

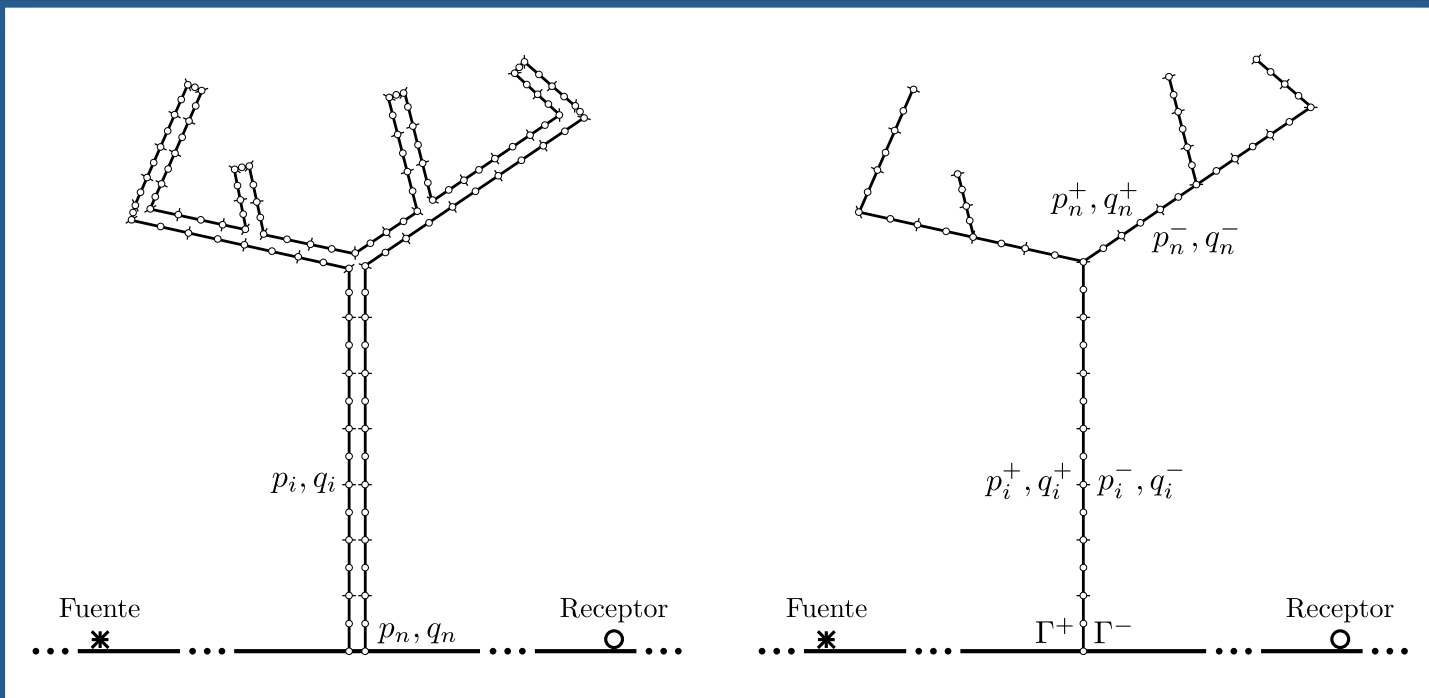
## Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería CMN 2013

ST16: Computational methods in acoustics and vibrations

Bilbao, 25 de junio de 2013

### Optimización de diseños de pantallas acústicas de pequeño espesor mediante la implementación de la Formulación Dual del MEC

