



DISEÑO DE UNA APP EN COMSOL MULTIPHYSICS COMO HERRAMIENTA PARA EL DESARROLLO Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO LINEAL Y NO LINEAL EN UN TRANSDUCTOR ELECTRO-DINÁMICO DE RADIACIÓN DIRECTA (ALTAVOZ).

Rafael Serra Giménez

Alejandro Cifuentes López

28 de Julio de 2020



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

| uma.es

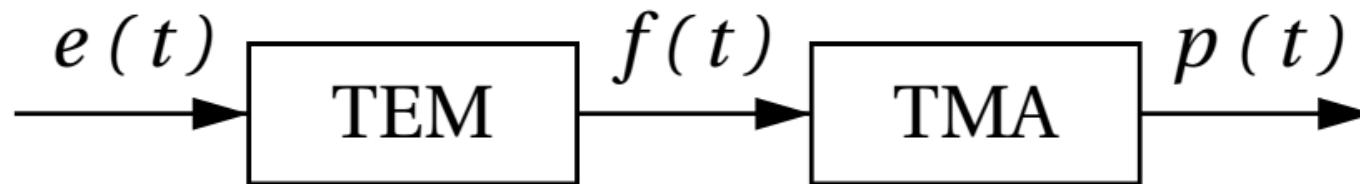


Contenido

- Fundamentos teóricos
- Módulo de Kms (x)
- Módulo de BI (x)
- Módulo de Respuesta en frecuencia
- Exportación de datos y ayuda
- Conclusiones

Transductor electrodinámico de radiación directa

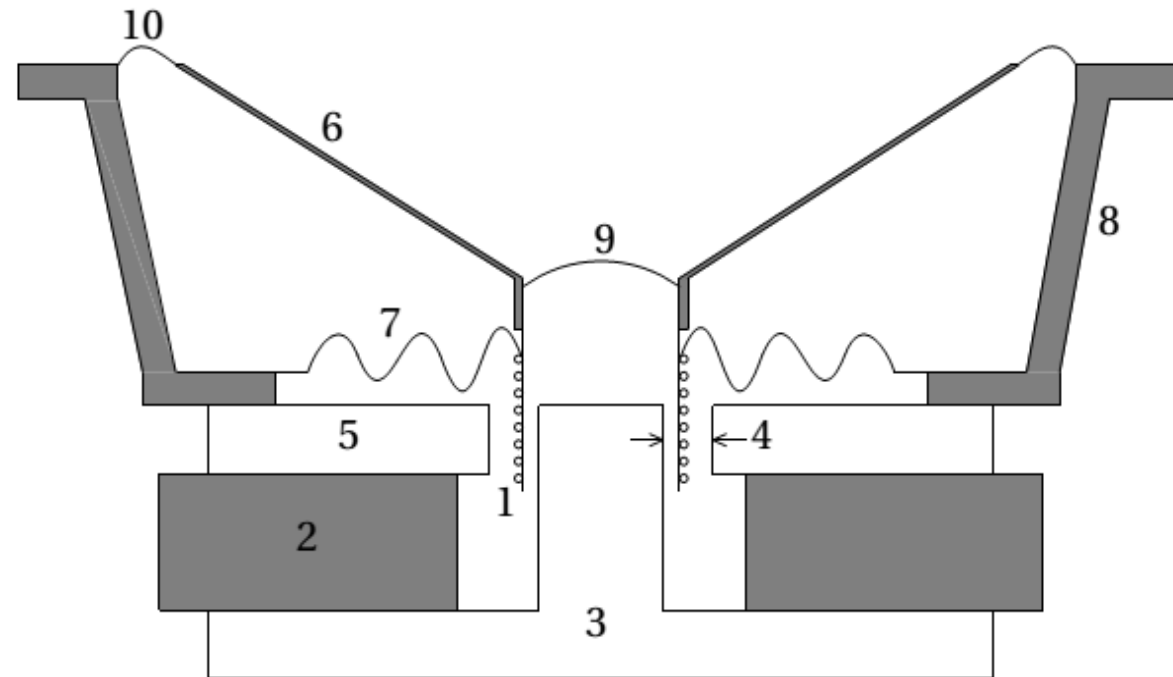
- Dispositivo capaz de transformar energía eléctrica en mecánica y acústica.
- Compuesto fundamentalmente por dos bloques:
 - Sistema de suspensiones: Controla los desplazamientos mecánicos.
 - Sistema electro-magnético: Transforma la señal eléctrica en un movimiento pistónico.



Principio de transducción Electro-mecánico-acústica

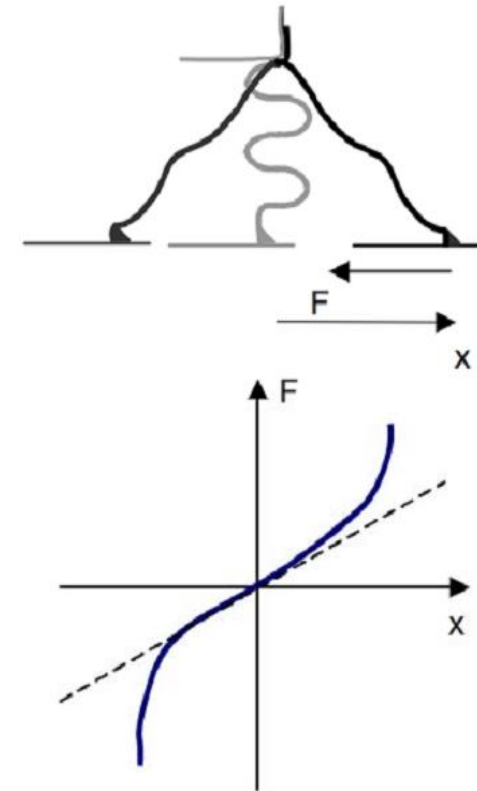
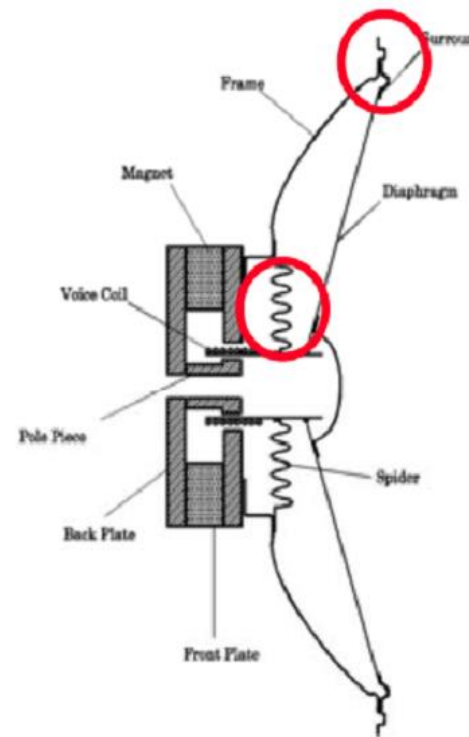
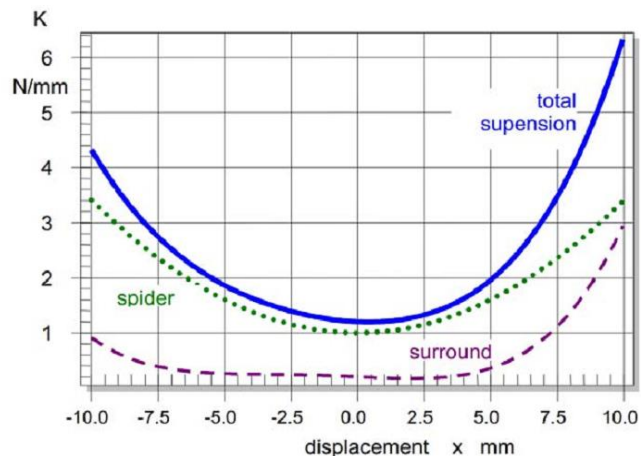
Componentes y partes de un altavoz

