

Ejemplo 1. Diseño de un microactuador

M. Meis y F. Varas

Departamento de Matemática Aplicada II
Universidad de Vigo

Introducción a Elmer, software libre
de simulación numérica multifísica
A Coruña, 27 de Junio al 1 de Julio de 2011

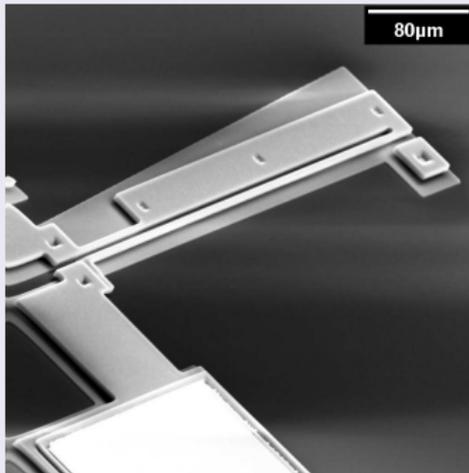
Plan

- 1 Descripción del problema
 - Un actuador microelectromecánico
 - Modelado con elementos finitos
- 2 Problema Resuelto
 - Formulación del problema
 - Ejemplo resuelto en Elmer Tutorials
 - Resolución del problema
- 3 Problemas Propuestos
 - Problema propuesto 1
 - Problema propuesto 2
 - Problema propuesto 3

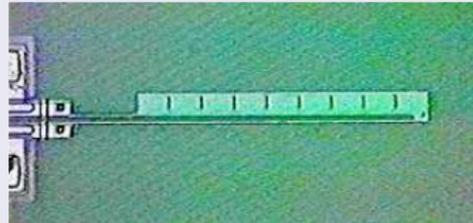
- 1 Descripción del problema
 - Un actuador microelectromecánico
 - Modelado con elementos finitos
- 2 Problema Resuelto
 - Formulación del problema
 - Ejemplo resuelto en Elmer Tutorials
 - Resolución del problema
- 3 Problemas Propuestos
 - Problema propuesto 1
 - Problema propuesto 2
 - Problema propuesto 3

Actuador microelectromecánico

Guckel electro-thermal actuator (MEMS)



Sin tensión eléctrica

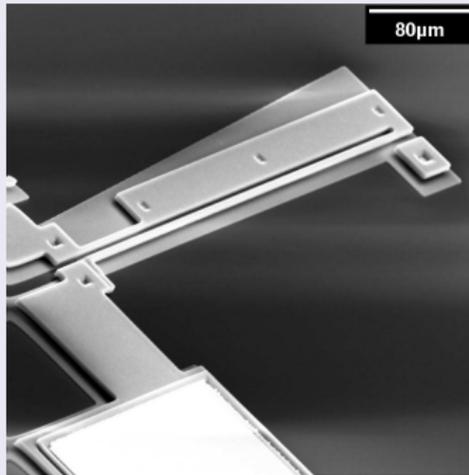


Con tensión eléctrica



Comportamiento de actuador microelectromecánico

Guckel electro-thermal actuator (MEMS)



Fenómenos implicados

- problema eléctrico
- problema térmico
(disipación Joule)
- problema mecánico
(tensiones térmicas)

1 Descripción del problema

- Un actuador microelectromecánico
- **Modelado con elementos finitos**

2 Problema Resuelto

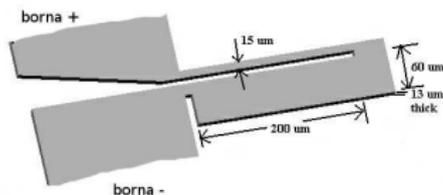
- Formulación del problema
- Ejemplo resuelto en Elmer Tutorials
- Resolución del problema

3 Problemas Propuestos

- Problema propuesto 1
- Problema propuesto 2
- Problema propuesto 3

Modelado de actuador microelectromecánico

Problema eléctrico



$$\operatorname{div}(k_e \vec{\nabla} V) = 0$$

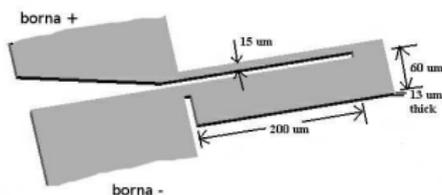
$$\begin{aligned} V &= 0 && \text{en borna -} \\ V &= V_f && \text{en borna +} \\ k_e \vec{\nabla} V \cdot \vec{n} &= 0 && \text{en resto} \end{aligned}$$

