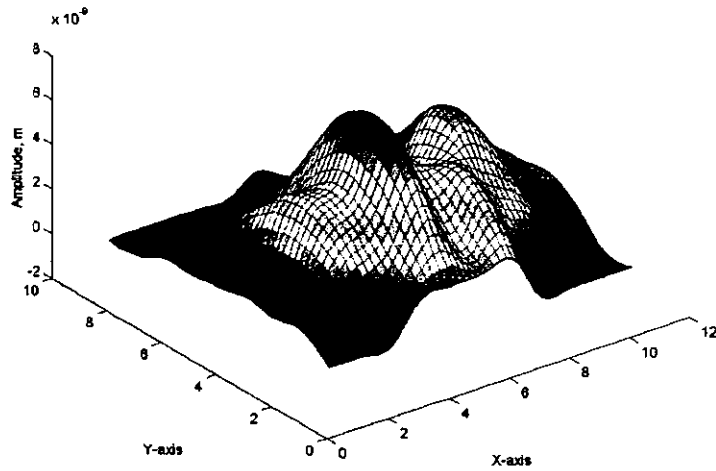


Grupo C, Figura No. 4.8

Modo de vibración del címbal asimétrico. El piezocomposite se encuentra libre anclajes, la pastilla se encuentra depositada en una cama de hule espuma. La medición se hizo por el lado del kovar, a una frecuencia de 2 750 Hz

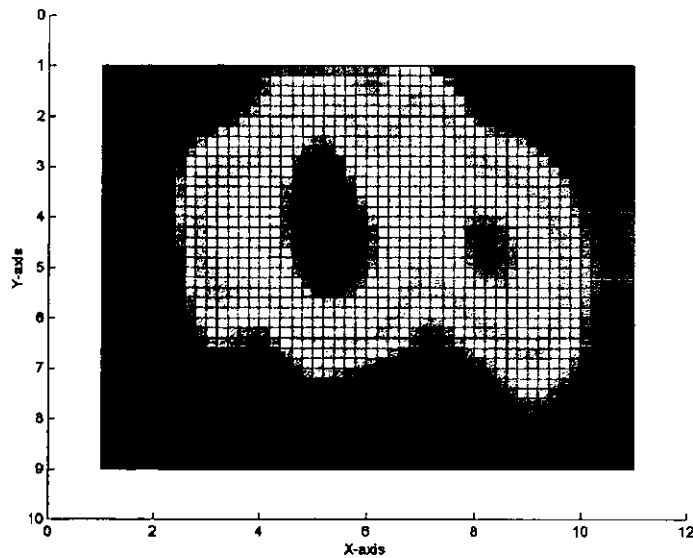


Vista superior



Grupo C, Figura 4.9

Medición del piezocomposite tipo címbal (pastilla de PZT-kovar), el piezocomposite se encuentra sujeta a dos puntos, la medición se hizo por el lado del kovar a una frecuencia de 2 750 Hz



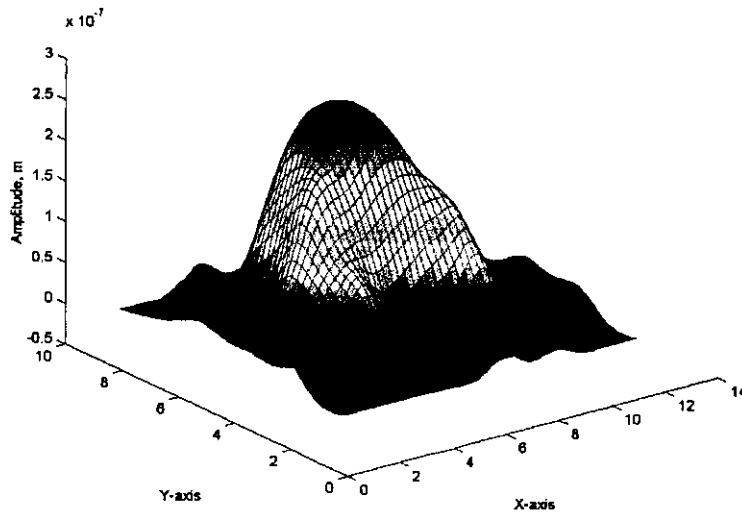
Vista superior

En el grupo D, se muestran las figuras 4.4 y 4.10 a diferentes condiciones de sujeción, y en un rango muy cercano de frecuencia. En la figura 4.4 se muestran el modo de vibración del címbal asimétrico, la pastilla esta sujeta a un punto, el modo de vibración de esta figura puede ser explicada ya que al estar mas cerca del segundo pico del modo de vibración de nuestro espectro de resonancia (22 500 Hz) ver figura 4.1-A, el comportamiento vibracional aumento apareciendo un máximo relativo de amplitud en el centro de la pastilla, dándole la forma a la que nosotros llamamos de sombrero, la forma y dimensión de la pastilla también se debe a la lamina de kovar en forma de media luna. En la figura 4.10, el címbal asimétrico se encuentra sujeto a cuatro puntos (cuatro puntos cardenales), el comportamiento vibracional de la pastilla tiende a comportarse con una ligera protuberancia en forma de chipote en el centro de la pastilla. Comparando ambas vibraciones, encontramos un desplazamiento mayor en la figura 4.4 siendo este desplazamiento de 15 veces más grande, que el de la figura 4.10.

En la siguiente tabla, se hace un resumen de los resultados obtenidos.