1. Entrehierro
2. Imán permanente
3. Pieza polar o núcleo
4. Bobina móvil
5. Pieza polar exterior
6. Cono
7. Centrador
8. Carcasa o chasis
9. Tapita
10. Suspensión



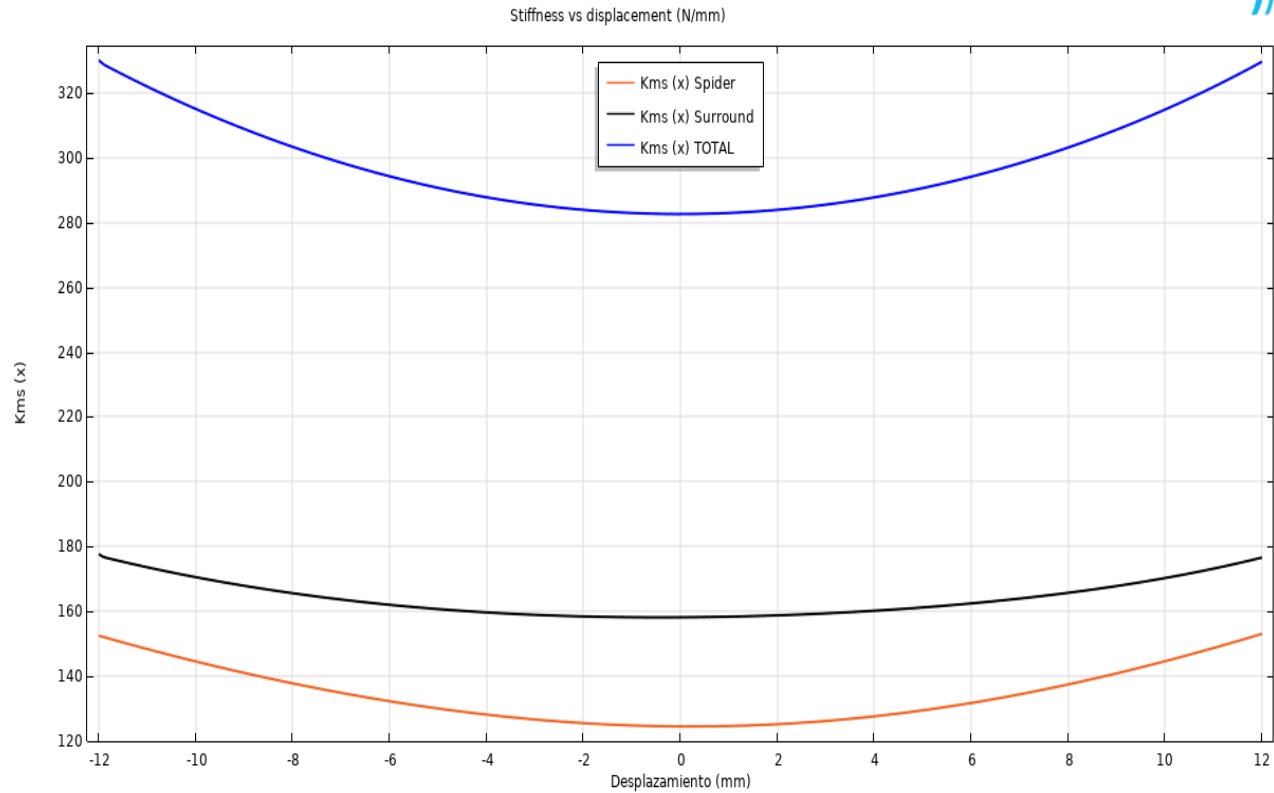
Comportamiento no lineal sistema de suspensiones

- En un altavoz el aumento de la rigidez en función del desplazamiento no se produce de forma lineal.
- Materiales no “nobles”.
- Sistema suspensiones compuesto.
- Comportamiento asimétrico.
- Influencia geométrica.

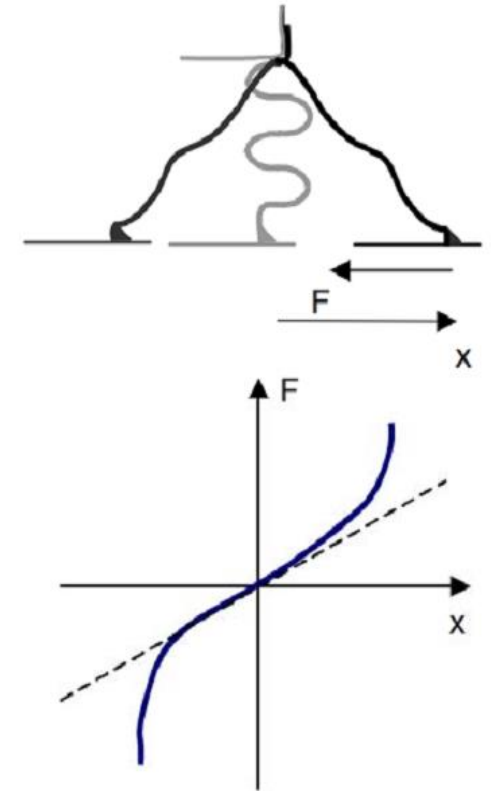
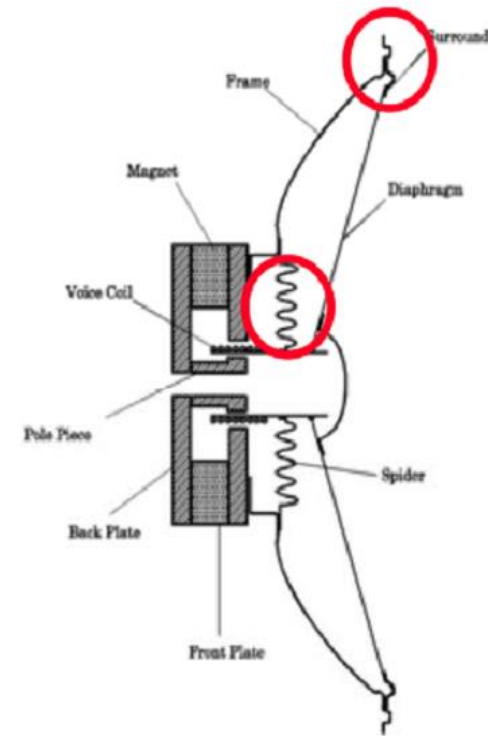