Modelo de elementos finitos

$$K_e V_h = b_e$$

Modelado de actuador microelectromecánico (II)

Problema térmico



$$-\operatorname{div}(k_t \vec{\nabla} T) = q_J$$

con $q_J = \frac{1}{k_e} \|\vec{\nabla} V\|^2$

$$T = T_b$$

$$-k_t \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_{\text{aire}})$$

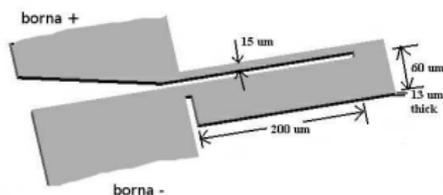
bornas
resto

Modelo de elementos finitos

$$K_t T_h = b_t(V_h)$$

Modelado de actuador microelectromecánico (III)

Problema mecánico



$$-\operatorname{div}\sigma = \vec{f}$$

con $\sigma = C\epsilon(\vec{u}) - \alpha(T - T_{\text{aire}})I$

$$\vec{u} = \vec{0} \quad \text{bornas}$$
$$\sigma\vec{n} = \vec{0} \quad \text{resto}$$

Modelo de elementos finitos

$$K_m u_h = b_m(T_h)$$

Modelo completo del actuador

Modelo de elementos finitos completo

mod. eléctrico	$K_e V_h = b_e$
mod. térmico	$K_t T_h = b_t(V_h)$
mod. mecánico	$K_m u_h = b_m(T_h)$

Estrategia de resolución

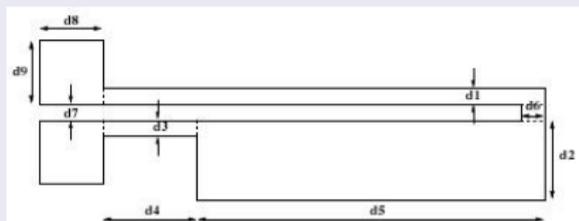
Resolución (segregada) secuencial

- se calcula potencial V_h en mod. eléctrico
- se calcula temperatura T_h en mod. térmico
- se calcula desplazamiento u_h en mod. mecánico

- 1 Descripción del problema
 - Un actuador microelectromecánico
 - Modelado con elementos finitos
- 2 Problema Resuelto
 - **Formulación del problema**
 - Ejemplo resuelto en Elmer Tutorials
 - Resolución del problema
- 3 Problemas Propuestos
 - Problema propuesto 1
 - Problema propuesto 2
 - Problema propuesto 3

Formulación del problema

Diseño geométrico del actuador



N.D. Mankame, G.K. Ananthasuresh; *Comprehensive thermal modelling and characterization of an electro-thermal-compliant microactuator*, Journal of Micromechanics and Microengineering 11 (2001) 452–462.

Formulación del problema (cont.)

Datos del diseño de actuador

k_e	$3 \cdot 10^3$	$(\Omega m)^{-1}$
k_t	50	$W/(mK)$
T_{aire}	300	K
T_b	300	K
h	10	$W/(m^2 K)$
α	$4 \cdot 10^{-6}$	K^{-1}
E	$1.7 \cdot 10^9$	Pa
ν	0.3	

- 1 Descripción del problema
 - Un actuador microelectromecánico
 - Modelado con elementos finitos
- 2 Problema Resuelto
 - Formulación del problema
 - **Ejemplo resuelto en Elmer Tutorials**
 - Resolución del problema
- 3 Problemas Propuestos
 - Problema propuesto 1
 - Problema propuesto 2
 - Problema propuesto 3

Ejemplo resuelto en Elmer Tutorials

Documento Elmer Tutorials

Tutorial 13: Thermal actuator driven with electrostatic currents

Problema resuelto

- importación de malla de ANSYS
- conductividad eléctrica dependiente de temperatura
- paredes aisladas térmicamente

- 1 Descripción del problema
 - Un actuador microelectromecánico
 - Modelado con elementos finitos
- 2 Problema Resuelto
 - Formulación del problema
 - Ejemplo resuelto en Elmer Tutorials
 - Resolución del problema
- 3 Problemas Propuestos
 - Problema propuesto 1
 - Problema propuesto 2
 - Problema propuesto 3