R. Toledo, J. J. Aznárez, O. Maeso, D. Greiner



**RUIDO EN EL ENTORNO DE CARRETERAS**

**CONTAMINACIÓN ACÚSTICA**

**ESTRATEGIAS DE MINORACIÓN**

**Minimizar el ruido  
en origen**

Imposible en ocasiones

**Minimizar el impacto  
acústico**

Implantación de barreras  
acústicas entre la fuente  
y el receptor

**MÉTODO DE LOS ELEMENTOS DE  
CONTORNO (MEC)**

**EVALUACIÓN DE LA EFICACIA  
ACÚSTICA DE LA BARRERA**

Introducción

Estado del Arte

Protocolo de  
Optimización

Método de los  
Elementos de  
Contorno

Presentación del  
Problema

Resultados

Conclusiones

Desarrollos

## Introducción

Estado del Arte

Protocolo de  
Optimización

Método de los  
Elementos de  
Contorno

Presentación del  
Problema

Resultados

Conclusiones

Desarrollos

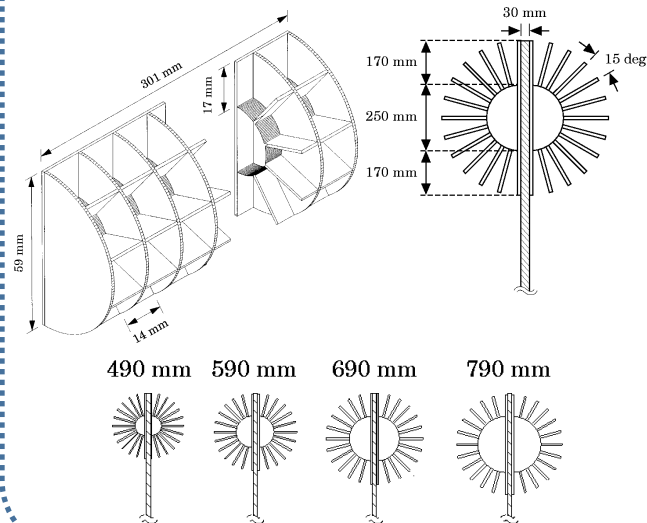
### EJEMPLOS DE PANTALLAS ACÚSTICAS



## OPTIMIZACIÓN CON AG Y MEC

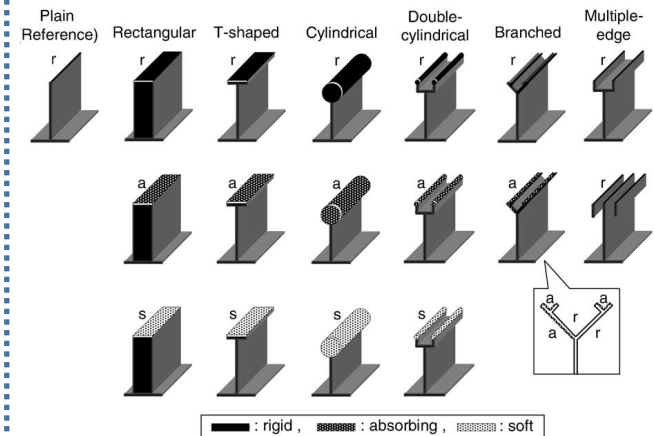
### OKUBO Y FUJIWARA (1998)

- Efficiency of a noise barrier on the ground with an acoustically soft cylindrical edge. *Journal of Sound and Vibrations* **216**(5), 771-790.



### ISHIZUKA Y FUJIWARA (2004)

- Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions. *Applied Acoustics* **65**, 125-141.

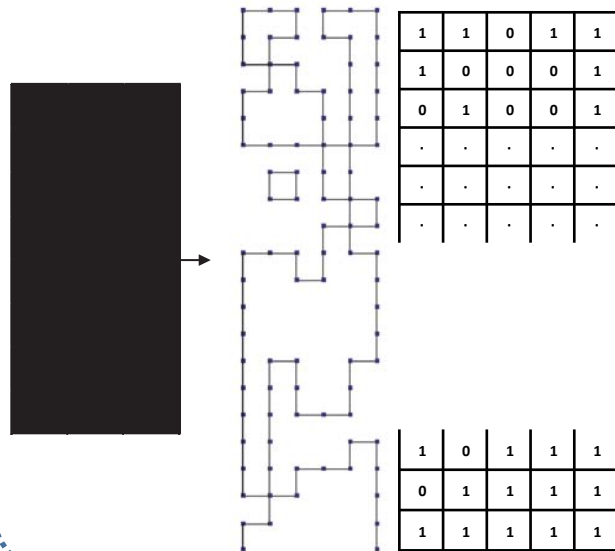




## OPTIMIZACIÓN CON AG Y MEC

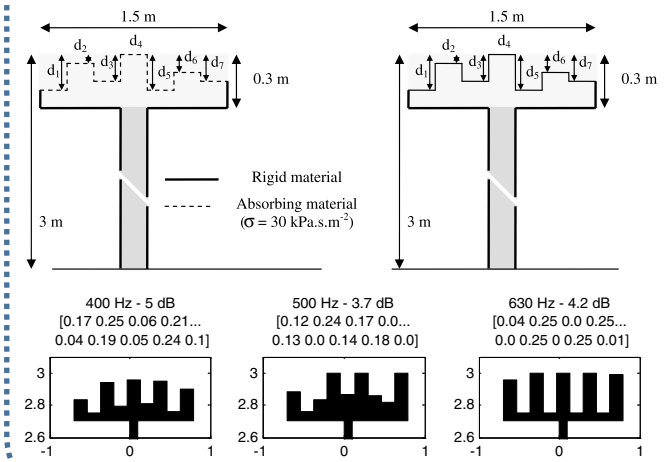
### DUHAMEL (2006)

- Shape optimization of noise barriers using genetic algorithms. *Journal of Sound and Vibrations* **297**, 432-443.



### BAULAC ET AL. (2008)

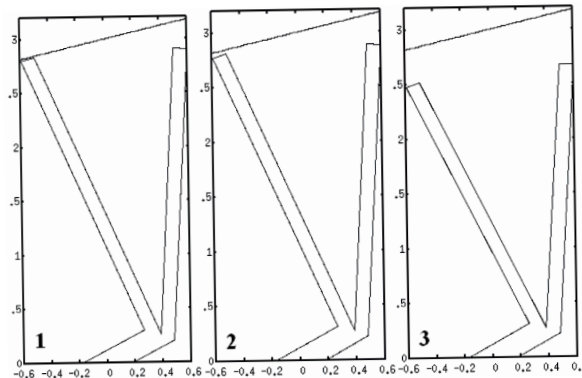
- Optimisation with genetic algorithm of the acoustic performance of T-shaped noise barriers with a reactive top surface. *Applied Acoustics* **69**, 332-342.



## OPTIMIZACIÓN CON AG Y MEC

### GREINER ET AL. (2010)

- Single- and multi-objective shape design of Y-noise barriers using evolutionary computation and boundary elements. *Advances in Engineering Software* **41**, 368-378.