Sistema de suspensiones y curva de fuerza-desplazamiento no lineal

Comportamiento no lineal sistema de suspensiones

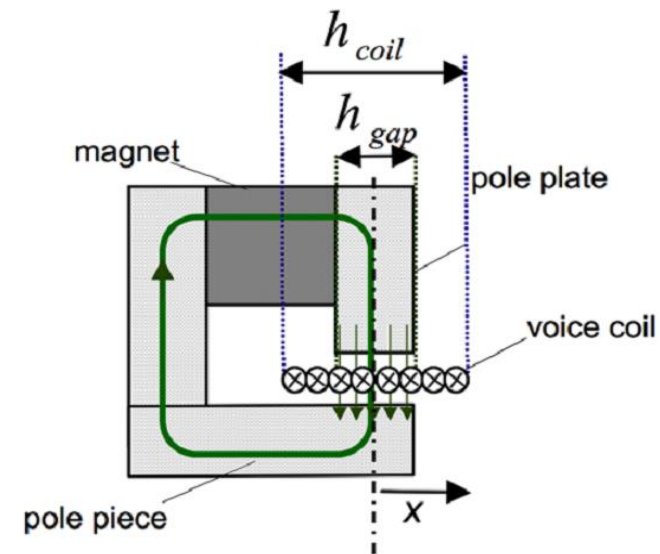


//



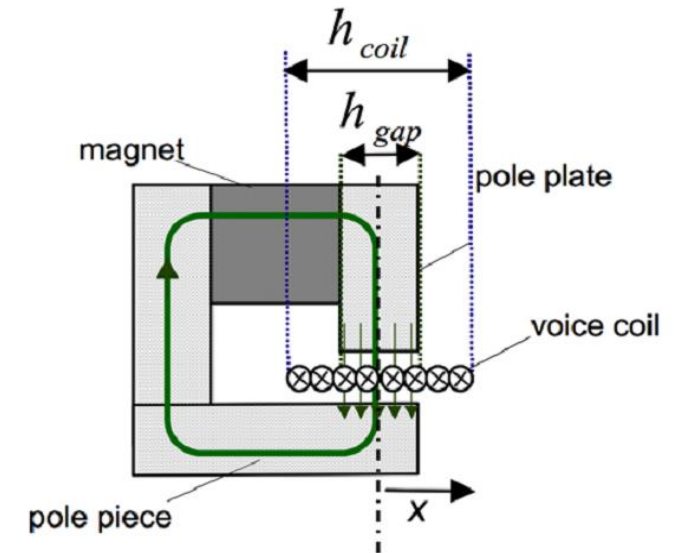
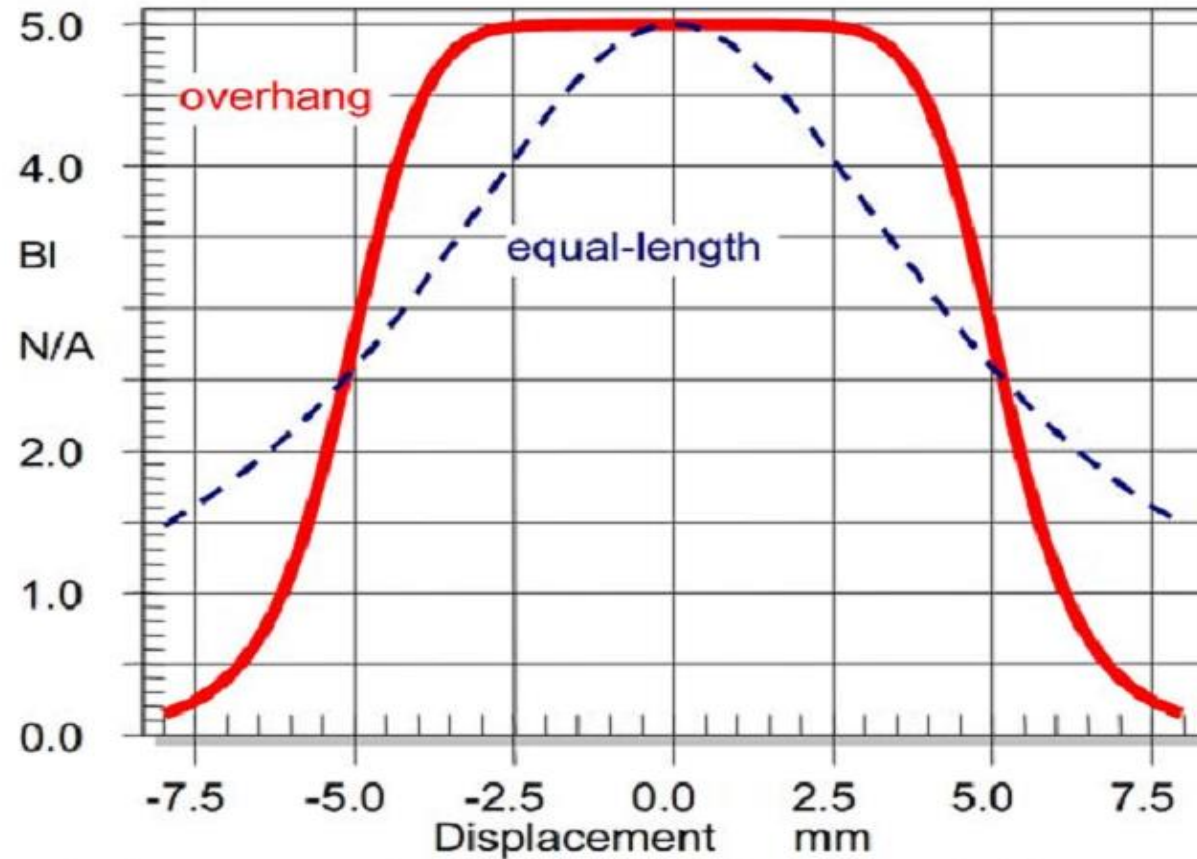
Comportamiento no lineal sistema electro-magnético

- El BI o Factor de fuerza, es el producto entre el flujo magnético en el entrehierro y la longitud del hilo de la bobina que se encuentra sometida a la acción del campo magnético permanente.
- El BI es inversamente proporcional al desplazamiento y tiene un comportamiento no lineal.
- Comportamiento asimétrico.
- Influencia geométrica.



