



Simulación de parámetros no lineales en altavoz 3D

Guillermo González Montaña

Rafael Serra Giménez y Alejandro Cifuentes López

24 de Junio de 2021



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

| uma.es

Contenido

- Objetivos
- Fundamentos teóricos
- Simulaciones, modelos y resultados
 - Rigidez Vs. Desplazamiento: $K_m(x)$
 - Factor de fuerza Vs. Desplazamiento: $BI(x)$
 - Inductancia Vs. Desplazamiento: $Le(x)$
- Conclusiones

Objetivos

- Sistema en estudio → Altavoz electrodinámico de 18" para frecuencias subgraves
- Estudio de los parámetros no lineales dependientes del desplazamiento
- Modelado y configuración de un modelo 2D-axisimétrico (referencia) y un modelo 3D (sector de 30°)
- Simulación y comparación de resultados
- Interés en modelo 3D → geometría discontinua o no circular (ej. Cuadrada o elíptica) de algunos modelos de altavoz



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

| uma.es



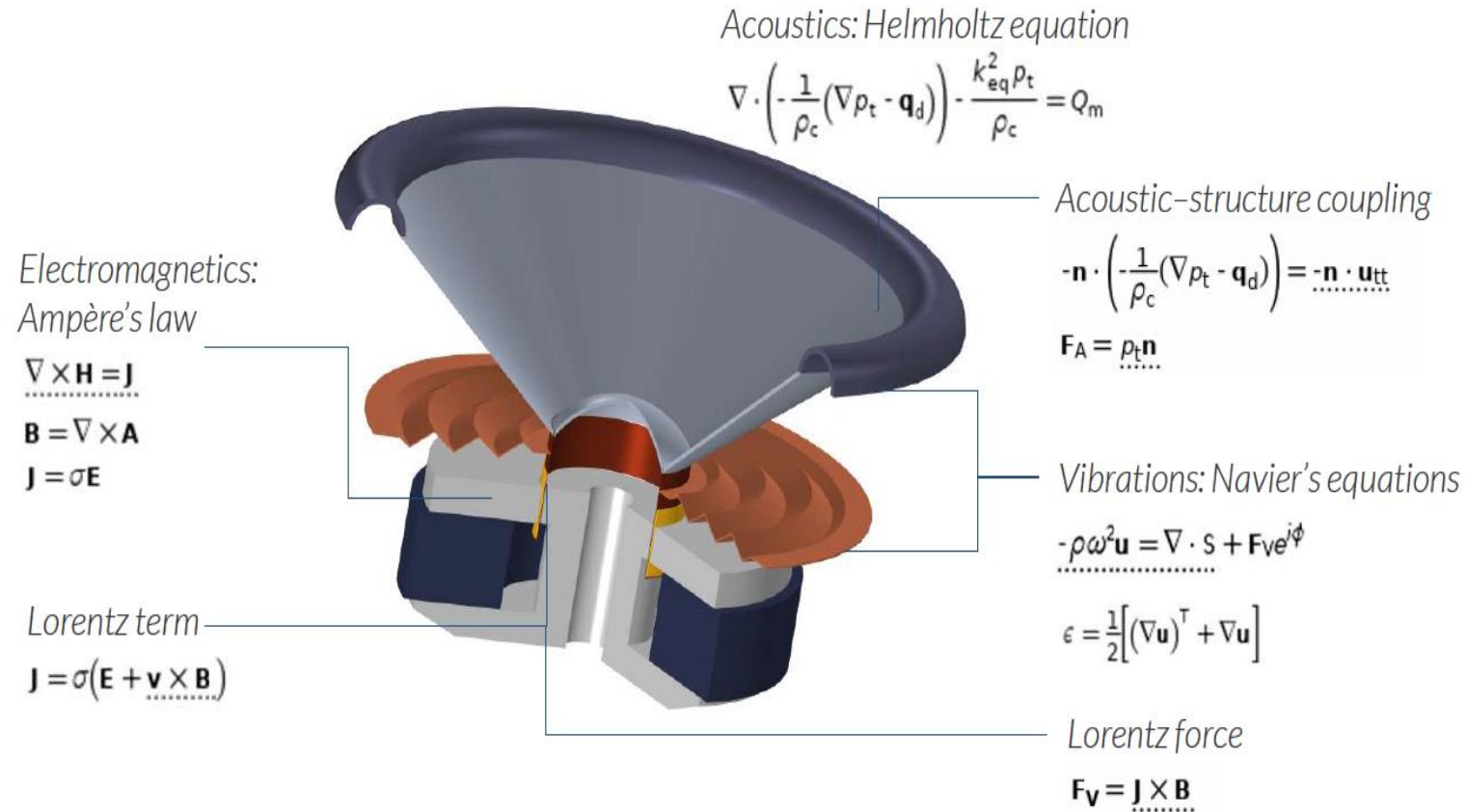
Fundamentos teóricos

Altavoz o transductor electrodinámico

- Dispositivo capaz de transformar energía eléctrica en energía mecánica y acústica.
- Compuesto por:
 - Sistema electro-magnético: Transforma la señal audio de la bobina en vibraciones mecánicas
 - Sistema mecánico: Controla los desplazamientos mecánicos y transforma las vibraciones en una señal acústica

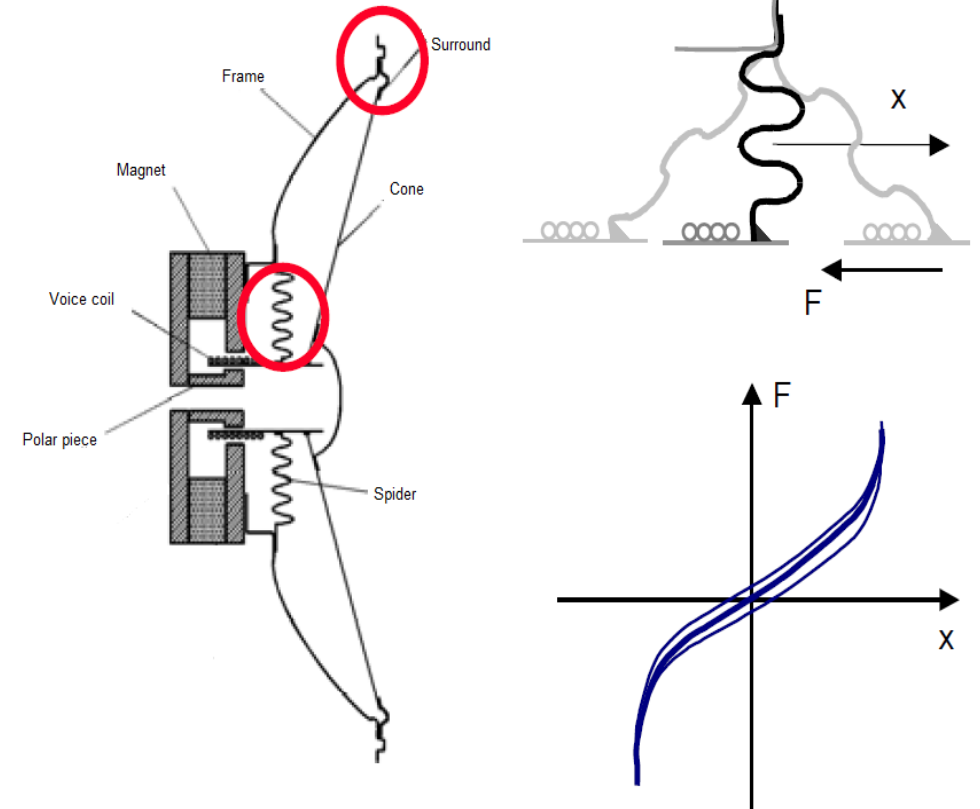
Altavoz como sistema multifísico y su estructura

- Sistema de suspensiones:
 - Suspensión o *surround*
 - Centrador o *spider*
- Motor:
 - Imán permanente
 - Piezas polares
 - Bobina móvil