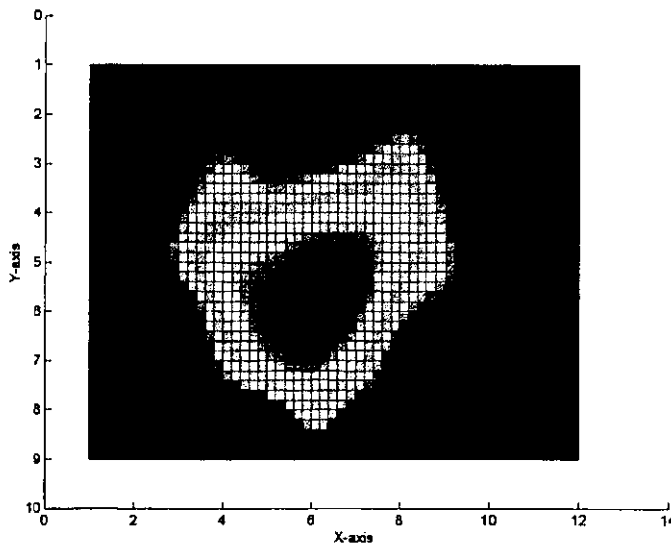
	Fig. 4.4	Fig. 4.10
Tipo de sujeción	En 1 punto	En cuatro puntos
Medición tomada por la cara	Kovar	Kovar
Frecuencia (Hz)	20 000	17 000
Amplitud Máxima (m)	0.260×10^{-6}	0.017×10^{-6}

Tabla 4-D



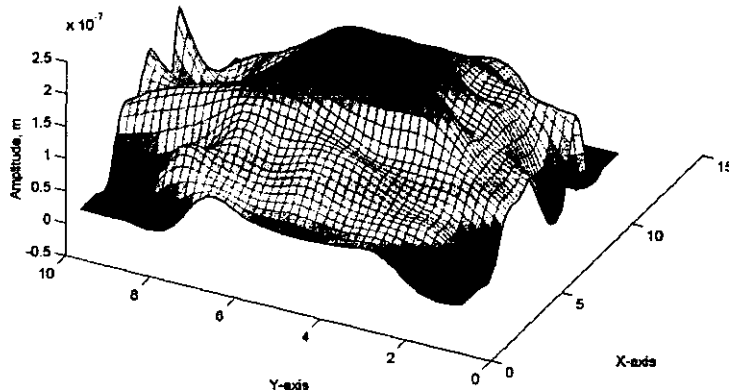
Grupo D, Figura No. 4.4

Modo de vibración del címbal asimétrico por la cara del kovar a una frecuencia de 20 kHz



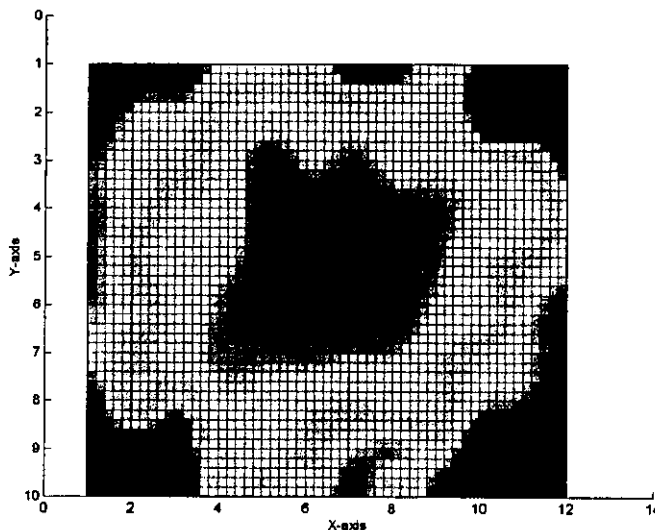
Vista superior

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



Grupo D, Figura No. 4.10

Modo de vibración del címbal asimétrico. El piezocomposite se encuentra sujeta a cuatro puntos, la medición se hizo por el lado del kovar a una frecuencia de 17 100 Hz



Vista superior

En la figura 4.11, Pastilla de PZT (sin encapsular) la medición se hizo en una lamina flexible soldada a la pastilla en forma de cometa, la pastilla tipo cometa se encuentra sujeta a la cabeza de un alfiler quedando suspendido en el aire. La medición únicamente se hizo en el área de la lamina, a una frecuencia de 13 600 Hz, esta medición se hizo con el fin de comprobar si la pastilla del PZT (sin encapsular) era capaz de transmitir una vibración a un elemento externo, en este caso es la lamina flexible.

En la siguiente tabla, se hace un resumen de los resultados obtenidos.

	Fig. 4.11
Tipo de sujeción	En un punto
Medición tomada en	Una lamina adherida a la pastilla de PZT en forma de cometa
Frecuencia (Hz)	13 600
Amplitud Máxima (m)	0.011×10^{-6}

Tabla 5

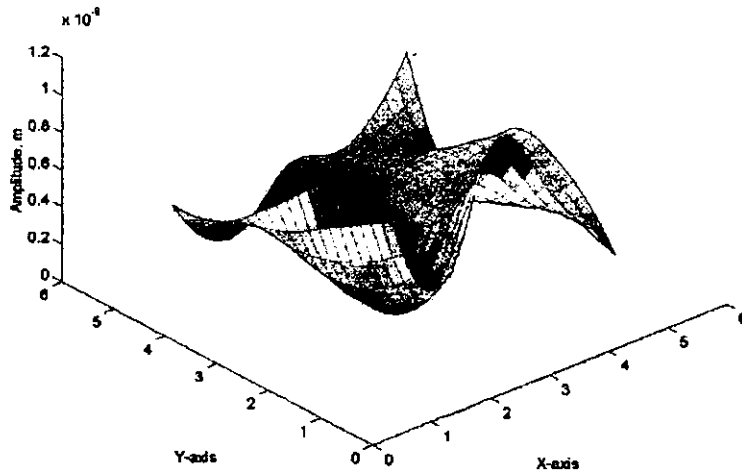
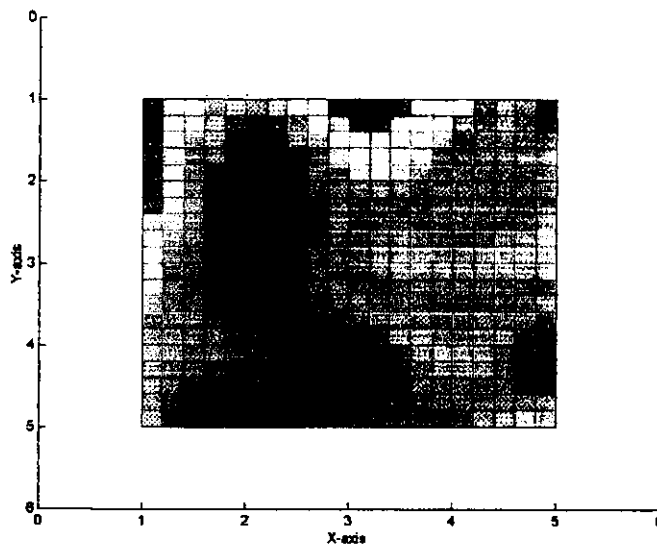