Sistema de electro-magnético de un altavoz

Comportamiento no lineal sistema electro-magnético



Factores de fuerza $BI(x)$ de una configuración con una bobina con mayor ancho de bobinado que el entrehierro y una bobina de igual longitud que el entrehierro.

Parámetros no lineales

- X_c : El valor de X_c se corresponde con el valor del desplazamiento obtenido para una desviación porcentual objetivo con respecto a la rigidez del componente en reposo.
- A_k Symmetry (IEC 62458): Este valor nos indica de forma numérica (porcentual) cuan simétrico es nuestro sistema de suspensiones:

$$A_K (X_{peak}) = \frac{2(K_{MS}(-X_{peak}) - K_{MS}(X_{peak}))}{K_{MS}(-X_{peak}) + K_{MS}(X_{peak})} 100\%$$

- x_{Bl} : El valor de x_{Bl} se corresponde con el desplazamiento en mm obtenido en relación a una caída porcentual "x" del Bl con respecto al Bl máximo.

Módulo de Kms versus desplazamiento

Untitled.mph - KBLR - Simulador de Kms (x), BI (x) y respuesta

File ▾ Estudio Kms (x) Estudio Blx (x) Parámetros Thiele & Small Respuesta en frecuencia Exportar Datos Informes Ayuda

Cono Activado
 Suspensión Activada
 Centrador Activado

Gráfica SIM ACTIVADA

Configurar Kms (x) Definir Malla • Simular Kms (x) Resultados Kms (x) Comparar Kms (x)

Configurar Kms (x) Simular Kms (x) Resultados

Seleccionar Centrador:

1

Seleccionar Surround:

3

Seleccionar Restricción:

28
29
65
66

Desplazamiento Centrador:

2

Desplazamiento Surround:

3

Seleccionar Cono:

2

Tiempo última simulación Estudio Kms(x): 49.7 s

Tiempo última simulación Estudio modos propios: 3.613 s

Simulación realizada con Éxito.

Reproducir sonido al finalizar la simulación

Importar dxf

Kms (x)

Material Spider:
 Módulo de Young: 0.1e11 Pa
 Coef de Poisson: 0.3
 Densidad: 446 kg/m³

Material Surround:
 Módulo de Young: 0.9e10 Pa
 Coef de Poisson: 0.3
 Densidad: 1200 kg/m³

Material Cono:
 Módulo de Young: 0.1e14 Pa
 Coef de Poisson: 0.3
 Densidad: 800 kg/m³

Desplazamiento y modos:
 Desp máximo: 12 mm
 Desp mínimo: -dMax mm
 Paso: 0.1 mm
 Número modos: 6

Tamaño del elemento de la malla:
 Extra Fina

Geometría **Mallado**

Versión KBLR-APP V5.35_2020

Módulo de Kms versus desplazamiento

Untitled.mph - KBLR - Simulador de Kms (x), BI (x) y respuesta

File | Estudio Kms (x) | Estudio Blx (x) | Parámetros Thiele & Small | Respuesta en frecuencia | Exportar Datos | Informes | Ayuda

Configurar Kms (x) | Resultados Kms (x) | Comparar Kms (x)

Tabla Totales | Tabla Spider | Tabla Surround | Tabla Total

Desp (mm)	Total (N/mm)
-12.000	330.11
-11.900	328.79
-11.800	327.99
-11.700	327.21
-11.600	326.44
-11.500	325.68
-11.400	324.92
-11.300	324.17
-11.200	323.43
-11.100	322.69
-11.000	321.96
-10.900	321.24
-10.800	320.53
-10.700	319.82
-10.600	319.13
-10.500	318.43
-10.400	317.75
-10.300	317.07
-10.200	316.40
-10.100	315.74
-10.000	315.08
-9.9000	314.43
-9.8000	313.79
-9.7000	313.15
-9.6000	312.52
-9.5000	311.90
-9.4000	311.28
-9.3000	310.67
-9.2000	310.07
-9.1000	309.48
-9.0000	308.89
-8.9000	308.30
-8.8000	307.73
-8.7000	307.16
-8.6000	306.60
-8.5000	306.04

Criterio en % Kms TOTAL

Porcentaje de aumento de rigidez: 75

Xc @ 75 % : > **12** mm

Kms @ 75 % : **376.9** N/mm

$A_k(x_{peak})$: **0.1427** % (IEC 62458)

Calcular Xc TOTAL

Criterio en % Kms SPIDER

Porcentaje de aumento de rigidez: 75

Xc @ 75 % : > **12** mm

Kms @ 75 % : **166** N/mm

$A_k(x_{peak})$: **-0.368** % (IEC 62458)

Calcular Xc Spider

Criterio en % Kms SURROUND

Porcentaje de aumento de rigidez: 75

Xc @ 75 % : > **12** mm

Kms @ 75 % : **210.9** N/mm

$A_k(x_{peak})$: **0.5832** % (IEC 62458)

Calcular Xc Surround

Tiempo última simulación Estudio Kms(x): 49.7 s

Tiempo última simulación Estudio modos propios: 3.613 s

Simulación realizada con Éxito.