Sistema de suspensiones no lineal: $Kms(x)$

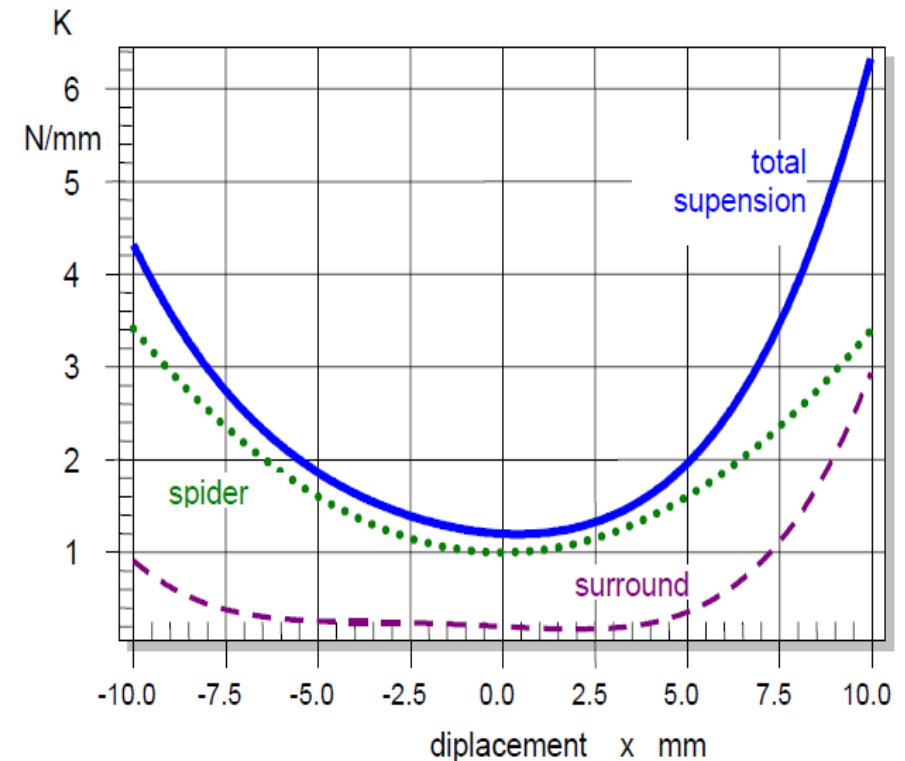
- El aumento de la rigidez de un altavoz en función del desplazamiento no sigue una variación lineal
- Fuerza de reposicionamiento:
 $F = Kms(x)x$
- Materiales elásticos no “nobles” y tejidos tratados químicamente
- Su geometría tiene una gran influencia.
- Comportamiento asimétrico



Sistema de suspensiones + relación fuerza-desplazamiento

Sistema de suspensiones no lineal: $Kms(x)$

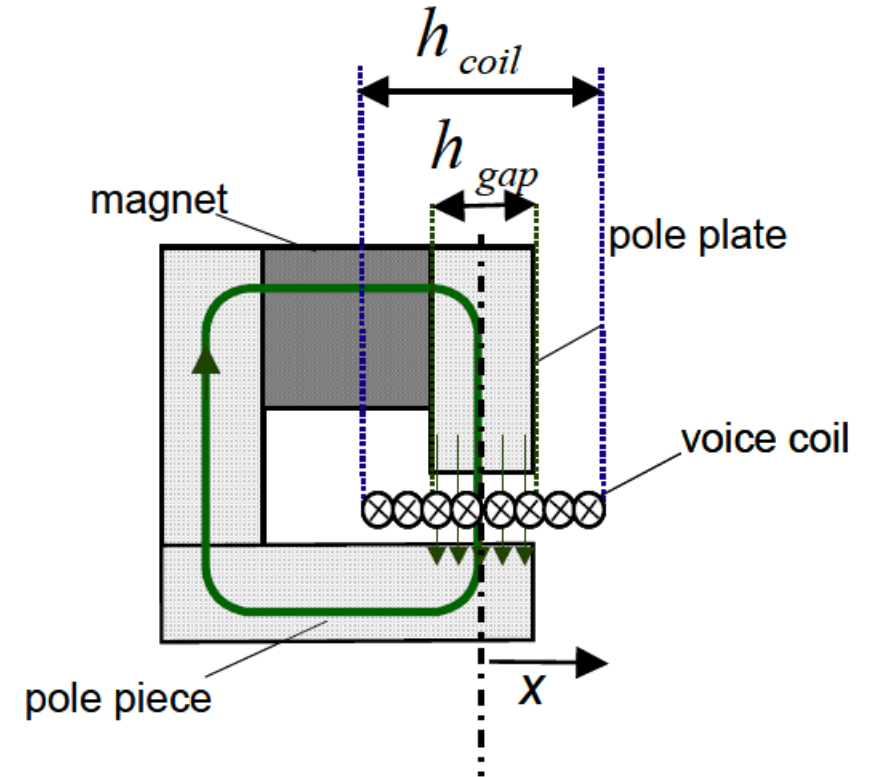
- El aumento de la rigidez de un altavoz en función del desplazamiento no sigue una variación lineal
- Fuerza de reposicionamiento:
 $F = Kms(x)x$
- Materiales elásticos no “nobles” y tejidos tratados químicamente
- Su geometría tiene una gran influencia
- Comportamiento asimétrico



Ejemplo de curva de $Kms(x)$ de un sistema de suspensiones

Motor no lineal: $Bl(x)$

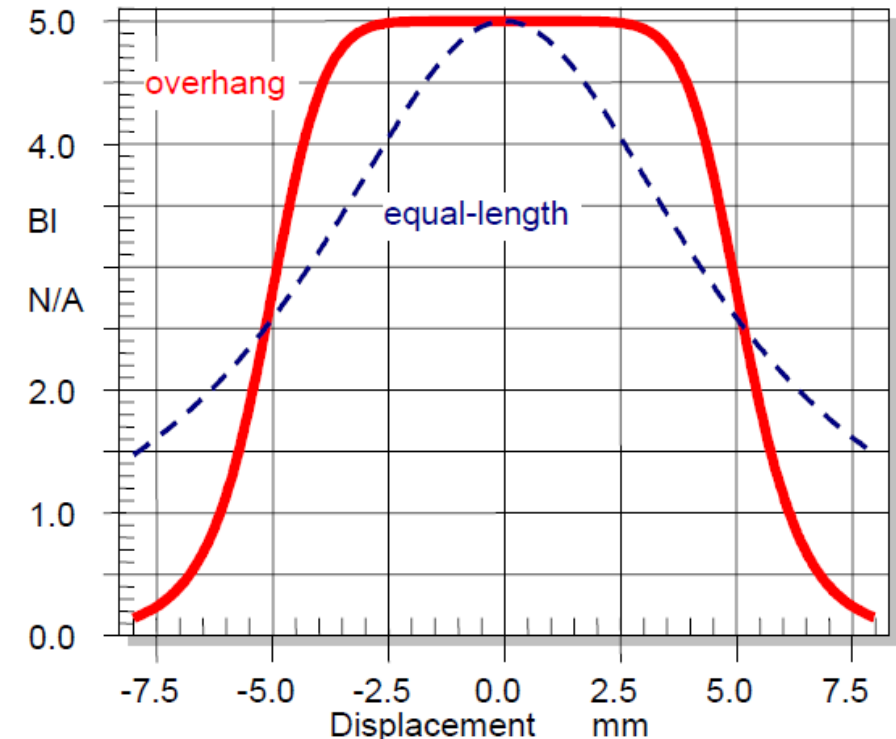
- El factor de fuerza o Bl :
 - El producto de la densidad de flujo magnético en el entrehierro y la longitud de la bobina que se encuentra dentro del campo magnético permanente
- Fuerza electromotriz:
 $F = Bl(x)i$
- Inversamente proporcional al desplazamiento
- Su geometría tiene una gran influencia
- Comportamiento asimétrico