### CONSIDERACIONES

- Se realiza un estudio mono y multiobjetivo para optimizar pantallas en Y.
- Problema mono-objetivo: adaptar la curva de IL a una de referencia.
- Probelama multi-objetivo: adaptar la curva de IL a una de referencia tratando de minimizar la longitud del contorno total de la barrera que se optimiza.

## EFICACIA DE LA PANTALLA ACÚSTICA

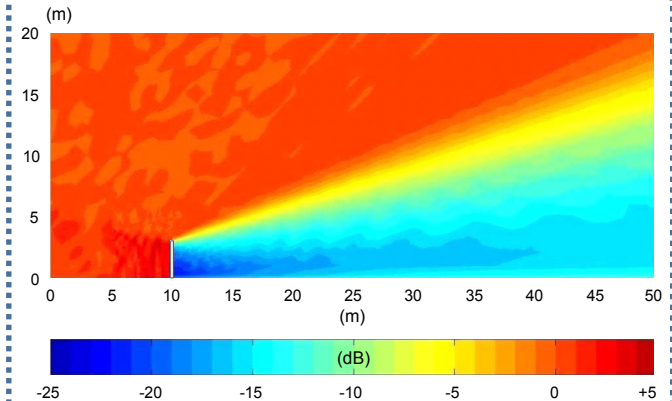
### COEFICIENTE DE PÉRDIDA POR INSERCIÓN (IL)

- Diferencia de presión sonora antes y después de introducir la pantalla.
- Se mide en decibelios (dB).
- Ampliamente utilizado en la evaluación de medidas de control de ruido.
- Expresión:

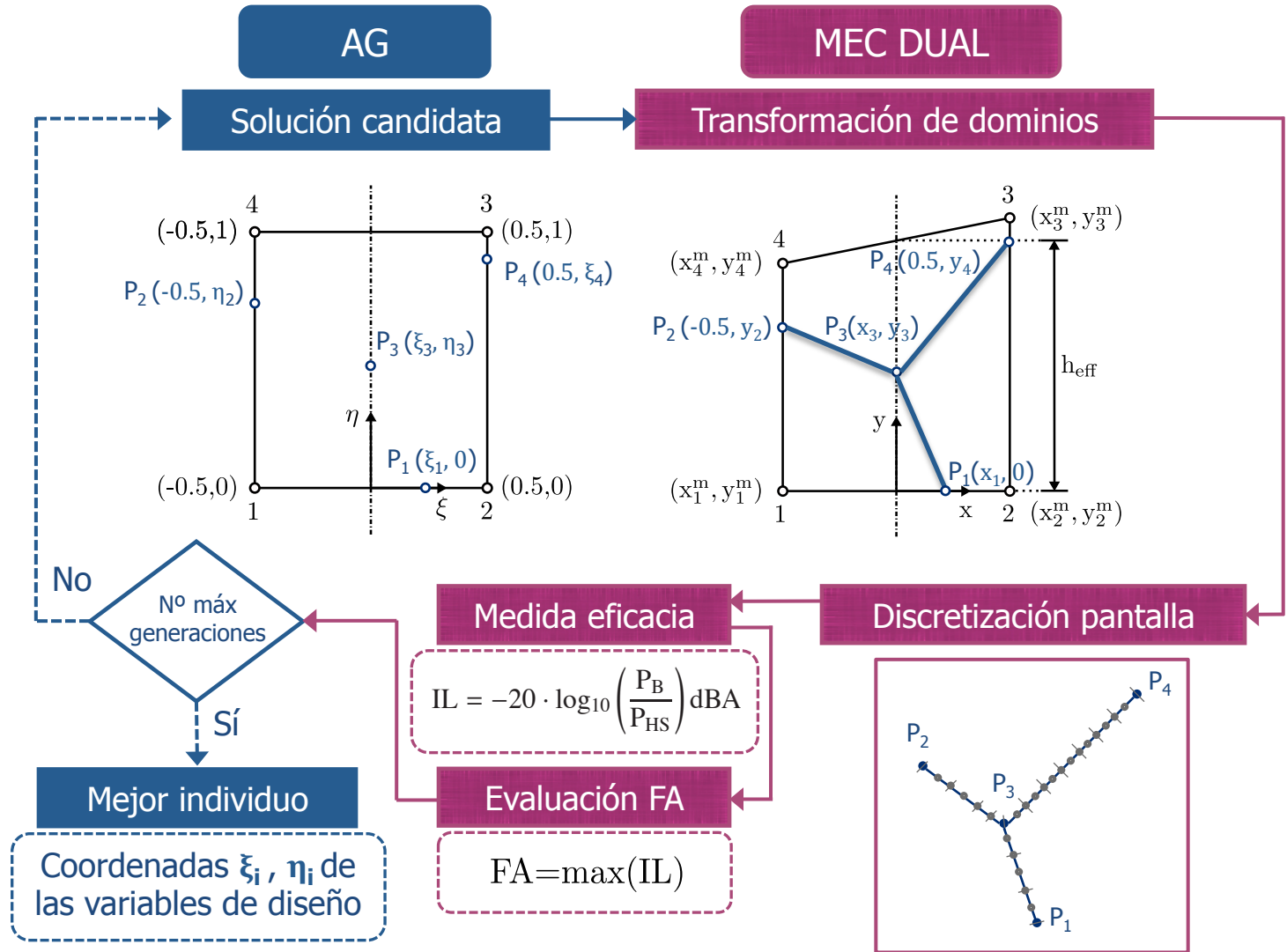
$$IL = -20 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_B}{P_{HS}} \right) \text{ (dB)}$$

