

Sesión 4. Práctica 1: Diseño de un microactuador

M. Meis^{1,2} y F. Varas^{1,3}

¹Universidad de Vigo, ²Vicus Desarrollos Tecnológicos, S.A.,
³Universidad Politécnica de Madrid

Introducción a la Simulación Numérica Multifísica con
ELMER
28–29 de enero de 2015



Unión Europea
FEDER



Invertimos en su futuro



Proyecto CloudPYME

El proyecto CloudPYME (ID 0682_CLOUDPYME2_1_E) está cofinanciado por la Comisión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), dentro de la tercera convocatoria de proyectos del Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España–Portugal 2007–2013 (POCTEP).



Unión Europea
FEDER
Invertimos en su futuro



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

Plan

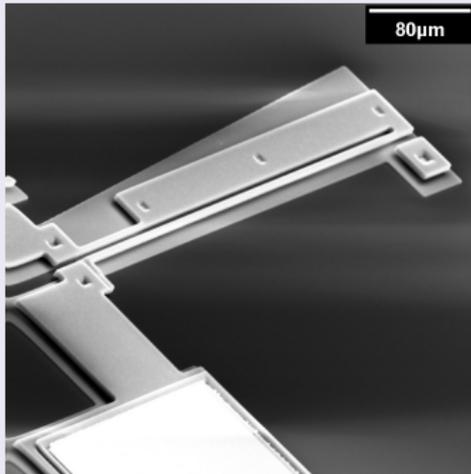
- 1 Descripción del problema
 - Un actuador microelectromecánico
 - Modelado con elementos finitos
- 2 Problema Resuelto
 - Formulación del problema
 - Ejemplo resuelto en `Elmer Tutorials`
 - Resolución del problema
- 3 Problemas Propuestos
 - Problema propuesto 1
 - Problema propuesto 2

Plan

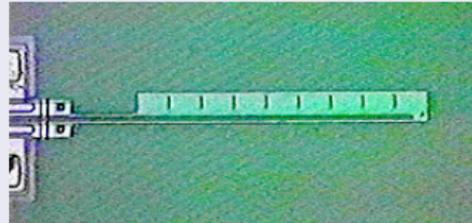
- 1 Descripción del problema
 - Un actuador microelectromecánico
 - Modelado con elementos finitos
- 2 Problema Resuelto
 - Formulación del problema
 - Ejemplo resuelto en `Elmer Tutorials`
 - Resolución del problema
- 3 Problemas Propuestos
 - Problema propuesto 1
 - Problema propuesto 2

Actuador microelectromecánico

Guckel electro-thermal actuator (MEMS)



Sin tensión eléctrica

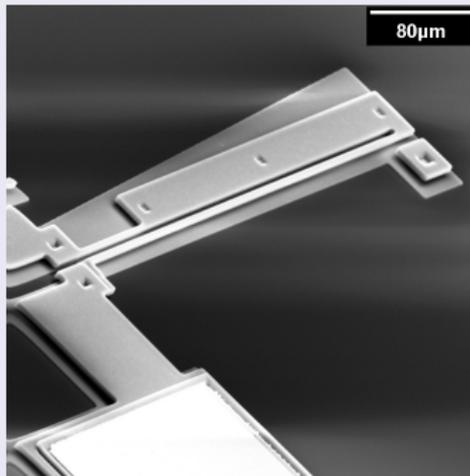


Con tensión eléctrica



Comportamiento de actuador microelectromecánico

Guckel electro-thermal actuator (MEMS)



Fenómenos implicados

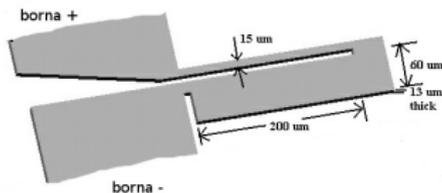
- problema eléctrico
- problema térmico
(disipación Joule)
- problema mecánico
(tensiones térmicas)

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

Modelado de actuador microelectromecánico

Problema eléctrico



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

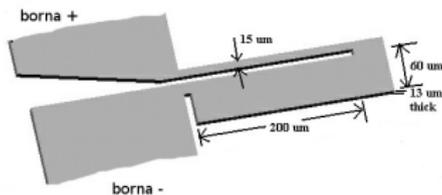
$$\begin{aligned} V &= 0 && \text{en borina -} \\ V &= V_f && \text{en borina +} \\ k_e \vec{\nabla} V \cdot \vec{n} &= 0 && \text{en resto} \end{aligned}$$

Modelo de elementos finitos

$$K_e V_h = b_e$$

Modelado de actuador microelectromecánico (II)

Problema térmico



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

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

$$T = T_b \quad \text{bornas}$$

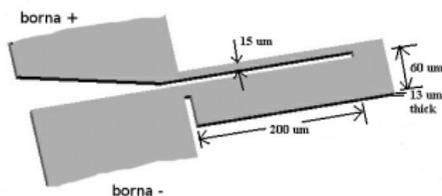
$$-k_t \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_{\text{aire}}) \quad \text{resto}$$

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

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

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

Plan

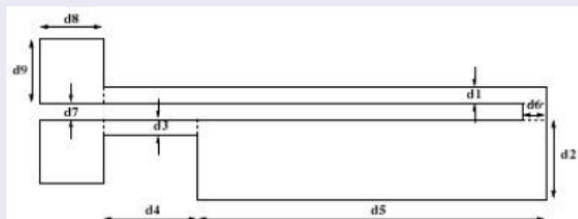
- 1 Descripción del problema
 - Un actuador microelectromecánico
 - Modelado con elementos finitos
- 2 **Problema Resuelto**
 - Formulación del problema
 - Ejemplo resuelto en Elmer Tutorials
 - Resolución del problema
- 3 Problemas Propuestos
 - Problema propuesto 1
 - Problema propuesto 2

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

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 | $W/(m^2K)$ |
| α | $4 \cdot 10^{-6}$ | K^{-1} |
| E | $1.7 \cdot 10^9$ | Pa |
| ν | 0.3 | |

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

Ejemplo resuelto en Elmer Tutorials

Documento Elmer Tutorials

Tutorial 14: Thermal actuator driven with electrostatic currents

Problema resuelto

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

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

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`

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

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

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

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

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`.