Configuración del motor de un altavoz genérico

Motor no lineal: $Bl(x)$

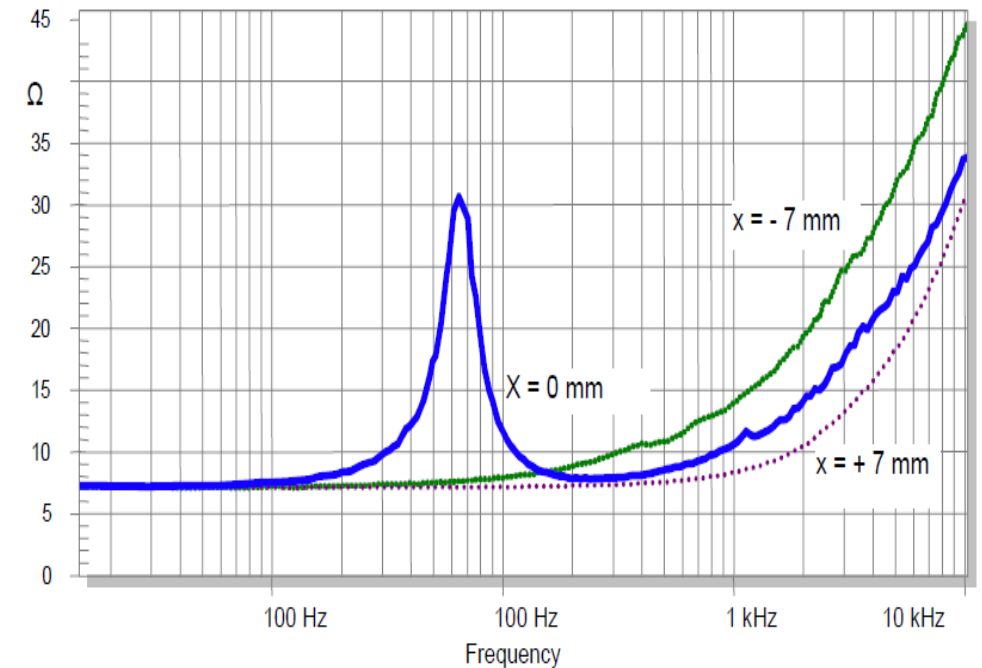
- El factor de fuerza o Bl :
 - El producto de la densidad de flujo magnético en el entrehierro y la longitud de la bobina que se encuentra dentro del campo magnético permanente
- Fuerza electromotriz:
 $F = Bl(x)i$
- Inversamente proporcional al desplazamiento
- Su geometría tiene una gran influencia
- Comportamiento asimétrico



Curvas típicas de $Bl(x)$ para bobina de ancho igual al entrehierro o de ancho mayor.

Motor no lineal: $L_e(x)$

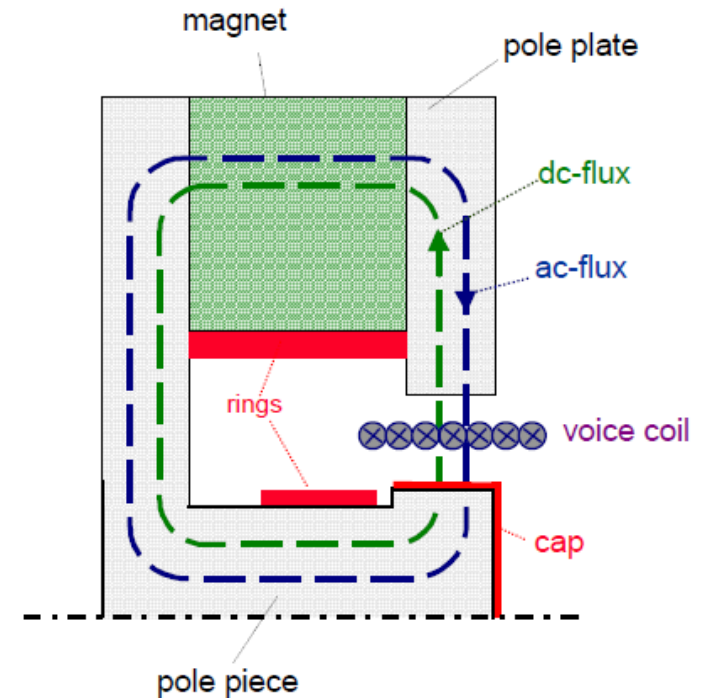
- La inductancia o L_e :
 - Relación entre el flujo magnético y la intensidad de corriente que circula por una bobina, multiplicado por el número de espiras
- Depende de la posición de la bobina y la frecuencia
- Interacción de distintos flujos magnéticos en el motor
- Uso de anillo demodulador o *shorting ring*:
 - Reducción de valores de inductancia y curva más lineal



Ejemplo de impedancia eléctrica y efecto de la inductancia para desplazamientos positivos y negativos.

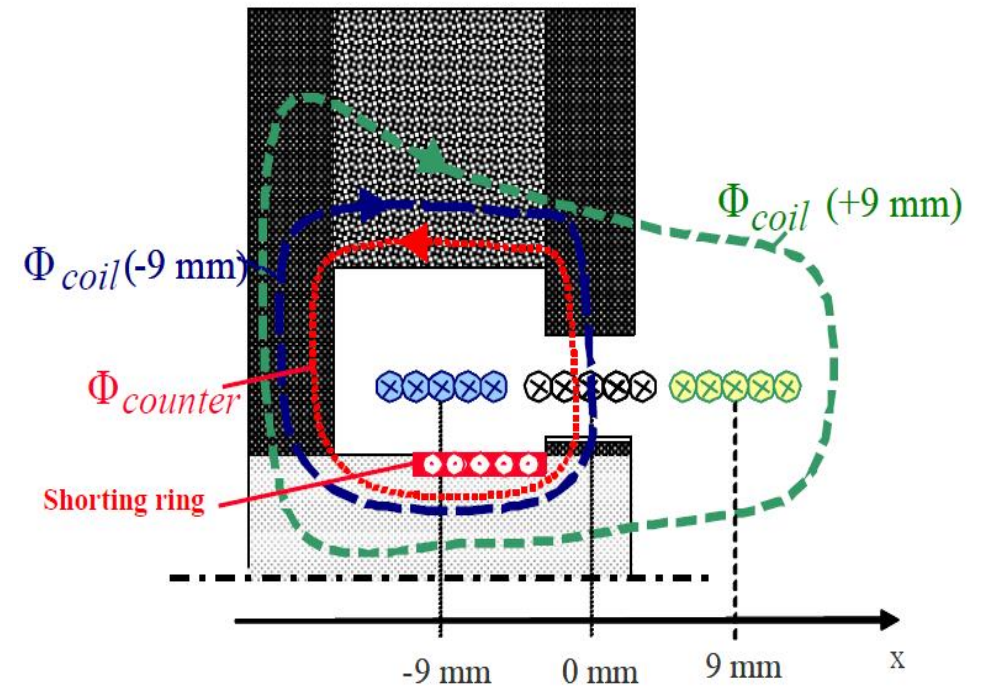
Motor no lineal: $L_e(x)$

- La inductancia o L_e :
 - Relación entre el flujo magnético y la intensidad de corriente que circula por una bobina, multiplicado por el número de espiras
- Depende de la posición de la bobina y la frecuencia
- Interacción de distintos flujos magnéticos en el motor
- Uso de anillo demodulador o *shorting ring*:
 - Reducción de valores de inductancia y curva más lineal



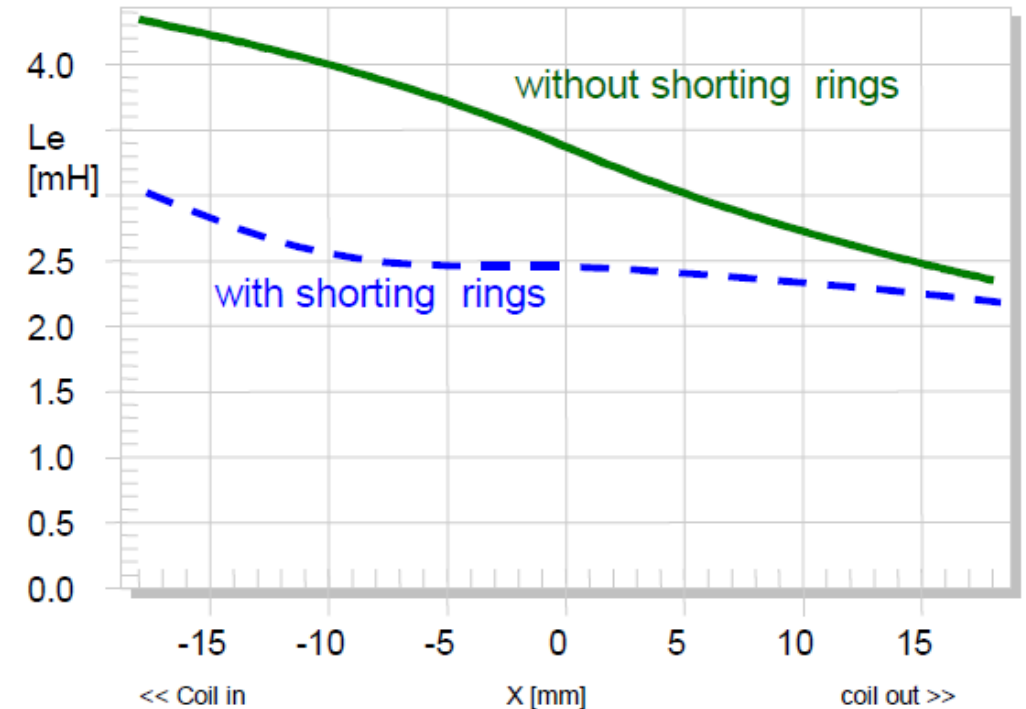
Motor no lineal: $L_e(x)$

- La inductancia o L_e :
 - Relación entre el flujo magnético y la intensidad de corriente que circula por una bobina, multiplicado por el número de espiras
- Depende de la posición de la bobina y la frecuencia
- Interacción de distintos flujos magnéticos en el motor
- Uso de anillo demodulador o *shorting ring*:
 - Reducción de valores de inductancia y curva más lineal