### EVALUACIÓN DE LA EFICACIA

- Se obtienen los valores de IL para distintos puntos del dominio:



Introducción  
Estado del Arte  
Protocolo de Optimización  
Método de los Elementos de Contorno  
Presentación del Problema  
Resultados  
Conclusiones  
Desarrollos





Introducción

Estado del Arte

Protocolo de Optimización

Método de los Elementos de Contorno

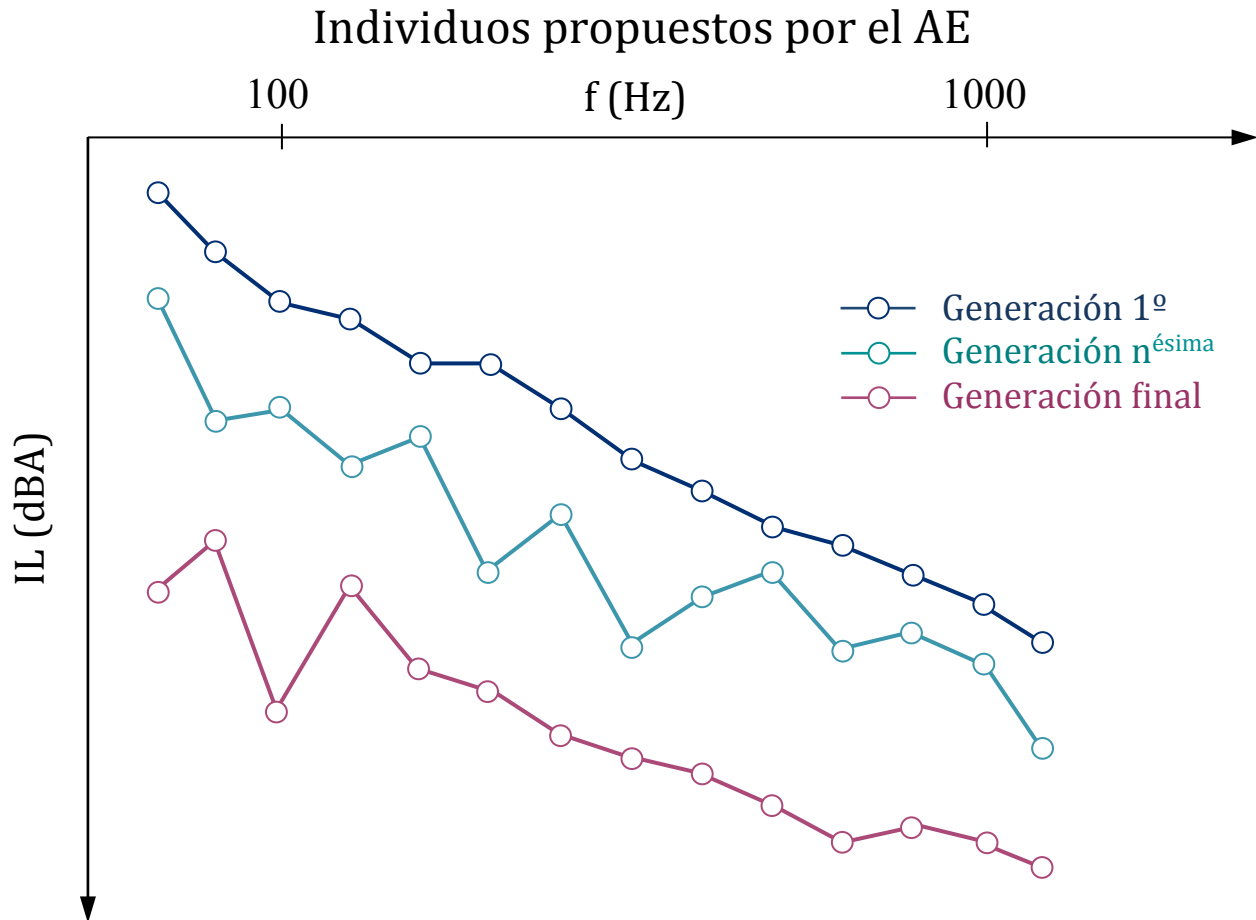
Presentación del Problema

Resultados

Conclusiones

Desarrollos

## EVOLUCIÓN DEL IL EN LA OPTIMIZACIÓN



## PROBLEMÁTICA GEOMETRÍAS REALES

### ACÚSTICA EXTERIOR VS ACÚSTICA INTERIOR

- Nuestros problemas son de acústica exterior (el aire es el dominio).

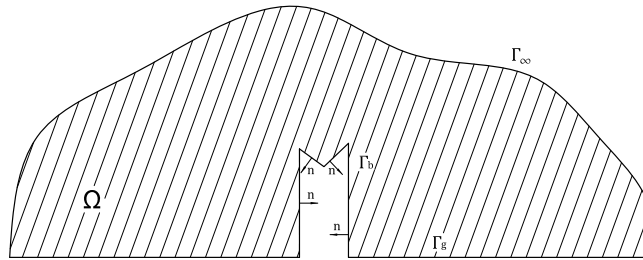


Figura 1.1: Problema de acústica exterior.

- Si el dominio es la pantalla, el problema es de acústica interior.