Reproducir sonido al finalizar la simulación

Stiffness vs displacement (N/mm)

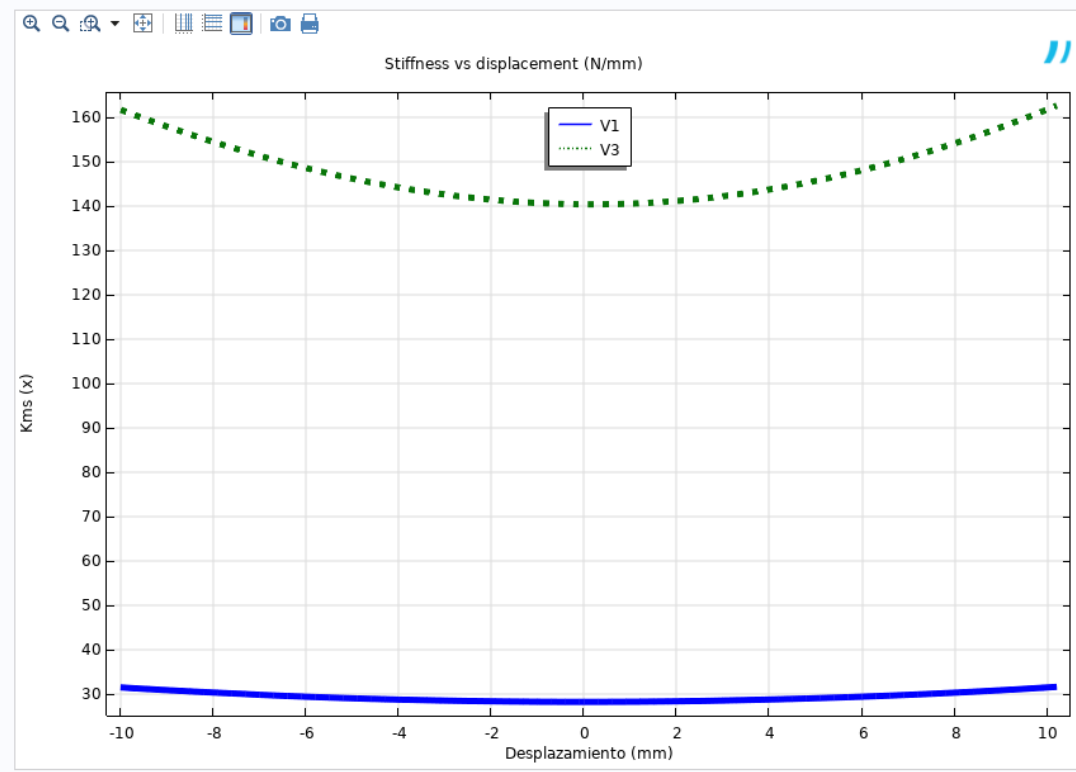
Módulo de Kms versus desplazamiento - Comparador

Untitled.mph - KBLR - Simulador de Kms (x), BI (x) y respuesta

File ▾ Estudio Kms (x) Estudio Blx (x) Parámetros Thiele & Small Respuesta en frecuencia Exportar Datos Informes Ayuda

Configurar Kms (x) Resultados Kms (x) Comparar Kms (x)

Introducir Nombre:



<input checked="" type="checkbox"/> V1	Xc: >10 mm @ 75 %. Ak: -0.4 %	<input type="text" value="V1"/>	<input type="button" value="Eliminar curva"/>	Solid	<input type="range"/>
<input type="checkbox"/> V2	Xc: >10 mm @ 75 %. Ak: -0.4 %	<input type="text" value="V2"/>	<input type="button" value="Eliminar curva"/>	Solid	<input type="range"/>
<input checked="" type="checkbox"/> V3	Xc: >10 mm @ 75 %. Ak: -0.56 %	<input type="text" value="V3"/>	<input type="button" value="Eliminar curva"/>	Dotted	<input type="range"/>

Módulo de BI versus desplazamiento

Untitled.mph - KBLR - Simulador de Kms (x), BI (x) y respuesta

File ▾ Estudio Kms (x) Estudio Blx (x) Parámetros Thiele & Small Respuesta en frecuencia Exportar Datos Informes Ayuda

Dibujar Bobina ACTIVADO
Dibujar Arco ACTIVADO

Gráfica SIM ACTIVADA

Configurar Simulación BI(x) Definir Malla BI (x) - Configurar BI (x)

Simular BI (x) Simular BI y Re Simular BI (x)

Resultados BI (x) Resultados BI y Re Comparar Blx Resultados BI (x), BI (0) y Re

Seleccionar Fichero... Importar dxf BI (x)