Motor no lineal: $L_e(x)$

- La inductancia o L_e :
 - Relación entre el flujo magnético y la intensidad de corriente que circula por una bobina, multiplicado por el número de espiras
- Depende de la posición de la bobina y la frecuencia
- Interacción de distintos flujos magnéticos en el motor
- Uso de anillo demodulador o *shorting ring*:
 - Reducción de valores de inductancia y curva más constante



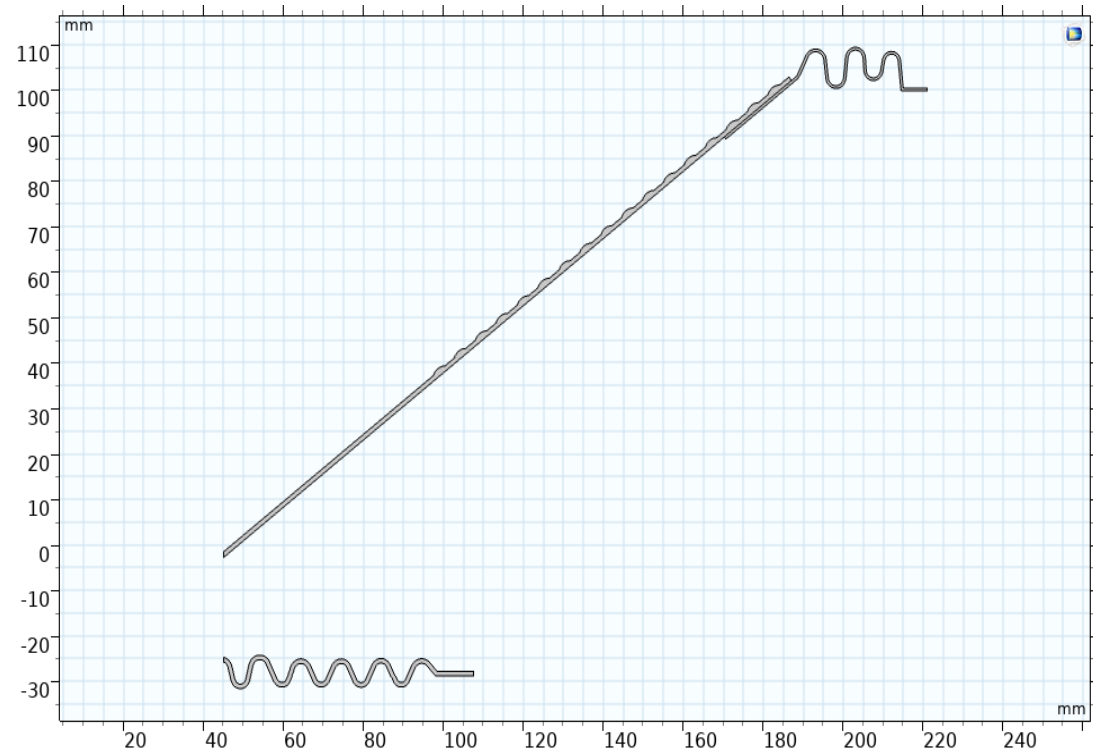
Ejemplo del efecto del anillo demodulador en la curva de inductancia



Simulaciones, modelos y resultados

Rigidez Vs. Desplazamiento: $Kms(x)$

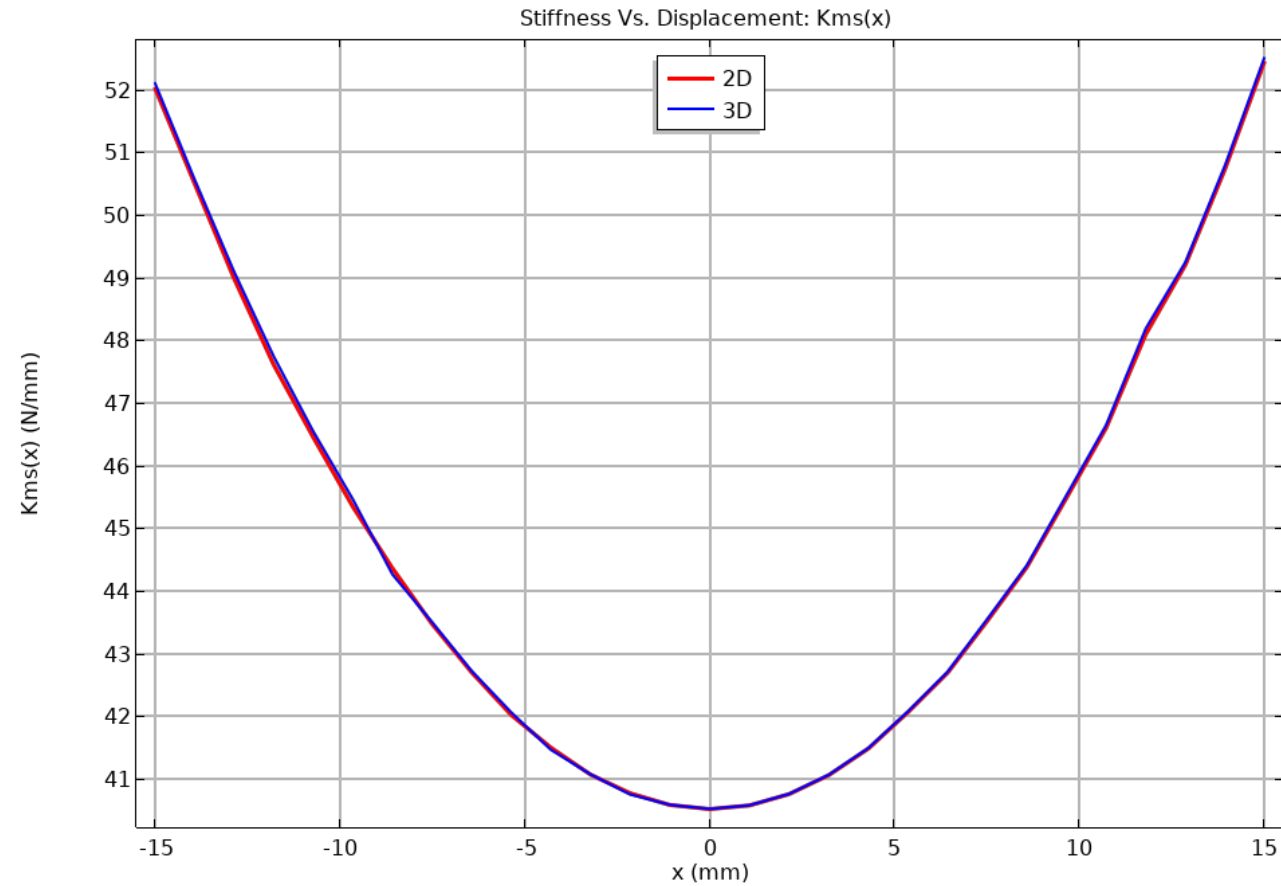
- **Objetivo:** Análisis de fuerza de reacción al aplicar un desplazamiento prescrito
- **Interfaces físicas:** *Solid Mechanics (solid)* y *Shell (shell)* para simplificación de lámina
- **Tipo de estudio:**
 - Estacionario
 - Barrido paramétrico:
 - -15 mm hasta 15 mm