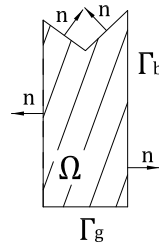


Figura 1.2: Problema de acústica interior.

### FORMULACIÓN SINGULAR DEL MEC

- En acústica exterior pueden aparecer fenómenos de amplificación de las ondas sonoras a determinadas frecuencias (*resonancia acústica*).
- Estos fenómenos son inherentes al carácter matemático de la definición del problema exterior.
- Las frecuencias a las que aparecen estos fenómenos indeseables se denominan *frecuencias espurias*, y corresponden a las frecuencias de resonancia del problema interior.
- Estos valores de resonancia son los *autovalores* de las matrices **H** y **G**.

Introducción

Estado del Arte

Protocolo de Optimización

Método de los Elementos de Contorno

Presentación del Problema

Resultados

Conclusiones

Desarrollos

## FORMULACIÓN DUAL. PANTALLAS SIN ESPESOR

### FORMULACIÓN SINGULAR

$$\frac{1}{2} \cdot \Sigma \mathbf{p}_i + \sum_{j=1}^{NE} \mathbf{H}_j^+ \cdot \Delta \mathbf{p}_j = \sum_{j=1}^{NE} \mathbf{G}_j^+ \cdot \Sigma \mathbf{q}_j + \mathbf{p}_0^*$$



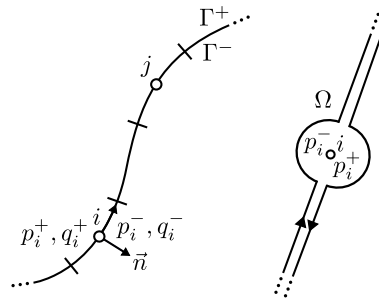
### FORMULACIÓN HIPERSINGULAR

$$\frac{1}{2} \cdot \Delta \mathbf{q}_i + \sum_{j=1}^{NE} \mathbf{M}_j^+ \cdot \Delta \mathbf{p}_j = \sum_{j=1}^{NE} \mathbf{L}_j^+ \cdot \Sigma \mathbf{q}_j + \frac{\partial \mathbf{p}_0^*}{\partial \mathbf{n}_i}$$

### SISTEMA DE ECUACIONES RESULTANTE

$$\begin{bmatrix} \frac{\mathbf{I}}{2} - \mathbf{G}^+ \mathbf{A}^+ & \mathbf{H}^+ - \mathbf{G}^+ \mathbf{A}^- \\ \frac{\mathbf{A}^-}{2} \mathbf{I} - \mathbf{L}^+ \mathbf{A}^+ & \frac{\mathbf{A}^+}{2} \mathbf{I} + \mathbf{M}^+ - \mathbf{L}^+ \mathbf{A}^- \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma \mathbf{p} \\ \Delta \mathbf{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_0^* \\ \frac{\partial \mathbf{p}_0^*}{\partial \mathbf{n}_i^+} \end{bmatrix}$$

### PRESIÓN Y FLUJO A AMBOS LADOS



## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

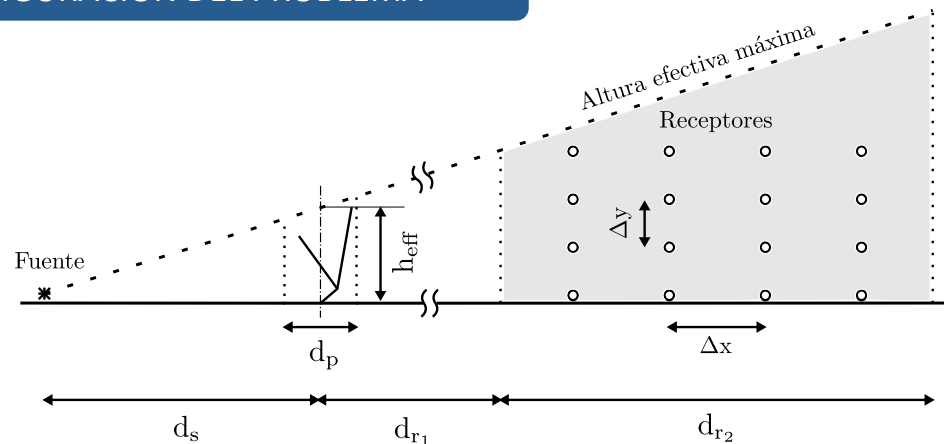
- Superficie de la barrera y el suelo reflejantes ( $\beta_s = \beta_p = 0$ ).
- Región factible marcada por una altura efectiva de  $h_{\text{eff}} = 3$  m y una proyección horizontal  $d_p = 1$  m.
- Fuente a ras de suelo a  $d_s = 10$  m.
- 16 receptores en la zona de sombra de la pantalla, separados  $\Delta x$  e  $\Delta y$ .