Bobina

Seleccionar Bobina: 6

Configurar Bobina

Cobre

Ancho de Bobinado: 20 mm

Diámetro Interno: 100 mm

Número de capas: 2

Diámetro del hilo: 0.30 mm

Split Gap: 0 mm

Esmalte hilo: 10 %

Número Espiras: 119

z Bobina: 0 mm

Desplazamiento Blx

Desp. Máximo: 7 mm

Desp. Mínimo: -HB mm

Paso: 1 mm

Resultados BI (0) y Re

Re: 9.173 Ω

BI (0): 15.83 N/A

Info Malla Blx

Tamaño del elemento: Extremadamente fina

Imán

Seleccionar Imán: 8

Ferrita Y30

Imán Exterior

Círculo FEM

Radio Círculo FEM: 200 mm

Coordenada Z: 0 mm

Espesor Capa Círculo: 15 mm

Tiempo última simulación Estudio BI (x): 83.94 s

Tiempo última simulación BI y Re: 3.908 s

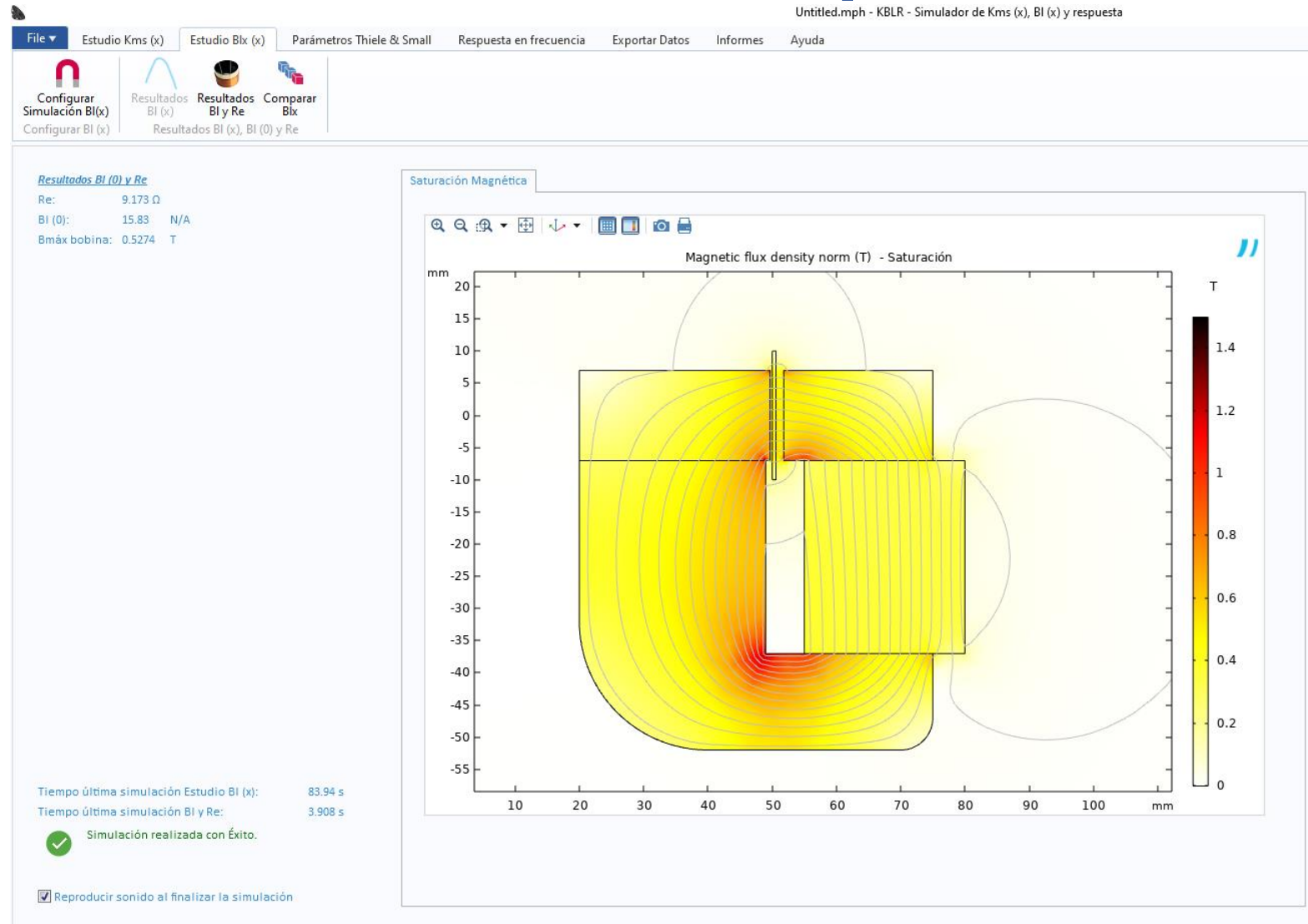
✓ Simulación realizada con Éxito.

Reproducir sonido al finalizar la simulación

Versión KBLR-APP VS.35_2020

Geometría BI (x) Mallado BI (x)

Módulo de BI versus desplazamiento



Módulo de BI versus desplazamiento

Untitled.mph - KBLR - Simulador de Kms (x), BI (x) y respuesta

File ▾ Estudio Kms (x) Estudio Blx (x) Parámetros Thiele & Small Respuesta en frecuencia Exportar Datos Informes Ayuda

Configurar Simulación BI(x) Resultados BI (x) Resultados BI y Re Comparar Blx

Configurar BI (x) Resultados BI (x), BI (0) y Re

Tabla BI (x)

Incremento (mm)	BI (x) (N/A)
-7.0000	12.311
-6.0000	13.123
-5.0000	13.902
-4.0000	14.671
-3.0000	15.374
-2.0000	15.766
-1.0000	15.876
0.0000	15.825
1.0000	15.654
2.0000	15.351
3.0000	14.821
4.0000	14.020
5.0000	13.152
6.0000	12.264
7.0000	11.371

Selección de criterio de caída % BI

Porcentaje de aumento de rigidez: 82

xBI @ 82 % : 5 mm

BI @ 82 % : 12.98 N/A

Calcular xBI

Tiempo última simulación Estudio BI (x): 80.4 s

Tiempo última simulación BI y Re: 3.908 s

Simulación realizada con Éxito.

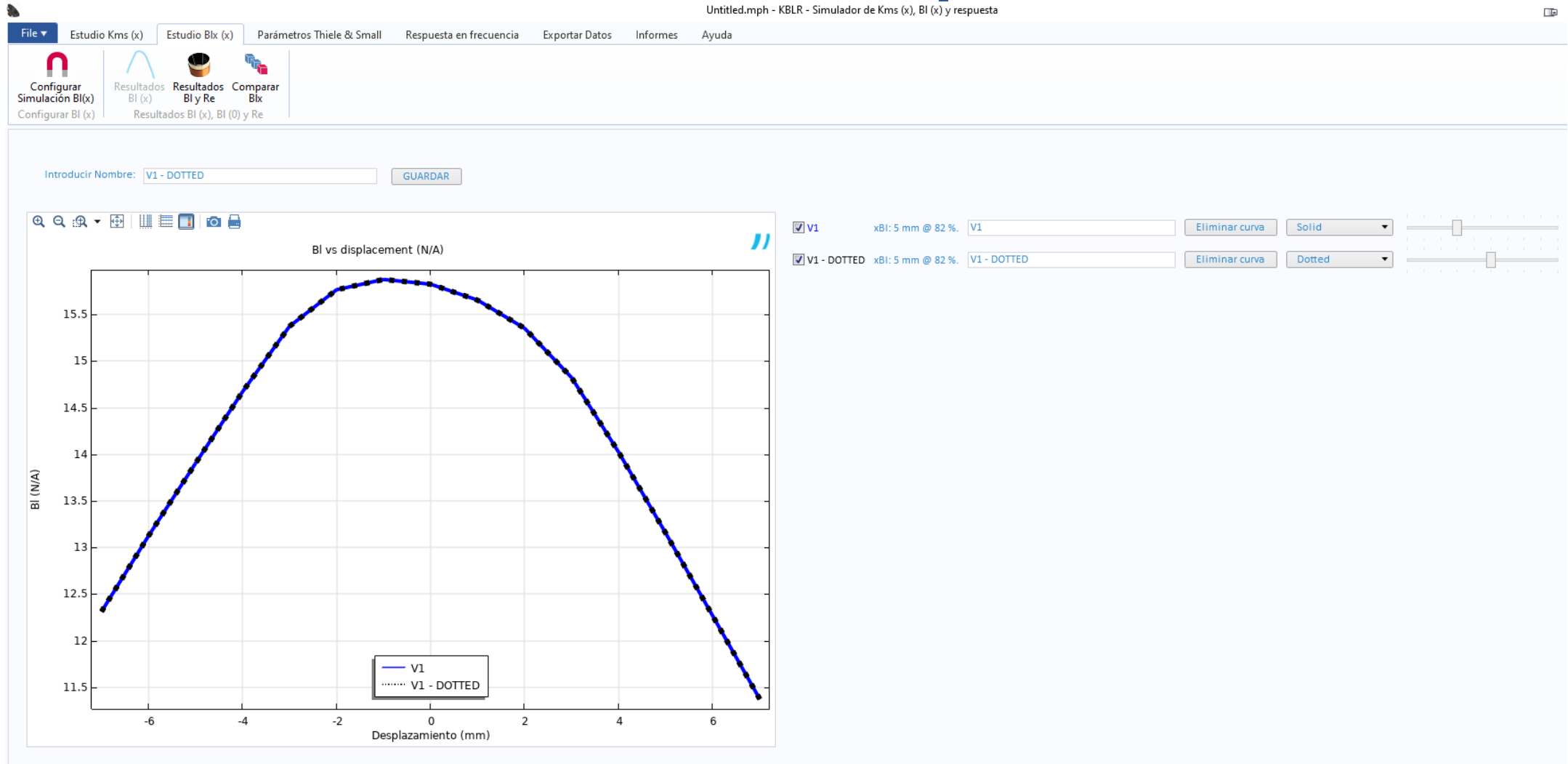
Reproducir sonido al finalizar la simulación