Geometría 2D del sistema de suspensiones

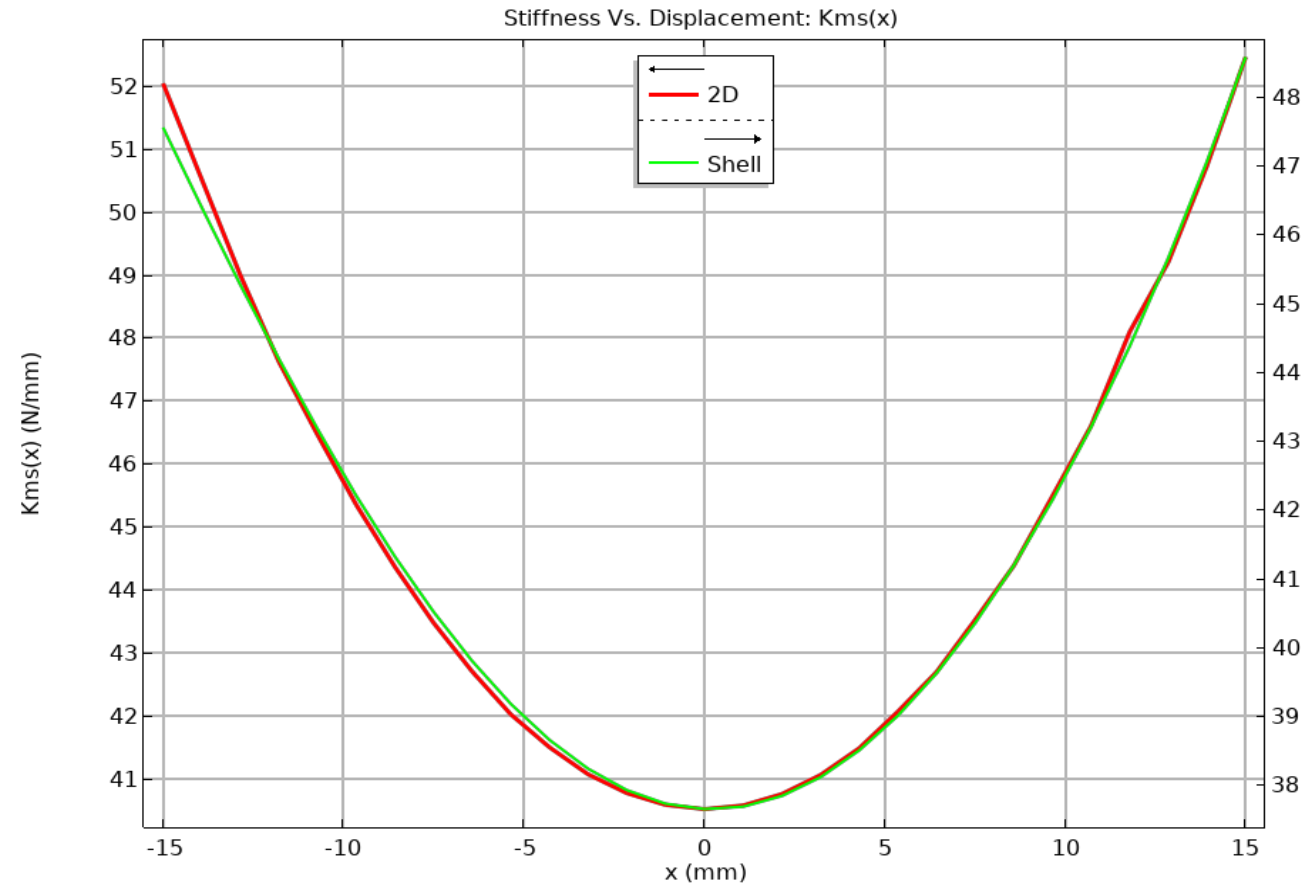
Rigidez Vs. Desplazamiento: $K_{ms}(x)$

- Comparativa del modelo 2D y 3D

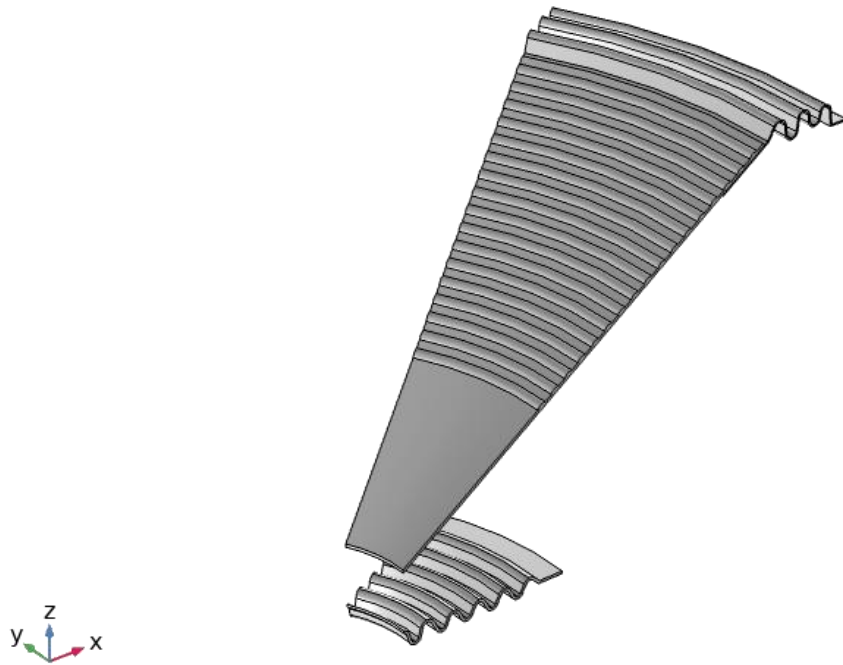


Rigidez Vs. Desplazamiento: $K_{ms}(x)$

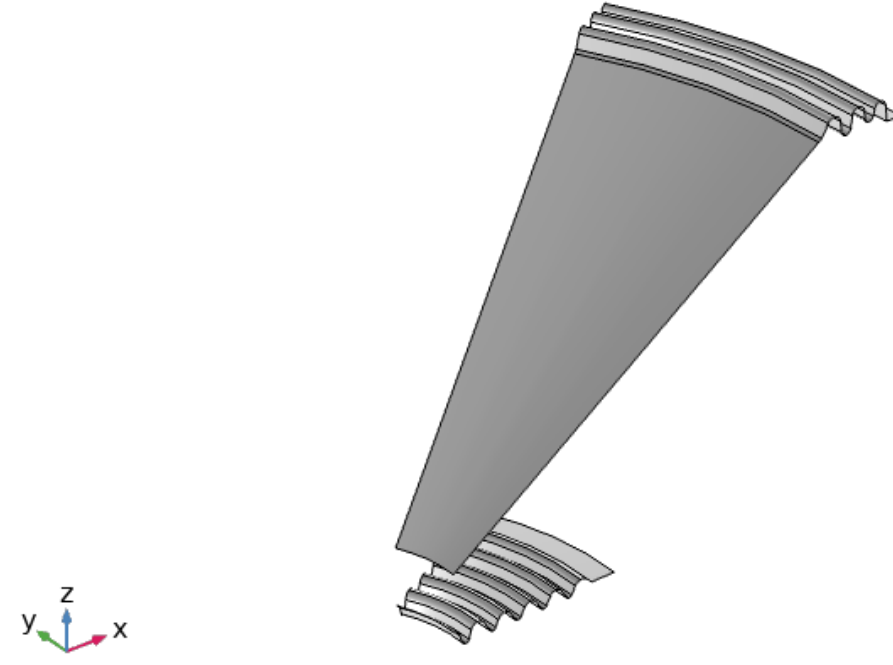
- Comparativa del modelo 2D y simplificación de lámina



Rigidez Vs. Desplazamiento: $Kms(x)$



Geometría 3D interfaz *Solid Mechanics*



Geometría 3D interfaz *Shell*

Rigidez Vs. Desplazamiento: Kms(x)