## POSICIONAMIENTO RECEPTORES

- Se estudian tres regiones en términos de cercanía a la barrera:

Región	$d_s$	$d_p$	$d_{r1}$	$d_{r2}$	$\Delta x$	$\Delta y$
1			0.5	10	2	1
2	10	1	10.5	40	8	2
3			50.5	50	10	5

## CONFIGURACIÓN DEL PROBLEMA



Introducción

Estado del Arte

Protocolo de  
Optimización

Método de los  
Elementos de

Contorno

Presentación del  
Problema

Resultados

Conclusiones

Desarrollos

## ESPECTRO UTILIZADO

- Espectro normalizado de ruido de automóviles, ponderado A, empleado por el CTE (ISO 717.2).
- Estudio realizado para frecuencias centrales de tercio de octava en el rango 100-2000 Hz.

$$\bar{IL} = -10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\sum_{i=1}^{NF} 10^{(A_i - IL_i)/10}}{\sum_{i=1}^{NF} 10^{A_i/10}} \right) \text{ (dBA)}$$

## FUNCIÓN DE AJUSTE

- La optimización de forma se lleva a cabo basándose en la media de los valores de IL para todos los receptores estudiados:

$$FA = \sum_{i=1}^{NR} \bar{IL}_i / NR$$

- Se busca maximizar el valor de FA, de manera que cuanto mayor sea su valor mayor será la eficacia acústica de la barrera propuesta.

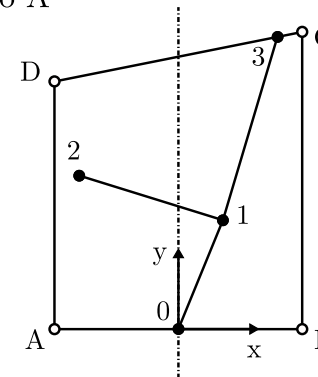
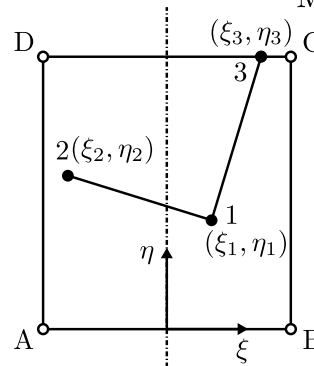


## DISEÑOS OBJETO DE ESTUDIO

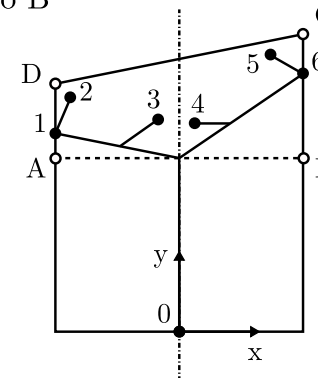
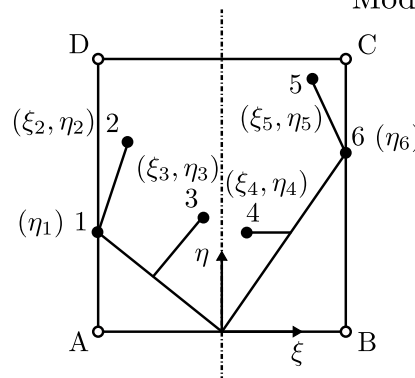
Variables de diseño en el dominio transformado