Resolución del problema

Etapas

- importación de malla (generada con Gmsh)
- modificación de archivo `.sif` para
 - fijar nuevos datos
 - determinar nuevas condiciones de contorno
 - guardar resultados en formato `.vtk`

- 1 Descripción del problema
 - Un actuador microelectromecánico
 - Modelado con elementos finitos
- 2 Problema Resuelto
 - Formulación del problema
 - Ejemplo resuelto en Elmer Tutorials
 - Resolución del problema
- 3 Problemas Propuestos
 - Problema propuesto 1
 - Problema propuesto 2
 - Problema propuesto 3

Un segundo modelo del actuador

Modelo más realista

- conductividad eléctrica dependiente de temperatura (tabla en documento Elmer Tutorials)
- conductividad térmica dependiente de la temperatura (tomada ajustando una función de datos del artículo)

Modelo de elementos finitos completo

mod.eléctrico	$K_e(T_h) V_h = b_e$
mod. térmico	$K_t(T_h) T_h = b_t(V_h)$
mod. mecánico	$K_m u_h = b_m(T_h)$

Conductividad eléctrica

Tabla de valores para la conductividad eléctrica

Temperatura	Conductividad eléctrica
298.0	4.3478e10
498.0	1.2043e10
698.0	5.1781e9
898.0	2.7582e9
1098.0	1.6684e9
1298.0	1.0981e9
1683.0	1.0
2000.0	1.0

Conductividad térmica

Tabla de valores para la conductividad térmica

Temperatura	Conductividad térmica
300.0	146.4
400.0	98.3
500.0	73.2
600.0	57.5
700.0	49.2
800.0	41.8
900.0	37.6
1000.0	34.5
1100.0	31.4
1200.0	28.2
1300.0	27.2
1400.0	26.1
1500.0	25.1

Resolución del segundo modelo de actuador

Problema termo-eléctrico

mod.eléctrico $K_e(T_h)V_h = b_e$

mod. térmico $K_t(T_h)T_h = b_t(V_h)$

Resolución segregada

Con V_h^0 y T_h^0 resolver hasta convergencia:

1 Calcular V_h^{n+1} en mod. eléctrico: $K_e(T_h^n)V_h^{n+1} = b_e$

2 Calcular T_h^{n+1} en mod. térmico: $K_t(T_h^{n+1})T_h^{n+1} = b_t(V_h^{n+1})$

Resolución del segundo modelo de actuador

Convergencia de cálculo en modelo no lineal

- Con no linealidad fuerte y sin estimaciones iniciales: puede aparecer dificultades de convergencia
- Con V_f reducida NO hay problemas de convergencia
- Se puede emplear continuación en parámetro tensión V_f

Sugerencias

- consúltese cómo emplear solución ya calculada como iterante inicial
- mejor aún, véase ElmerParam Manual

- 1 Descripción del problema
 - Un actuador microelectromecánico
 - Modelado con elementos finitos
- 2 Problema Resuelto
 - Formulación del problema
 - Ejemplo resuelto en Elmer Tutorials
 - Resolución del problema
- 3 Problemas Propuestos
 - Problema propuesto 1
 - **Problema propuesto 2**
 - Problema propuesto 3

Construcción de curva tensión–desplazamiento

Curva tensión aplicada – desplazamiento

- para tensiones eléctricas entre 0 y 20 voltios, representar desplazamientos verticales de un punto tomado en el extremo del actuador en función de la tensión aplicada

Observación

Ver problema anterior acerca de método de continuación

Construcción de curva tensión–desplazamiento (cont.)

Corrección de curva por efectos elásticos no lineales

- calcular de nuevo la curva teniendo en cuenta ahora los efectos no lineales debidos al uso del tensor de deformaciones completo

Observación

Sobre cálculos con elasticidad no lineal, ver el ejemplo *Loaded elastic beams* en el documento Elmer Tutorials.

- 1 Descripción del problema
 - Un actuador microelectromecánico
 - Modelado con elementos finitos
- 2 Problema Resuelto
 - Formulación del problema
 - Ejemplo resuelto en Elmer Tutorials
 - Resolución del problema
- 3 Problemas Propuestos
 - Problema propuesto 1
 - Problema propuesto 2
 - Problema propuesto 3

Resolución con modelo bidimensional

Construcción de modelo bidimensional

- se toma como geometría una sección de la pieza
- determinar cómo imponer condiciones de contorno
- observar presencia de fuentes distribuidas en modelo 2D