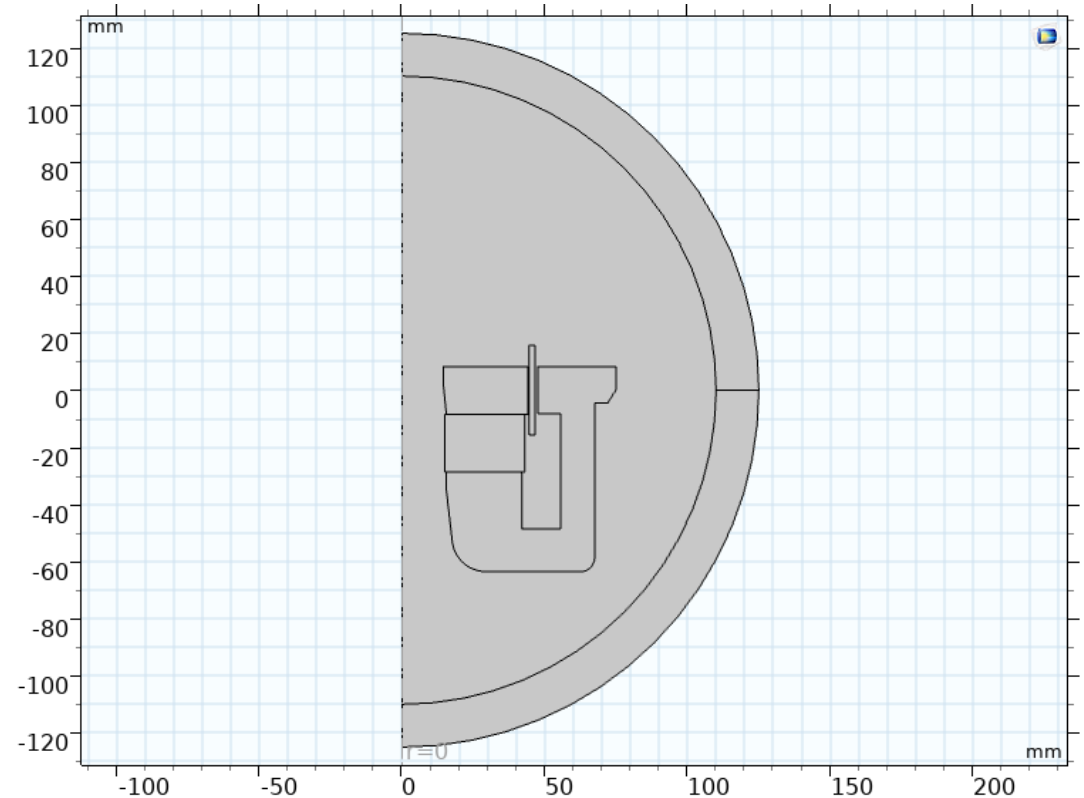
- Comparativa computacional

Modelo	Nº de elementos de malla de dominio	Tiempo de computación*
2D axi-simétrico	3396	20 s
3D (sector de 30º)	44010	16 min 46 s
Lámina (simplificación)	6020	6 min 4 s

*Características PC: Intel i7-7700HQ 7th Gen, 16GB RAM

Factor de fuerza Vs. Desplazamiento: $BI(x)$

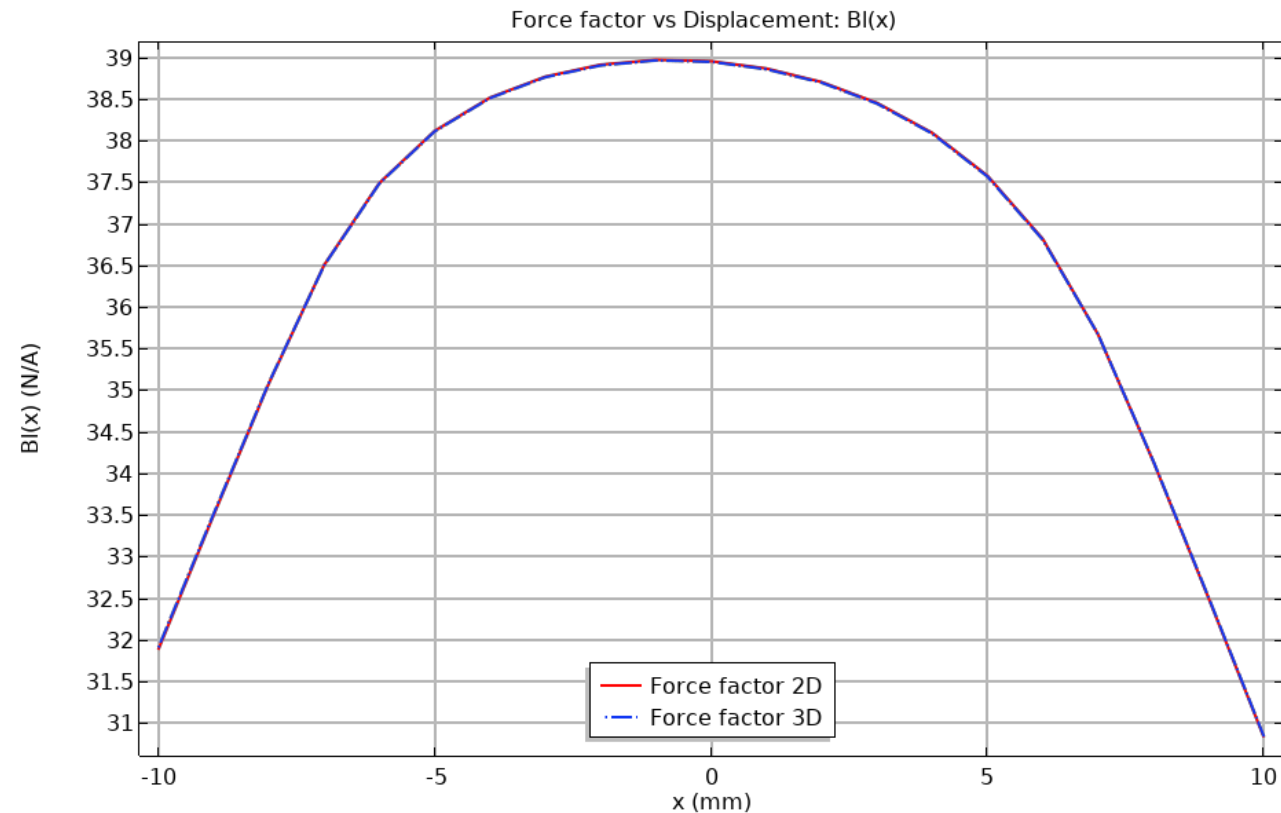
- **Objetivo:** Análisis de la densidad de flujo magnético B a través del domino de la bobina.
- **Interfaz física:** *Magnetic fields (mf)*
- **Tipo de estudio:**
 - Estacionario
 - Barrido paramétrico:
 - -10 hasta 10 mm



Geometría 2D del motor

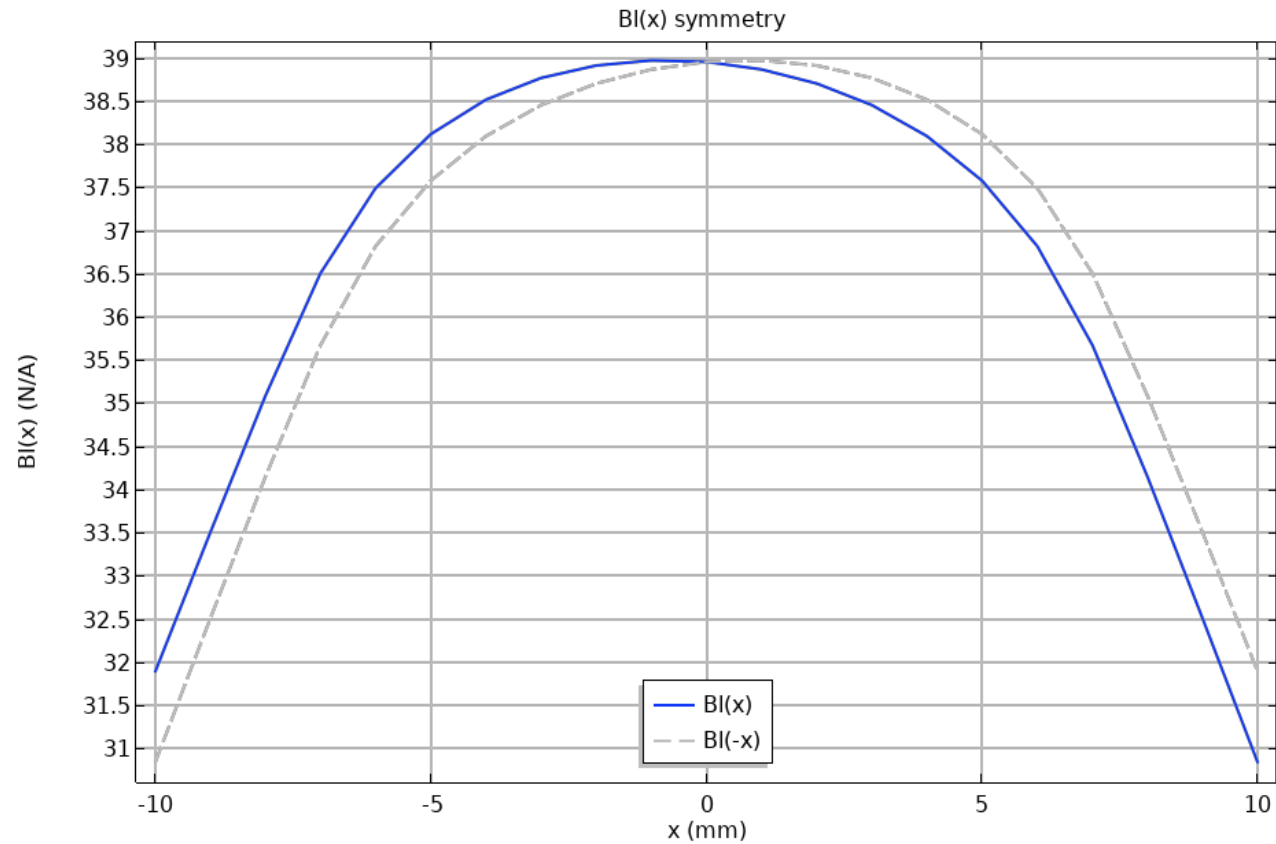
Factor de fuerza Vs. Desplazamiento: $BI(x)$