Perfil real de la barrera en el dominio cartesiano 2D

Modelo A

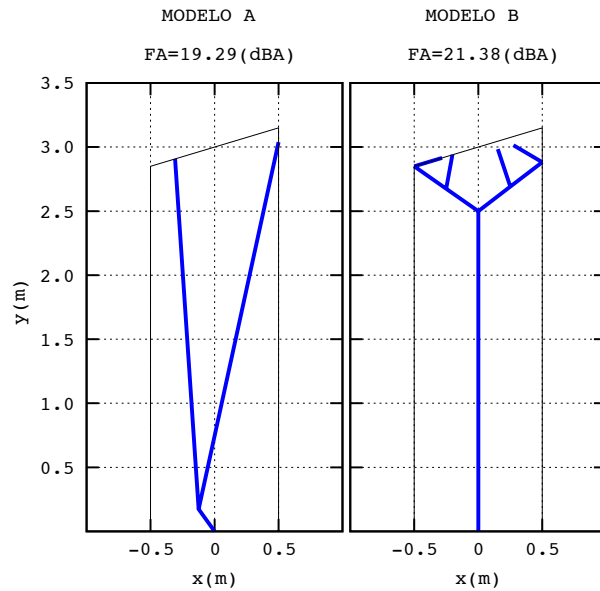


Modelo B

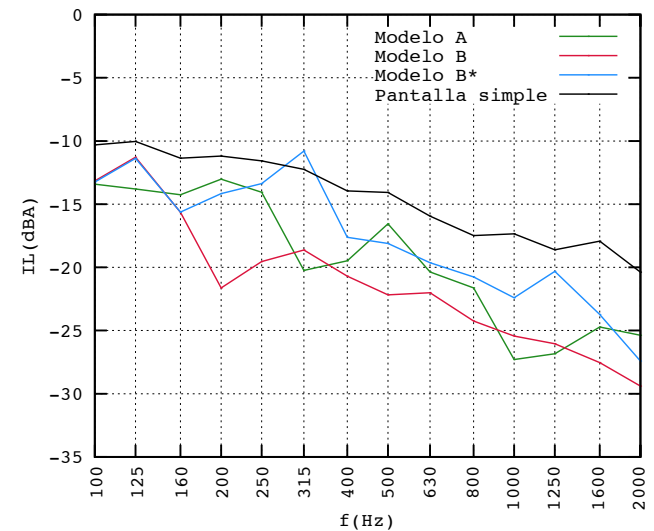


## REGIÓN 1 (REGIÓN CERCANA)

### DISEÑOS OPTIMIZADOS

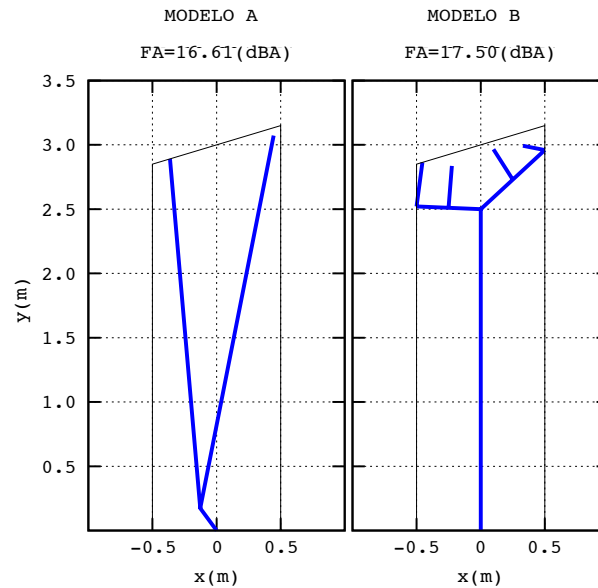


### EVOLUCIÓN DEL IL FRECUENCIAL

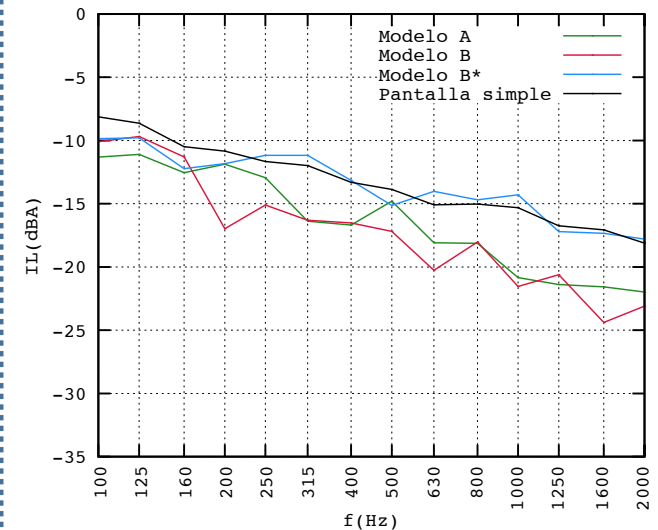


## REGIÓN 2 (REGIÓN INTERMEDIA)

### DISEÑOS OPTIMIZADOS

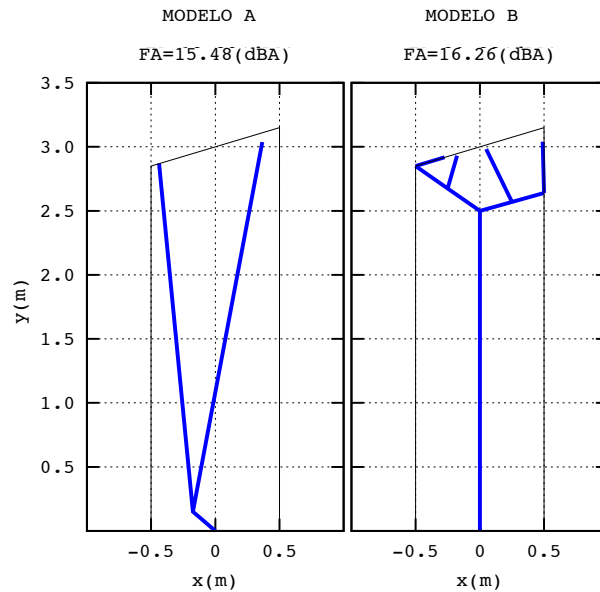


### EVOLUCIÓN DEL IL FRECUENCIAL

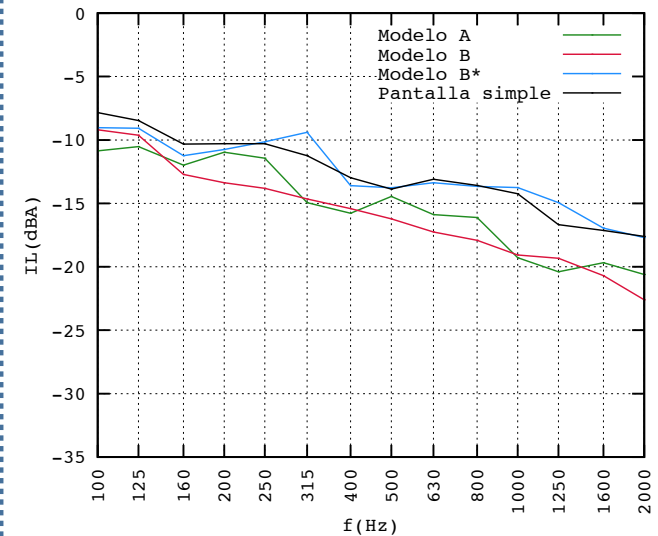


## REGIÓN 3 (REGIÓN LEJANA)

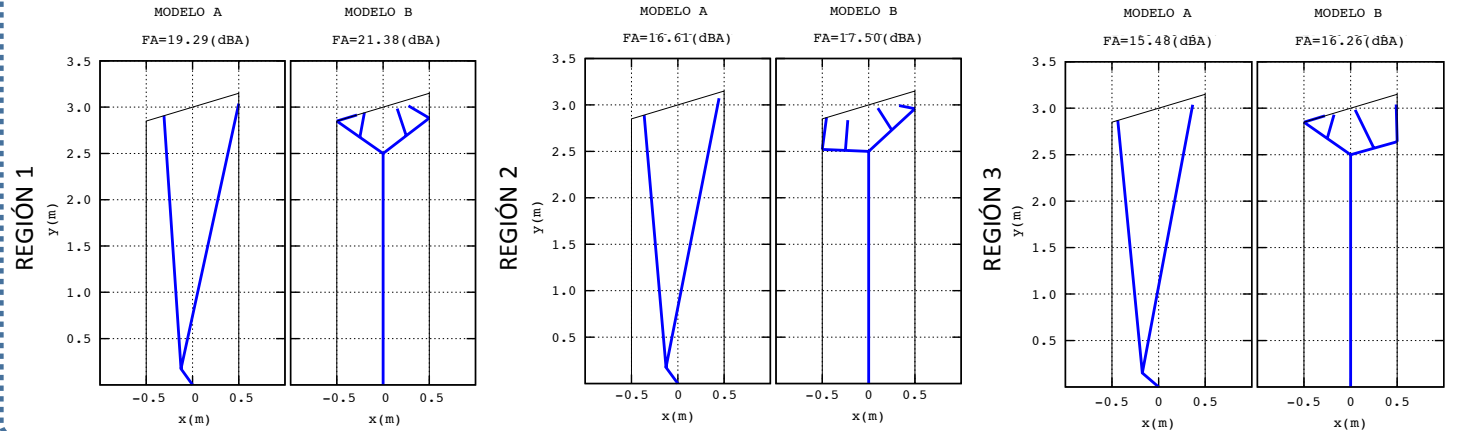
### DISEÑOS OPTIMIZADOS



### EVOLUCIÓN DEL IL FRECUENCIAL



## DISEÑOS OPTIMIZADOS POR REGIONES



## VALORES RESPECTO DE PANTALLA SIMPLE

**Tabla 3:** Eficacia acústica de los modelos analizados, expresada en dBA.

Región	Modelo	$L_c$ (m)	$\Delta L_c$ (m)	$FA_{mejor}$	$\Delta FA_{mejor}$
1	B	4.8052	+1.8052	21.3830	+6.8418
	A	5.8848	+2.8848	19.2943	+4.7531
	B*	3.7398	+0.7398	17.4048	+2.8636
2	B	4.8050	+1.4805	17.4996	+4.0581
	A	5.8969	+2.8969	16.6120	+3.1705
	B*	3.6790	+0.6790	13.4767	+0.0352
3	B	4.9896	+1.9896	16.2552	+3.4976
	A	5.8984	+2.8984	15.4795	+2.7219
	B*	3.6296	+0.6296	12.7967	+0.0391



## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### EFFECTIVIDAD DE LAS BARRERAS

- Más efectivo actuar en la zona de coronación de la barrera.
- El modelo B es el más efectivo en todas las regiones analizadas.