Blix Animación

BI vs displacement (N/A)

Legend: BI(x) (solid blue line), BI(-x) (dashed grey line)

Módulo de BI versus desplazamiento



Calculadora de bobinas y parámetros T&S

Untitled.mph - KBLR - Simulador de Kms (x), BI (x) y respuesta

File | Estudio Kms (x) | Estudio Blx (x) | **Parámetros Thiele & Small** | Respuesta en frecuencia | Exportar Datos | Informes | Ayuda

T&S
Parámetros T&S
Parámetros Thiele & Small

T&S entradas COMSOL

Inputs COMSOL

Importar datos desde CALCULADORA

Mms: 19.487 g
fs: 70 Hz
Sd: 220 cm²
Znom: 8 Ω
H_{Bob}: 20 mm
H_{Aca}: 7 mm
Número Espiras: 119
Re Simulada: 9.173 Ω
BI Simulado: 15.83 N/A

T&S Resultados COMSOL

Resultados COMSOL

Qes: 0.314
n0: 1.919 %
Lm: 95.03 dB
Lnom: 94.44 dB
Vas: 17.98 l
Cms: 0.2653 mm/N
Xmax: 6.5 mm
Xmax Beyma: 8.5 mm
EBP: 223 Hz
BI²/Re: 27.3 (N/A)²/Ω

T&S entradas Calculadora

Inputs CALCULADORA

Importar datos simulación COMSOL

Mms: 19.487 g
fs: 70 Hz
Sd: 220 cm²
Znom: 8 Ω
H_{Bob}: 20 mm
H_{Aca}: 7 mm
Número Espiras: 119
Re Simulada: 9.119 Ω
BI Simulado: 17.33 N/A

T&S Resultados Calculadora

Resultados CALCULADORA

Qes: 0.26
n0: 2.313 %
Lm: 95.84 dB
Lnom: 95.27 dB
Vas: 17.98 l
Cms: 0.2653 mm/N
Xmax: 6.5 mm
Xmax Beyma: 8.5 mm
EBP: 268.9 Hz
BI²/Re: 32.92 (N/A)²/Ω

Configurar BOBINA

Cobre

Espesor Soporte: 0.08 mm
Diámetro Interno: 100 mm
Número de capas: 2
Diámetro del hilo: 0.3 mm
Split Gap: 0.0 mm
Esmalte hilo: 10 %
Flujo: 1 T
GAP efectivo: 30 %
OD Máximo BOB: 101.5 mm
Peso hilo BOB: 22.99 g

Importar Re
 Importar BI

Fórmulas T&S | Fórmulas Bobina

$$M_{ms} = \left(\frac{M_{md}}{1000}\right) + (1.13 \cdot (\sqrt{\pi} \cdot r_{efectivo})^3) = \left(\frac{M_{md}}{1000}\right) + (5.34 \cdot \rho \cdot r_{efectivo}^3)$$

$S_d = \pi r^2$	$r_{efectivo} = \sqrt{\frac{S_d}{\pi}}$	$k = \frac{\rho_0 \cdot 100}{2 \cdot \pi \cdot c}$	$EBP = \frac{f_s}{Q_{es}}$
$C_{ms} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_s)^2 \cdot \left(\frac{M_{ms}}{1000}\right)}$		$V_{as} = \rho_0 \cdot c^2 \cdot S_d \cdot C_{ms} \cdot 1000$	
$\eta_0 = \frac{k \cdot (BI \cdot S_d)^2}{R_e \cdot (M_{ms} \cdot 1000)^2}$		$Q_{es} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot \left(\frac{M_{ms}}{1000}\right) \cdot R_e}{BI^2}$	
$L_m = 112.2 \cdot \left[10 \cdot \text{Log}_{10}\left(\frac{100}{\eta_0}\right)\right]$		$L_{nom} = L_m \cdot \left[10 \cdot \text{Log}_{10}\left(\frac{Z_n}{R_e}\right)\right]$	
$X_{max} = \frac{WL_{BOB} - H_{GAP}}{2}$		$X_{maxBEYMA} = \frac{WL_{BOB} - H_{GAP}}{2} + \frac{H_{GAP}}{3.5}$	

Módulo de respuesta en frecuencia

Untitled.mph - KBLR - Simulador de Kms (x), BI (x) y respuesta

File ▾ Estudio Kms (x) Estudio Blx (x) Parámetros Thiele & Small Respuesta en frecuencia Exportar Datos Informes Ayuda

Selecciones Respuesta Inputs Definir Malla Respuesta Simular Respuesta Resultados Respuesta Respuesta en frecuencia

Gráfica SIM ACTIVADA

Selecciónar Fichero... Importar dxf

Respuesta

Selecciónar Surround: 13

Selecciónar Cono: 10

Selecciónar Centrador: 9

Tapeta: 3

Bobina: 8

Former: 7

Imán: 12

Hierro: 6, 11

PML: 1, 5

Selecciónar Restricción Movimiento: 56, 57, 62

Aire Campo Magnético: 2, 6, 7, 8, 9, 11

Selecciónar Exterior Field: 70

Tiempo última simulación Estudio Respuesta: 0

Los datos de entrada han cambiado con respecto a la última simulación realizada.