- Comparativa del modelo 2D y 3D



Factor de fuerza Vs. Desplazamiento: $BI(x)$

- Simetría de la curva



Factor de fuerza Vs. Desplazamiento: $BI(x)$

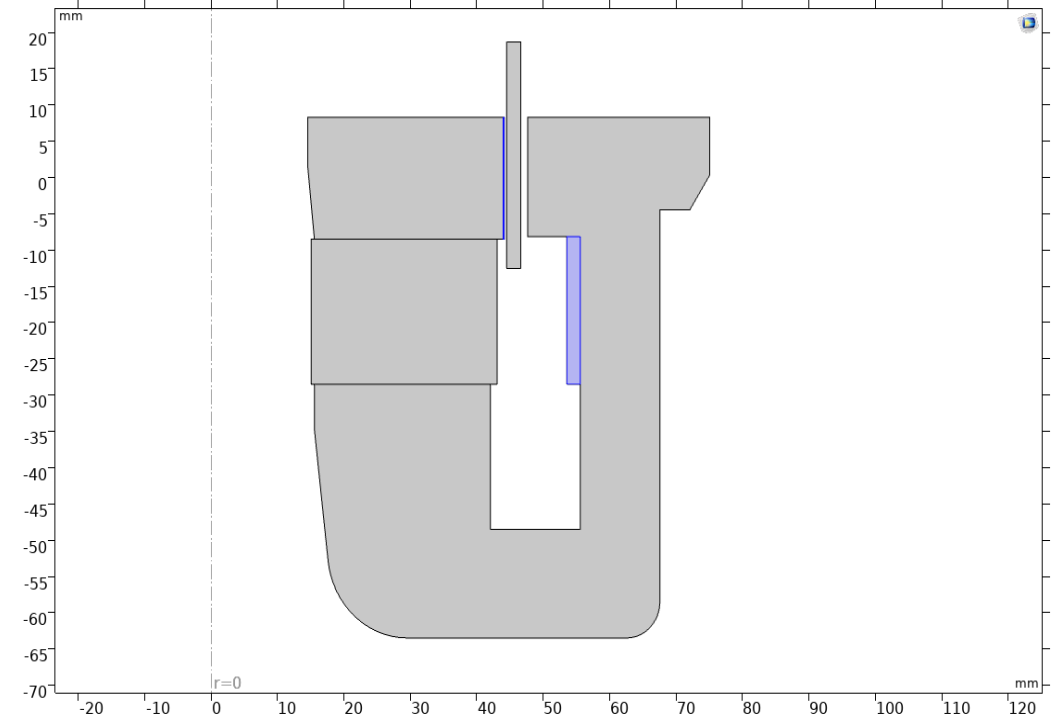
- Comparativa computacional

Modelo	Nº de elementos de malla de dominio	Tiempo de computación*
2D axi-simétrico	15568	4 min 43 s
3D (sector de 30º)	48558	1 h 4 min 12 s

*Características PC: Intel i7-7700HQ 7th Gen, 16GB RAM

Inductancia Vs. Desplazamiento: $L_e(x)$

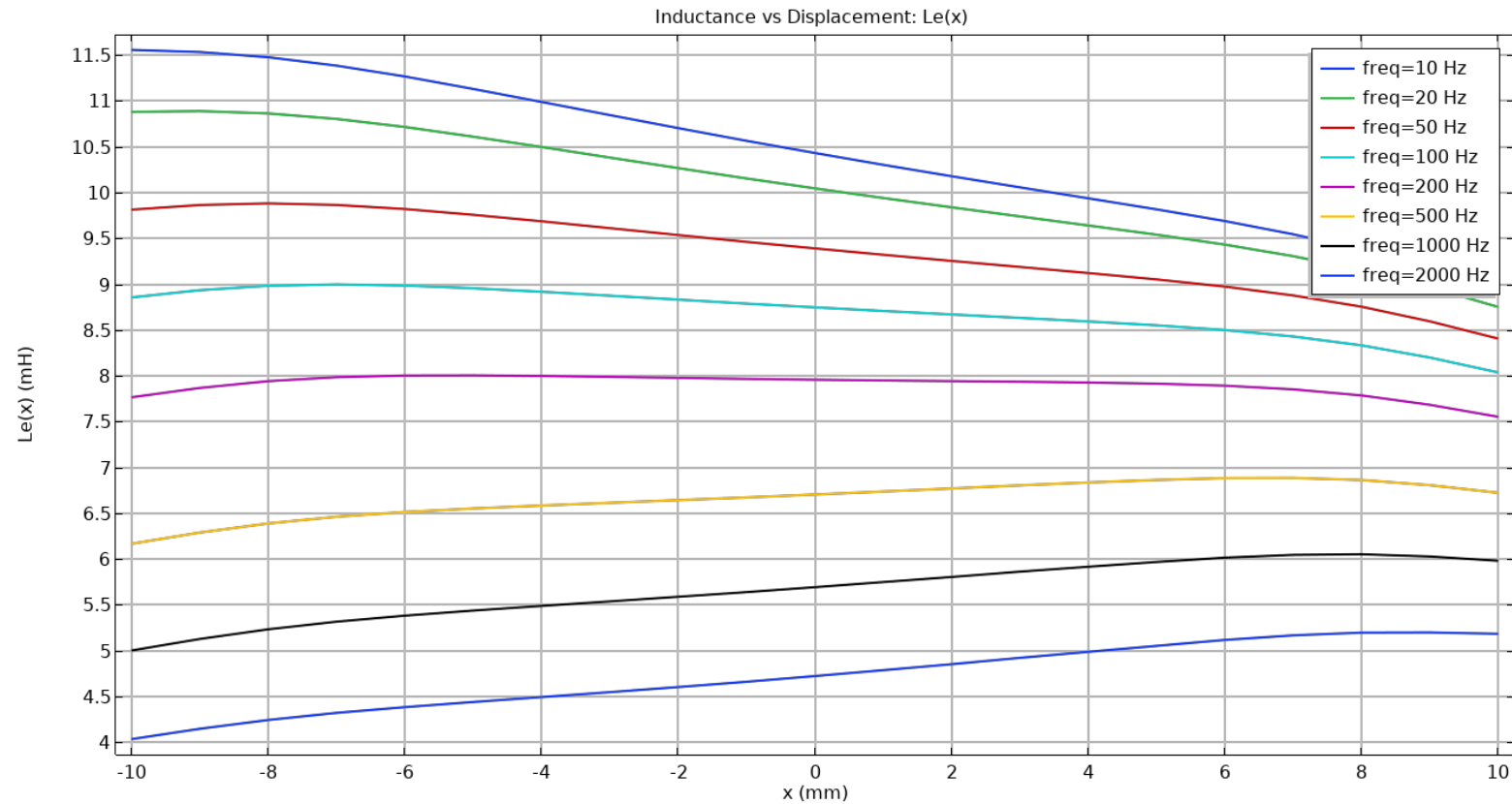
- **Objetivo:** Análisis de inductancia L_e de la bobina móvil.
- **Interfaz física:** *Magnetic fields (mf)*
- **Tipo de estudio:**
 - Estacionario
 - Perturbación en Dominio de Frecuencia
 - Barrido paramétrico 2D:
 - -10 hasta 10 mm en pasos de 1 mm para 8 frecuencias
 - Barrido paramétrico 3D:
 - 5 posiciones {-10 -5 0 5 10} mm para 1000 Hz