Figura No.11 Tipo Cometa

Medición hecha en una lamina adherida a una pastilla de PZT (sin encapsular)

A una frecuencia de 13 600 Hz



Vista Superior

En la figura 4.12 se muestra el comportamiento vibracional de cuatro del címbal asimétrico, la pastilla se encuentra anclada a una rondana, la medición se hizo por la cara del kovar incluyendo el área de la rondana a una frecuencia de 9 450 Hz, en esta figura podemos observar 3 protuberancias en forma de pequeños chipotes en el centro de la pastilla, se alcanza a distinguir una pequeña corona alrededor del centro.

En la siguiente tabla, se hace un resumen de los resultados obtenidos.

	Fig. 4.12
Tipo de sujeción	La pastilla se encuentra anclada en la circunferencia interior de una rondana
Medición tomada en	Kovar
Frecuencia (Hz)	9 450
Amplitud Máxima (m)	0.880×10^{-6}

Tabla 6

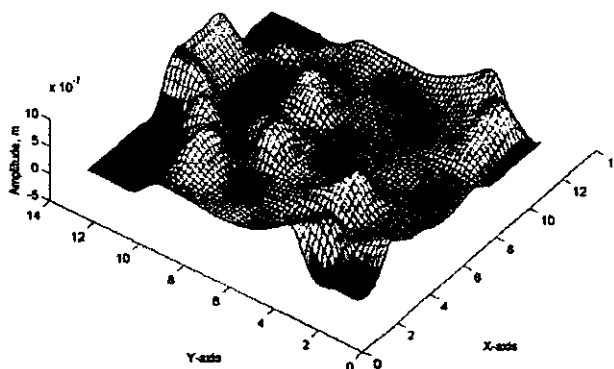
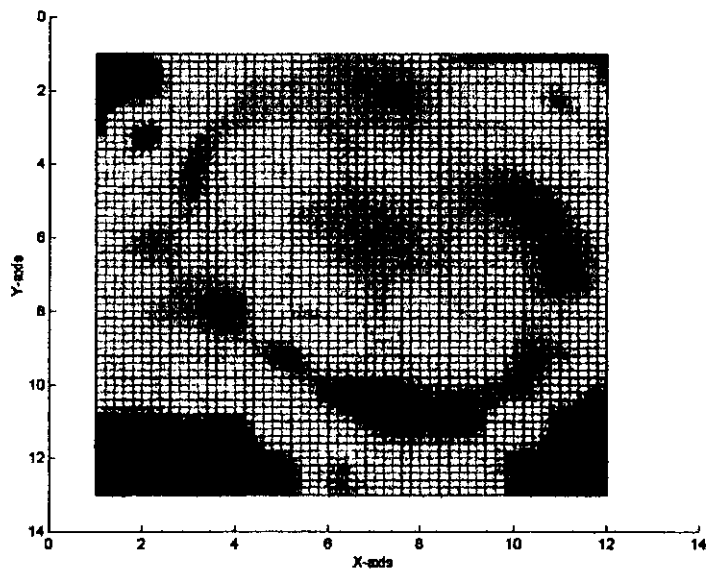


Figura No. 4.12

Modo de vibración del címbal asimétrico. El piezocomposite se encuentra sujeto a una rondana; la medición se hizo por el lado del kovar incluyendo el área de la rondana a una frecuencia de 9 450 Hz



Vista superior

En la figura 4.13 se muestra el comportamiento vibracional de cuatro pequeñas burbujas tipo cimbal, dentro de una pastilla de PZT estas burbujas se encuentran dispersadas en forma geométrica sobre la lamina de kovar, la pastilla se encuentra anclada a una rondana, la medición se hizo por el lado de las burbujas de kovar, a una frecuencia de 6 800 Hz.

En la siguiente tabla, se hace un resumen de los resultados obtenidos.

	Fig. 4.13
Tipo de sujeción	La pastilla se encuentra anclada en la circunferencia interior de una rondana
Medición tomada en la cara del	Se encuentran cuatro pequeños címbalos de Kovar alineados geoméricamente.
Frecuencia (Hz)	6 800
Amplitud Máxima (m)	0.0023×10^{-6}