Reproducir sonido al finalizar la simulación

Tamaño del elemento: Fina

Geometría Mallado

Módulo de respuesta en frecuencia

Untitled.mph - KBLR - Simu

File ▾ Estudio Kms (x) Estudio Blx (x) Parámetros Thiele & Small Respuesta en frecuencia Exportar Datos Informes Ayuda

Selecciones Respuesta Inputs Respuesta Definir Malla Respuesta ▾ Gráfica SIM ACTIVADA Resultados Respuesta Respuesta en frecuencia

Configurar Respuesta Simular Respuesta Simular Respuesta

▼ Suspension

Módulo de Young: Pa
Coeficiente de Poisson:
Densidad: kg/m³

▼ Tapeta

Módulo de Young: Pa
Coeficiente de Poisson:
Densidad: kg/m³

▼ Bobina

Cobre ▾
Número de Espiras: mm
Diámetro del hilo: mm

▼ Seleccionar Imán

Ferrita Y30 ▾
Imán Exterior ▾

▼ Cono

Módulo de Young: Pa
Coeficiente de Poisson:
Densidad: kg/m³

▼ Former

Módulo de Young: Pa
Coeficiente de Poisson:
Densidad: kg/m³

▼ Entradas

Voltaje de pico: V

▼ Centrador

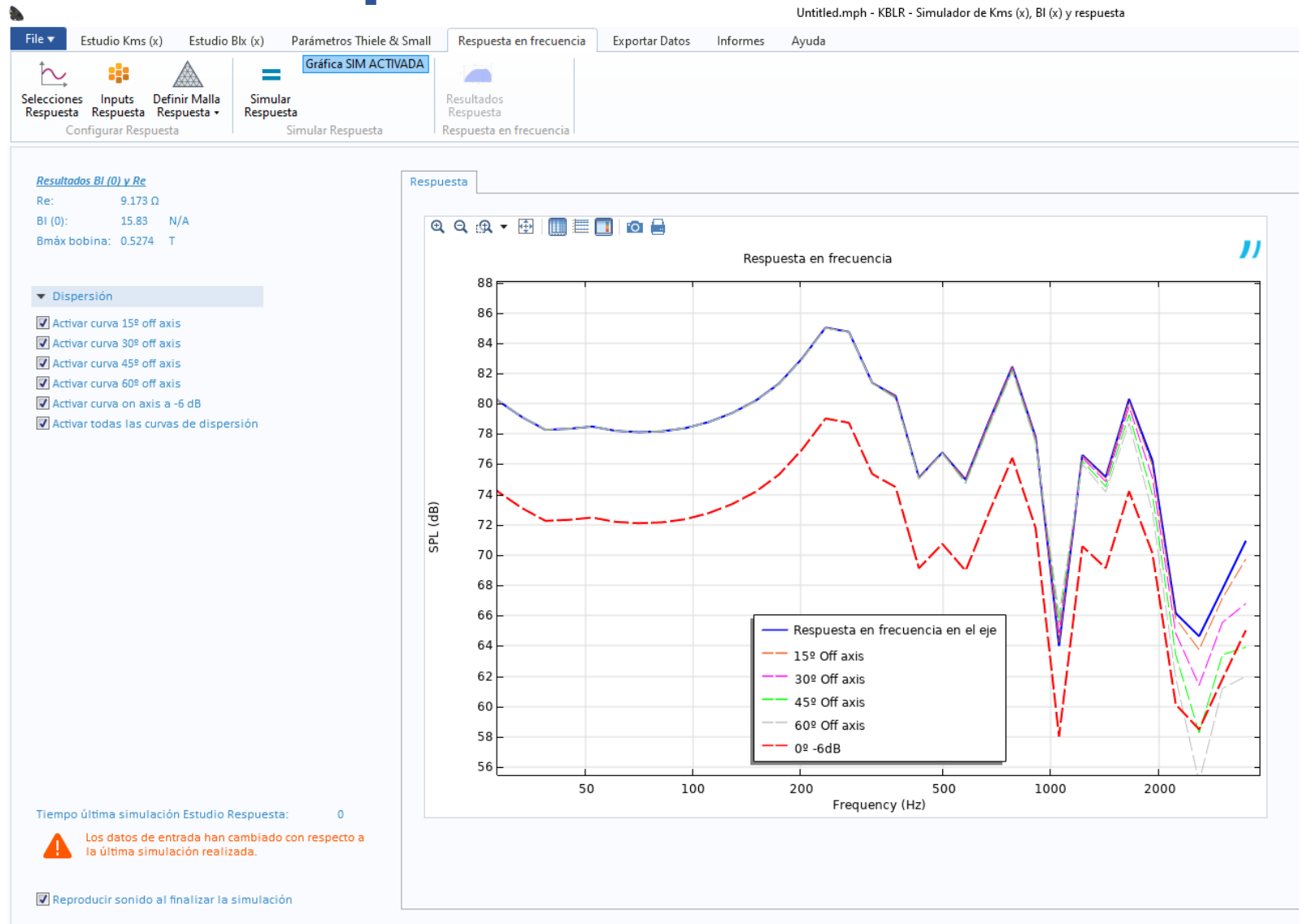
Módulo de Young: Pa
Coeficiente de Poisson:
Densidad: kg/m³

Tiempo última simulación Estudio Respuesta: 0

Los datos de entrada han cambiado con respecto a la última simulación realizada.

Reproducir sonido al finalizar la simulación

Módulo de respuesta en frecuencia - resultados



Exportación de datos y ayuda

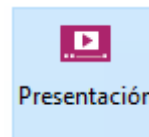
File ▾ Estudio Kms (x) Estudio Blx (x) Parámetros Thiele & Small Respuesta en frecuencia Exportar Datos

Exportar Kmsx dxf Exportar Blx dxf Exportar Respuesta dxf Exportar variables Guardar Como

File ▾ Estudio Kms (x) Estudio Blx (x) Parámetros Thiele & Small Respuesta en frecuencia Exportar Datos Informes

Informe Kms (x) Informe BI (x) Informe T&S Informe Respuesta

Exportar Informes



Conclusiones

- El uso de técnicas de simulación avanzadas a través de un software como Comsol, permite predecir y mejorar el comportamiento no lineal de un transductor electrodinámico de forma fidedigna y supone una herramienta muy útil a día de hoy para evitar esfuerzos innecesarios en direcciones erróneas durante la fase de desarrollo de este tipo de sistemas.
- Con el uso de esta herramienta, reducimos de forma significativa el tiempo de desarrollo de un altavoz, pudiendo además, evaluar las principales prestaciones de forma conjunta o diseccionada, en una misma aplicación.
- Un altavoz siempre va a seguir teniendo una componente no lineal que se traducirá en distorsión en la realidad, pero a través de herramientas como la expuesta en este proyecto, podremos minimizar el impacto de estas componentes no lineales y dimensionar correctamente cada uno de los componentes del transductor consiguiendo minimizar el efecto no lineal tanto como se quiera y adaptando el altavoz a la aplicación final y el rango de uso al que vaya a destinarse.



Gracias por asistir!

MU COM



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

| uma.es



Addlink
Software Científico

 **COMSOL**