Geometría 2D del motor incluyendo anillos demoduladores

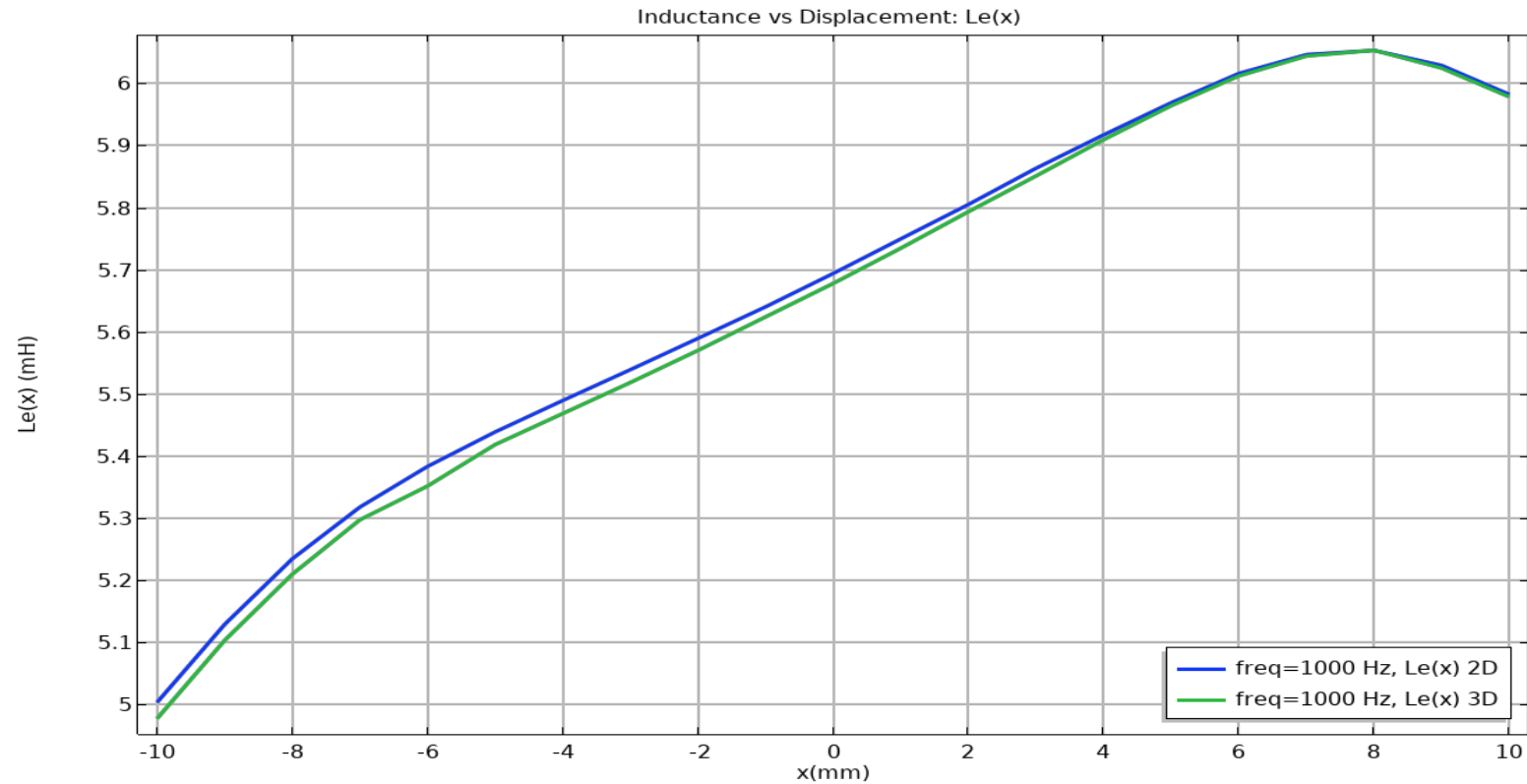
Inductancia Vs. Desplazamiento: $L_e(x)$

- Modelo 2D



Inductancia Vs. Desplazamiento: $Le(x)$

- Comparativa del modelo 2D y 3D



Inductancia Vs. Desplazamiento: $Le(x)$

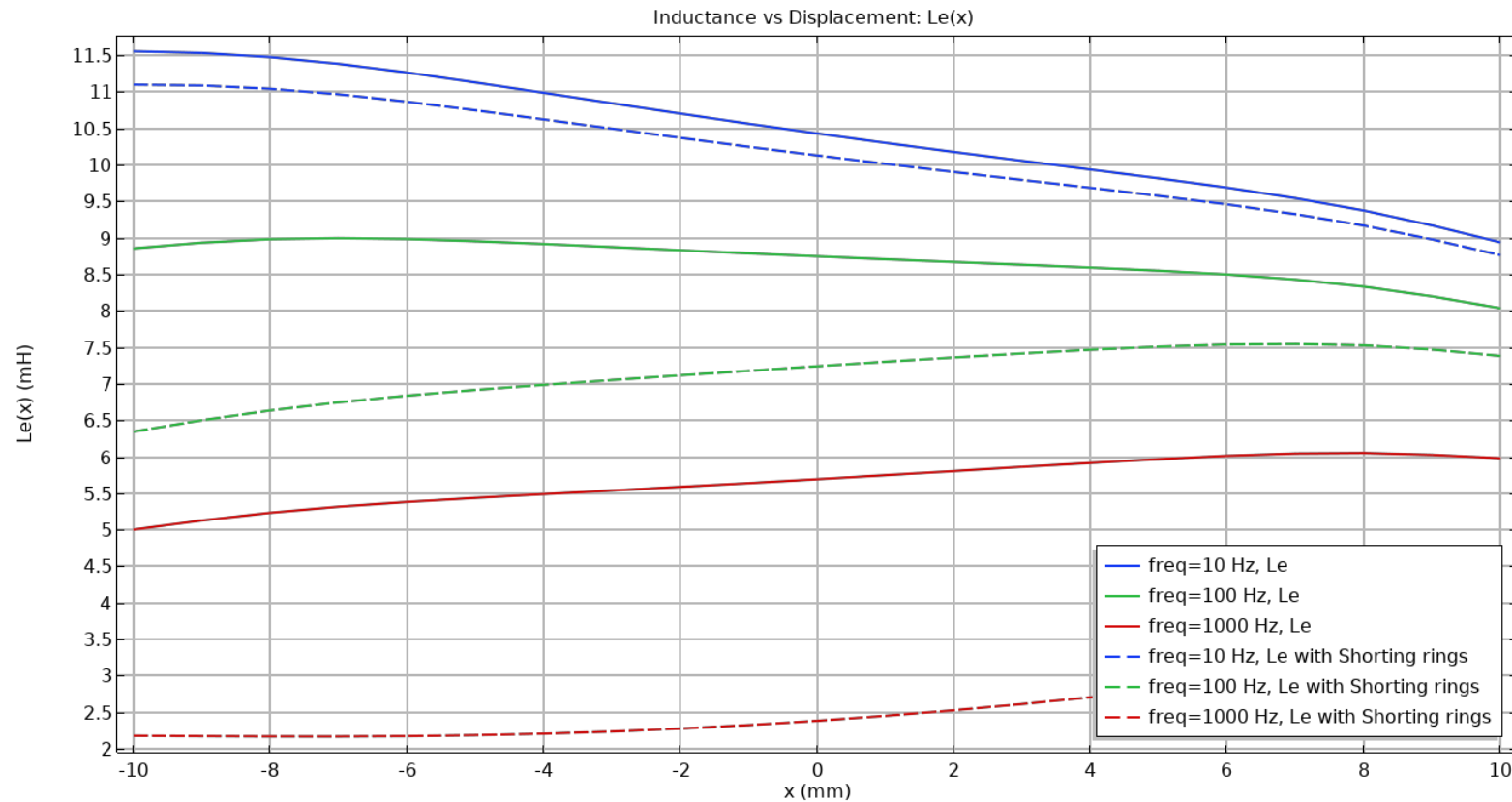
- Comparativa computacional

Modelo	Nº de elementos de malla de dominio	Tiempo de computación*
2D axi-simétrico	24014	16 min 55 s
3D (sector de 30º)	100208	36 min 35 s

*Características PC: Intel i7-7700HQ 7th Gen, 16GB RAM

Inductancia Vs. Desplazamiento: $L_e(x)$

- Modelo 2D con y sin anillo demodulador





Conclusiones

Conclusiones

- ❖ Buen compromiso entre los resultados del modelo 2D y el modelo 3D
- ❖ Gran gasto computacional del modelo 3D y problemas de convergencia
- ❖ Establecido pautas y pasos a seguir para futuras simulaciones
- ❖ Pendiente comparativa con medidas del modelo real → Aumentar precisión del modelo virtual
- ❖ Estudio más exhaustivo de la inductancia no lineal

- COMSOL es un a herramienta muy útil para la predicción y mejora del comportamiento no lineal de un transductor electrodinámico
- Herramienta clave para el diseño de las nuevas generaciones de altavoces



Gracias por su atención

MCOM



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

| uma.es



Addlink
Software Científico

 **COMSOL**