Tabla 7

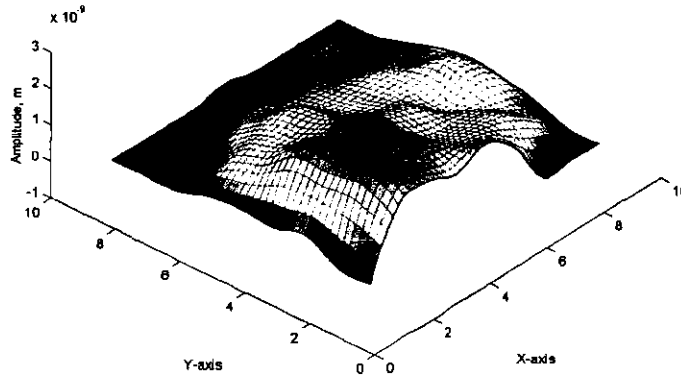
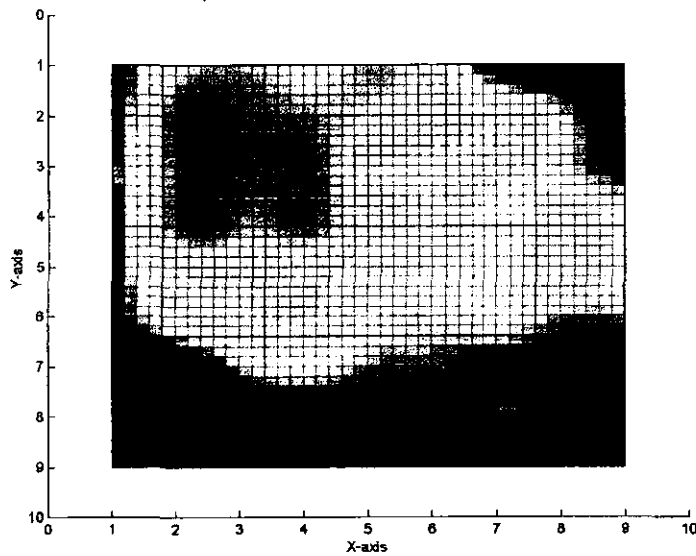


Figura No. 4.13

Medición de un piezocomposite con cuatro pequeñas burbujas tipo címbalo (pastilla de PZT con kovar). El piezocomposite se encuentra sujeto a una rondana; la medición se hizo por el lado del kovar a una frecuencia de 6 800 Hz



Vista superior

En la figura 4.14 se muestra el comportamiento vibracional de cuatro pequeñas burbujas tipo cimbal, dentro de una pastilla de PZT estas burbujas se encuentran dispersadas de forma geométrica sobre la cara de la lamina de kovar., la pastilla se encuentra anclada a una rondana, la medición se hizo por el lado de la lamina de kovar, con una frecuencia intercalada de 1 350 Hz. esto es, se conectaron únicamente dos de las cuatro burbujas en forma intercalada, se encontró un desplazamiento máximo de 0.019×10^{-6} m. En esta figura podemos observar 2 protuberancias que sobresalen, estas dos protuberancias son los címbales pequeños que están conectados.

En la siguiente tabla, se hace un resumen de los resultados obtenidos

	Fig. 4.14
Tipo de sujeción	La pastilla se encuentra anclada dentro de la circunferencia interior de una rondana
Medición tomada en la cara del	Se encuentran cuatro pequeños címbalos de Kovar alineados geoméricamente.
Frecuencia (Hz)	1 350
Amplitud Máxima (m)	0.019×10^{-6}

Tabla 8

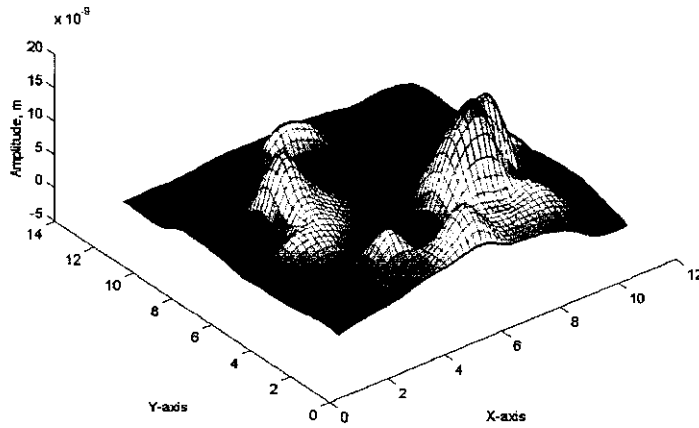
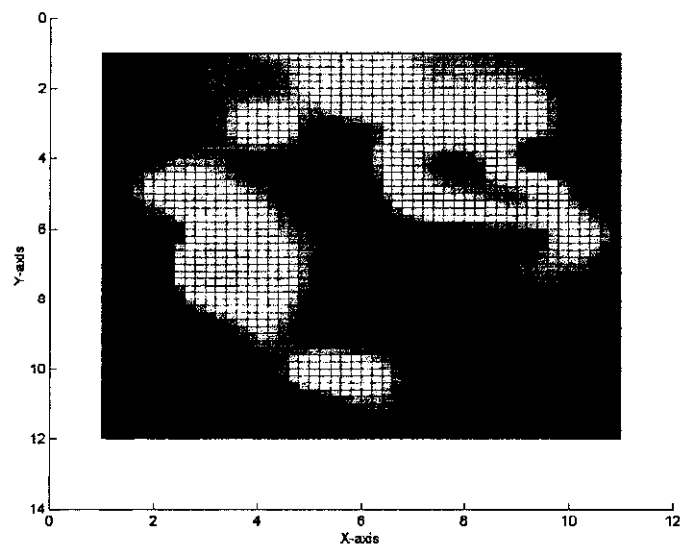


Figura No. 4.14

Medición de un piezocomposite con cuatro pequeñas burbujas tipo címbalo (pastilla de PZT con kovar). El piezocomposite se encuentra sujeto a una rondana; la medición se hizo por el lado del kovar a una frecuencia de 1 350 Hz (MEDICION INTERCALADA)



Vista superior

*Cuando el polvo levantado por las batallas
se disipe, te encontraras con la libertad.
Por la cual luchaste tanto, y sabrás hasta entonces,
que después de todo...
valió la pena!*

S. Cortés

Conclusiones

*Ahora.
El limite es el cielo...*

Chey

Conclusiones

El estudio de la naturaleza de los diferentes modos vibracionales y sus implicaciones en el uso de estos piezocomposites como actuadores constituye el objetivo de este trabajo. La caracterización vibratoria de los piezoeléctricos de tipo PZT ha sido ampliamente estudiada. Sin embargo, no ha sido claramente establecida la relación entre las amplitudes de vibración y su diseño.

Se estudiaron las características mecánico vibratorias de materiales cerámicos tipo PZT en comparación con el címbal asimétrico (PZT-Kovar). Para esta caracterización se utilizó una técnica de vibratometría láser mediante la cual se obtienen perfiles de amplitud a diferentes frecuencias para el piezoeléctrico PZT y el piezocomposite.

La técnica de vibrometría láser se manifiesta como una herramienta útil para estudiar los modos vibracionales esta técnica fue utilizada para la obtención de los modos de vibración del címbal asimétrico en intervalos de frecuencias audibles. Por debajo de la frecuencia de la cavidad metálica no se esperaba la aparición de ningún pico de resonancia por lo que en consecuencia el piezocomposite debería seguir el campo aplicado y comportarse como un actuador. Sin embargo, al someter el címbal asimétrico a frecuencias entre, 2 Hz y 20 kHz, se percibió la emisión de señales audibles dentro de un relativamente amplio intervalo de frecuencias, lo que parecía indicar la existencia de resonancias de menor intensidad en ese intervalo espectral.

En el espectro de vibración de la figura 1.4-A. Cuando el dispositivo esta suspendido en un solo punto, y esta casi libre; se pueden distinguir dos modos de vibración, en el primer pico de resonancia que denominamos de doble ala o de mariposa, está ligada al pico de menor resonancia de frecuencia, 2.75 kHz, en el espectro de resonancia de la velocidad. Y esta asociado probablemente a una vibración del dispositivo en modo cantilever. El segundo modo de vibración, que produce amplitudes de vibración crecientes desde el borde hasta el centro de la pastilla, se manifiesta en un

intervalo más amplio de frecuencias en consonancia con la anchura de la resonancia a la que se asocia. Este modo está asociado a la vibración de la cápsula metálica y ocurre a 22.5kHz en el espectro de velocidad. El modo de vibración que tiende a presentar este último pico, es como una especie de sombrero o chipote, algo interesante que nos atrae es que al manejar frecuencias que estaban entre los dos modos de vibración las pastillas tendían a presentar los dos modos de vibración.

En las figuras presentadas se observa que aparecen diferentes modos de vibración, a las mismas condiciones de trabajo, esto se debe a la forma en que esta sujeta la pastilla, también vemos que el kovar actúa como un amplificador de los desplazamientos, traduciendo las vibraciones radiales del PZT en movimientos perpendiculares al PZT.

El análisis modal, nos provee de una descripción muy precisa en la respuesta que tiene cualquier estructura. La cual puede ser evaluada contra especificaciones del diseño. Esto también nos permite construir una herramienta poderosa. Con el análisis modal; podemos investigar los efectos y modificaciones estructurales, o predecir como las estructuras pueden ser mejoradas bajo condiciones de cambio operacional.

Finalmente, el estudio de los modos vibracionales por el lado de la cerámica revela la influencia de esta estructura sobre el dispositivo. La rigidez mecánica de la cápsula metálica se transmite a través del espesor de la pastilla cerámica, produciendo una zona relativa de poca amplitud que da la apariencia de un anillo que nace sobre la cara de la cerámica.

Anexo 1

Laser Velocity-Transducer Set — Type 3544

USES:

- For non-contact measurement of vibration velocity and displacement
- For vibration measurements on light structures (e.g. loudspeaker diaphragms)
- For measurements of impacts
- For lateral and axial vibration measurements on rotating components (e.g. on rotating machinery)
- For vibration measurements on small structures (e.g. on the tops of engine valves)
- For vibration measurements on delicate structures (e.g. optical devices such as mirrors)
- For relative vibration measurements (e.g. on board ships, aircraft and cars)
- For vibration measurements in any direction

- For vibration measurements on hot structures (e.g. engine exhausts)
- For vibration measurements on rubber and other soft materials

FEATURES:

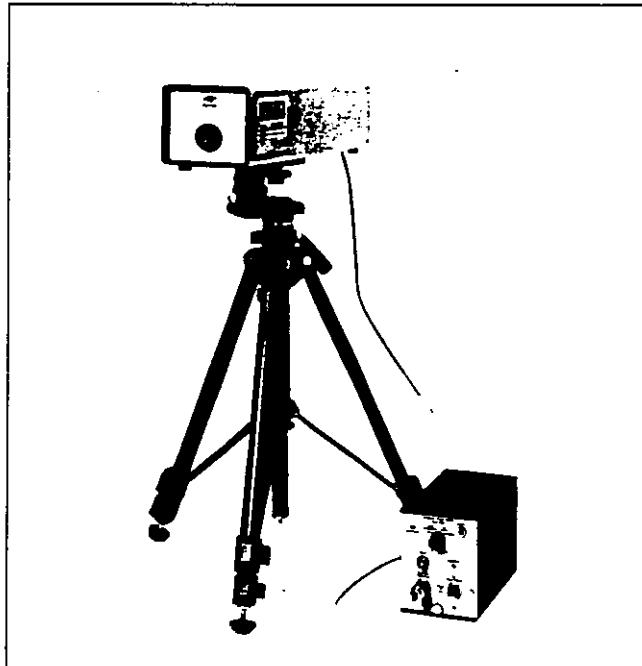
- Dynamic range up to 70 dB (narrow-band)
- Frequency range from 0 Hz to 20 kHz (velocity)
- Remote measurements at up to 0.8 metre
- Safe operation (Laser Class II)
- Simple and quick to use
- Compact, light and portable
- Battery operated
- Built-in integrator for displacement measurement

There will always be applications where it is impossible or undesirable to mount a vibration transducer onto a vibrating object. It is for those occasions that Brüel & Kjær, in conjunction with The Institute of Sound and Vibration Research (ISVR) at Southampton University, England, has designed the Laser Velocity-Transducer Set Type 3544. Its simplicity of use and rugged construction means that the user need not be concerned with the state-of-the-art laser technology used to make the measurement: to the user, 3544 is simply a highly accurate and versatile vibration transducer.

Introduction

The Laser Velocity Transducer Set Type 3544 consists of the Laser Velocity-transducer Type 8323 and the Power Supply Type 2815. By simply attaching a small piece of retroreflective tape to the surface of the vibrating object, and aiming the 8323 at it, vibration velocity and displacement at that point can be measured.

Type 3544 has been developed to meet the requirement of today's industries for a method of measuring vibration velocity *without* contacting the vibrating surface.



Anexo 2

type 2034

Dual Channel Signal Analyzer

USES:

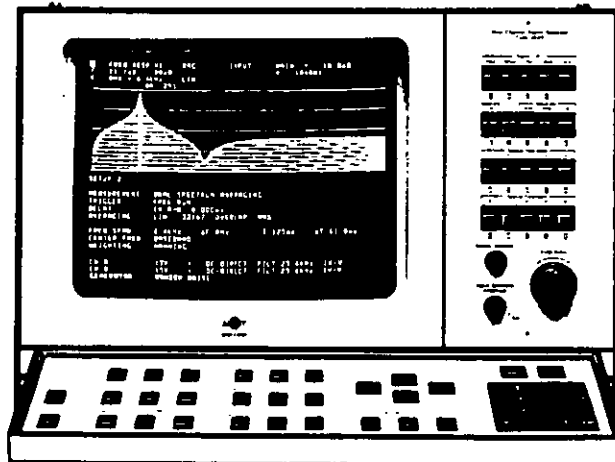
- Analysis of mechanical system responses
- Measurement of sound intensity
- Propagation path identification
- Input/output analysis of electronic and electrical systems and control system analysis
- Non-volatile memories store 10 user-defined measurement setups and 10 user-defined display setups
- Linear, exponential, or peak averaging of up to 32767 spectra
- Measures Frequency Response, Coherence, Auto and Cross Spectra, Auto and Cross Correlation, Coherent and Non-coherent Output, Impulse Response, Signal to Noise, Sound Intensity, Cepstra, Orbits, and Probability Density and Distribution

FEATURES:

- Dual-channel signal processing with built-in digital zoom to 25.6 kHz
- 801 lines resolution in dual channel operation
- Self-explanatory operation
- Fully instrumented front-end and user-defined calibration
- Hilbert transform for calculation of time envelope functions
- 800 Hz real-time frequency (1.6 kHz single channel) and fast fully annotated hard copy via 2313
- Autorange function, also for repeated transients
- Signal enhancement for time domain averaging
- Displays real part, imaginary part, magnitude, phase, Nyquist plot, and Nichols plot, on a 12" display screen, together with the measurement and display setup
- 6 different cursor functions for read-out of results
- Autoscale function optimises display scale
- Extensive post-processing of results
- Flexible and sophisticated trigger
- Built-in zooming signal generator
- Flexible, user-friendly digital interface, (IEC 625-1/IEEE 488)
- Modal analysis option

Introduction

The Dual Channel Signal Analyzer Type 2034 is a flexible, easy-to-use, and fully self-contained two-channel FFT analysis system having 801 lines resolution. It is flexible because calibration, display scales, post-processing, etc. are user-definable, and that functions such as signal-to-noise ratio, sound intensity, and cepstrum are computed directly without the need for intermediate processing. It is easy to use because operation is largely self explanatory with all relevant control settings clearly shown on its display screen, and because complete measurement and display setups can be stored for later recall and use. It is self contained in that it has a fully instrumented front-end, built-in digital zoom, a built-in zooming signal generator, and a flexible and user friendly IEC/IEEE interface.



Anexo 3

ESPECIFICACIONES

Potencia de salida eficaz mínima por canal 8 ohmios, 20 Hz a 20 kHz, 0,04% de D.A.T.55W+55W 6 ohmios, 20 Hz a 20 kHz, 0,06% de D.A.T. [Excepto modelo para los países escandinavos]60W+60W	Ruido residual (Red A de IHF)100 µV
Potencia dinámica por canal (mediante el método de medición de margen dinámico de IHF) 8/6/4/2 ohmios78/90/110/120W	Separación entre canales (Vol. -30 dB) PHONO MM (Entrada cortocircuitada, 1 kHz)65 dB TAPE/AUX/TUNER/CD (Entrada terminada con 5.1 k-ohmios 1 kHz)60 dB
Potencia de salida estándar DIN por canal (4 ohmios, 1 kHz, 0,7% de D.A.T.) [Modelo para Europa sólo].....85W	Características de control de tono BASS : Refuerzo/atenuación±10 dB (50 Hz) (Frecuencia de transición)(350 Hz) TREBLE : Refuerzo/atenuación±10 dB (20 kHz) (Frecuencia de transición)(3,5 kHz)
Potencia IEC (8 ohmios, 1 kHz, 0,04% de D.A.T.) [Modelo para Europa sólo].....70W	Control continuo de sonoridad Atenuación.....-30 dB (1 kHz) (Ecuatización en relación con el nivel)
Factor de amortiguamiento 8 ohmios, 20 Hz a 20 kHz100	Alimentación [Modelos para Australia y Reino Unido]240V CA, 50 Hz [Modelo para Europa]230V CA, 50 Hz [Modelo general]110/120/220/240V CA, 50/60 Hz
Sensibilidad/impedancia de entrada PHONO MM2,5 mV/47 k-ohmios TAPE/AUX/TUNER/CD150 mV/47 k-ohmios	Consumo [Modelo para los países escandinavos]130W [Modelos para Australia, R.U., Europa (excepto los países escandinavos) y general]150W
Nivel de señal máxima de entrada (1 kHz, 0,01% de D.A.T.) PHONO MM80 mV	Tomacorrientes de CA 3 tomacorrientes con interruptor [Modelos para Europa y general]100W max. total 1 tomacorriente con interruptor [Modelos para Australia y R.U.]100W max. total
Salida/impedancia nominal de la toma de auriculares (8 ohmios, 20 Hz a 20 kHz, 0,04% de D.A.T.) Nivel de salida0,42V Impedancia390 ohmios	Dimensiones (An x Al x Prf)435 x 126 x 308 mm
Respuesta en frecuencia (20 Hz a 20 kHz) TAPE/AUX/TUNER/CD0±0,5 dB	Peso [Modelos para Australia, R.U. y general]6,6 kg [Modelo para Europa]7 kg
Desviación de ecualización RIAA (20 Hz a 20 kHz) PHONO MM0±0,5 dB	AccesoriosTransmisor de control remoto Pilas
Distorsión armónica total (20 Hz a 20 kHz) PHONO MM a REC OUT (1V)0,02% TAPE/AUX/TUNER/CD a SP OUT (27,5W/8 ohmios).....0,02%	Especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso.
Relación señal-ruido (Red A de IHF) PHONO MM (5 mV Entrada cortocircuitada)82 dB TAPE/AUX/TUNER/CD (Entrada cortocircuito)105 dB	

Anexo 4

SECTION I GENERAL INFORMATION

1-1. INTRODUCTION.

1-2. This section contains general information about the -hp- Model 204C, the -hp- Model H20-204C, and -hp- Model 204D Oscillators. Throughout this manual the instrument will be referred to as the Model 204C/D when referring to all instruments, and the Model 204C, the Model H20-204C, or the Model 204D when referring to one of the instruments individually.

1-3. SPECIFICATIONS AND GENERAL INFORMATION.

1-4. Table 1-1 lists the specifications for the Model 204C/D. Table 1-2 lists other useful information about the instruments which is not specified.

1-5. DESCRIPTION.

1-6. The Model 204C/D is a wide range oscillator with a sine wave output at frequencies from 5 Hz to 1.2 MHz. The output impedance is 600 ohms; and the maximum voltage output is 5 V rms into open circuit, or 2.5 V rms into a 600 ohm load.

1-7. The Model 204D is basically the same instrument as the Model 204C, except the Model 204D has a step attenuator added.

1-8. The Model 204C has a variable output with greater than 40 dB attenuation, providing a minimum open circuit output of less than 50 mV rms. The Specification H20-204C has greater than 20 dB attenuation. In addition, the H20-204C is obtainable with the Opt. 02 Power supply board only.

1-9. The Model 204D has greater than 10 dB variable attenuation and 80 dB step attenuation in 10 dB steps, providing a minimum open circuit output of less than 150 μ V rms.

1-10. The output of the Model 204C/D may be isolated from the cabinet and power line ground. This floating output is balanced to better than 40 dB for frequencies up to 20 kHz.

1-11. The Model 204C/D may be synchronized with other instruments. The SYNC connector on the front panel provides a sync output signal greater than 100 mV rms over the entire frequency range, or accepts an external sync signal from another source. This permits the Model 204C/D to be synchronized with another signal source of the same frequency or harmonic thereof. With a 5 V rms (\approx 7 V peak) sync input signal, the external source may vary as much as \pm 5% in frequency and the Model 204C/D will remain synchronized.

p/o Table 1-1. Specifications.

RANGES			
Frequency: 5 Hz to 1.2 MHz in 6 overlapping ranges.			
PERFORMANCE			
Dial Accuracy: \pm 3% of frequency setting.			
Flatness (At maximum output into 600 ohms resistive load 1 kHz reference):			
Low Dist. Mode	\pm 1%	\pm 0.5%	\pm 1%
Normal Mode	+5%	\pm 0.5%	\pm 1%
	5	100	300k 1.2M (Hz)
Hum and Noise: Less than 0.01% of output of 2.5 V rms into a 100 kHz BW (10 Hz to 100 kHz) with the 204C/D tuned above 200 Hz.			

Distortion at 2.5 V rms into 600 ohms, or 5.0 V rms open circuit:

OUTPUT CHARACTERISTICS

Output Control: 204C, greater than 40 dB range, continuously adjustable. H20-204C, greater than 20 dB range continuously adjustable. 204D, greater than 10 dB continuously adjustable and 80 dB in 10 dB steps.

Continuación del anexo 4

Section I

Model 204C/D

Table 1-1. Specifications (cont'd).

<p>204D Attenuator Accuracy: (Amplitude vernier fully clockwise.) Referenced to +10 dB position; +/- 0.3 dB to -60 dB, +/- 0.5 dB to -70 dB.</p>	<p>sync frequency and set frequency, is a linear function of sync voltage. Sync Range \approx +/-1% of set frequency per VRMS sine wave with a maximum input of +/-7 volts peak.</p>
<p>Output Balance: Greater than 40 dB, below 20 kHz. Can be floated up to +/-500V peak between circuit common ∇ and outer chassis ground \perp</p>	<p>CAUTION</p>
<p>SYNCHRONIZATION</p>	
<p>Sync Output: Sine wave in phase with output; greater than 100 mV rms into less than 100 pF.</p>	<p>IF YOUR INSTRUMENT HAS A GROUND STRAP BETWEEN CIRCUIT COMMON AND OUTER CHASSIS GROUND, THE STRAP MUST BE REMOVED BEFORE ANY ATTEMPT IS MADE TO FLOAT THE INSTRUMENT.</p>
<p>Sync Input: Oscillator can be synchronized to an external signal. Sync range, the difference between</p>	

Table 1-2. General Information.

<p>Output Voltage: 2.5V rms (10 mW) into 600 ohms; 5V rms open circuit.</p>	<p>Power: Standard: AC-Line 115V or 230V +/-10%, 48 Hz to 440 Hz, less than 4W.</p>
<p>Output Impedance: 600 ohms.</p>	<p>Opt 001: Mercury batteries 300 hours operation.</p>
<p>Sync Impedance: 10 kΩ.</p>	<p>Opt 002: Line/Rechargeable batteries 115 V or 230 V +/- 10%, 48 Hz to 440 Hz, less than 4W, 35 hours operation per recharge.</p>
<p>Operating Temperature: Instrument will operate within specifications from 0°C to 55°C. Except Opt 02, 0°C to 45°C.</p>	<p>Dimensions: Standard 1/3 module, 6-3/32" high, 5-1/8" wide, 8" deep (155 x 130.1 x 203.2 mm).</p>
<p>Storage Temperature: -40°C to +75°C. Except Opt 02, -40°C to +60°C.</p>	

1-12. The standard Model 204C/D operates from 115 or 230 V ac, 48 to 440 Hz. The instrument is also available as an Option 001 using a mercury battery power supply, or as an Option 002 using a rechargeable nickel cadmium battery power supply.

1-13. ACCESSORIES AVAILABLE.

1-14. The following accessories are available for field installation in the Model 204C/D:

hp 11135A	AC power Pack (Supplied in standard)
hp 11136A	Mercury Battery Supply (Option 01)
hp 11137A	Rechargeable Battery/Ac Power Supply (Option 02)

1-15. INSTRUMENT AND MANUAL IDENTIFICATION.

1-16. Hewlett-Packard uses a two-section serial number. The first section (prefix) identifies a series of instruments. The last section (suffix) identifies a particular instrument within the series. If a letter is included with the serial number, it identifies the country in which the instrument was manufactured. If the serial prefix of your instrument

differs from the one on the title page of this manual, a change sheet will be supplied to make this manual compatible with newer instruments or the backdating information on the schematics will adapt this manual to earlier instruments. All correspondence with Hewlett-Packard should include the complete serial number.

1-17. CHANGE SHEETS.

1-18. If the serial prefix of your instrument is greater than the one listed on the title page of this manual, a change sheet will be supplied. The change sheet is included to correct errors in the manual (ERRATA) and to make the manual compatible with instruments manufactured after the printing date of the manual (numbered changes).

1-19. OPTIONS AVAILABLE.

1-20. The following options are available for either the 204C or 204D:

Option 001	Mercury battery power supply
Option 002	Rechargeable battery power supply
Option 908	Additional Operating and Service Manual

Bibliografía

- [1] R.E. Newnham, Q.C. Xu, S. Yoshikawa. Transformed stress direction-acoustic transducer. U.S. Patent No. 4999819 (12 March 1992).
- [2] J.F. Fernández, A. Dogan, Q.M. Zhang, J.F. Tressler, R.E. Newnham. Hollow piezoelectric composites. *Sensors and Actuators A* 51,183-92 (1996).
- [3] L. Celi, A.C. Caballero, M. Villegas, P. Durán, C. Moure, J.F. Fernández. Efecto de las características de los polvos cerámicos sobre la densificación y propiedades de materiales cerámicos tipo PZT. *Bol. Soc. Esp. Ceram y Vidrio*.
- [4] K. Uchino, piezoelectric/electrostrictive actuators. Morikita Publishers Tokyo 1996.
- [5] Y. Sugaraga, K. Onitsuka, S. Yoshikawa, Q. C. Xu, R. E. Newnham y K. Uchino: *J. Amer. Ceram. Soc.* 75, 996 (1992).
- [6] Q.C. Xu, A. Dogan, J. Tressler, S. Yoshikawa, R.E. Newnham, *Ceramic Metalcomposite actuators. Ferroelectrics*, 160 (1994) 337-46.
- [7] Morgan Matroc S.A. Catalogo de productos. Bedford, OH, USA.
- [8] J.F. Fernández, A. Dogan, J.T. Fielding, K. Uchino, R.E. Newnham. Tailoring the performance of ceramic-metal piezocomposite actuators, "cymbals". *Sensors and Actuators A* 65,228-37 (1998).
- [9] A. Dogan, Ph. D. Thesis, Penn State University (1994).
- [10] S. Yamashita: *Jpn. J. Appl. Phys.* 20, Suppl. 20-4 93 (1981)
- [11] H. Goto, K. Imanaka y K. Uchino: *Ultrasonic Techno* 5, 48 (1992).
- [12] K. Uchino, M. Yoshizaki, K. Kasai, H. Yamamura, N. Sakai y H. Asakura: *Jpn. J. Appl. Phys.* 26 1046 (1987).
- [13] C Tanuma, Y. Suda, S. Yoshida, y K. Yokoyama: *Jpn. J Appl. Phys.* 22, Suppl. 22-2, 154 (1983)
- [14] Burleigh Instruments Inc; East Rochester, N.Y; Catalog.
- [15] S. Ueda, Y. Tomikawa. *Ultrasonic Motors, Theory and Applications*. Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford 1993.
- [16] www.piezo.com
- [17] Thornton, *Ciencia de materiales para ingenieros*.
- [18] Jaffe B. Cook Jr. W. R. and Jaffe H., *Piezoelectric Ceramics*. Academic Press, London 1971.)

-
- [19] Van Randerat y R. E. Settingington Piezoelectric Ceramics. Publication Department, Electronic Components and materials division. PHILLIPS. 1974, Eindhoven, Holanda.
- [20] S. C. Abrahams and E. T. Keve, *Ferroelectrics*. 2 (1971) 129
- [21] Sashida and Kenjo, *An introduction to ultrasonic motor's*. Edit. Oxford University. Press, N. Y.
- [22] Daniel Montoya R.. *Caracterización de la piezocerámica (Pb, Nd) (Ti Mn) O₃, y una aplicación como sensor de vibración*. Tesis, Facultad de ciencias 1997.
- [23] *Ultrasonic Sensors for Chemical and Process Plant* R. C. Asher.
- [24] *Structural Testing. Part 2 Modal Analysis and Simulation*, Brüel & kjaer.
- [25] R. Ruiz Boullosa, Sergio Cortés Fragoso, J. Saniger Blesa, M. E. Villafuerte C., G. González, P. Ochoa, M. Villegas, J. F. Fernández. *Caracterización vibracional de piezocomposites metal-cerámicos asimétricos*, *Bol. Soc. Esp Cerám. Vidrio*, 38 (5), pp. 503-506 (1999).