### COMPORTAMIENTO ACÚSTICO

- Convergente conforme la región objeto de estudio se aleja de la barrera.
- Necesidad de estudiar perfiles alternativos a la pantalla simple, incluso en regiones distantes.

### ESTUDIO ACÚSTICO DEL MODELO B

- Los contornos interiores mejoran significativamente la eficacia acústica.
- En regiones distantes, el modelo B\* y la pantalla simple poseen eficacias similares.

Introducción

Estado del Arte

Protocolo de  
Optimización

Método de los  
Elementos de  
Contorno

Presentación del  
Problema

Resultados

Conclusiones

Desarrollos

- Se ha presentado un protocolo para la optimización de perfiles que posibilita la idealización de pantallas acústicas reales como geometrías de espesor nulo.
- Se han presentado dos modelos de perfiles de pantallas acústicas para validar el método.
- El rango de aplicabilidad del protocolo es amplio y permite estudiar diversas soluciones topológicas, incluidos aquellos diseños basados en geometrías curvas (curvas Bézier o curvas spline).
- El estudio de pantallas acústicas mediante la idealización de su perfil como espesor nulo facilita enormemente la comprobación de la validez topológica de los perfiles propuestos por el AG, permitiendo obtener diseños de pantallas que serían difíciles de estudiar de no ser por esta consideración.

Introducción

Estado del Arte

Protocolo de  
Optimización

Método de los

Elementos de  
Contorno

Presentación del  
Problema

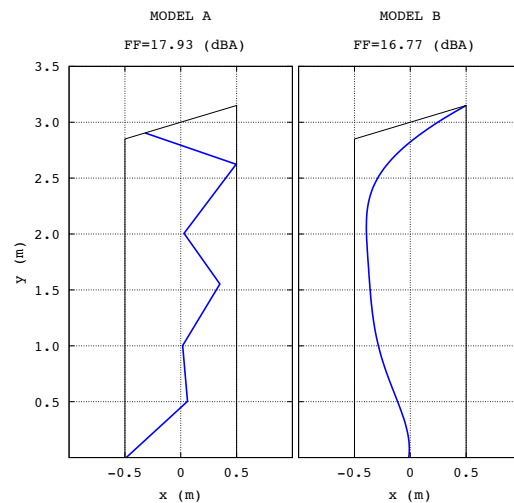
Resultados

Conclusiones

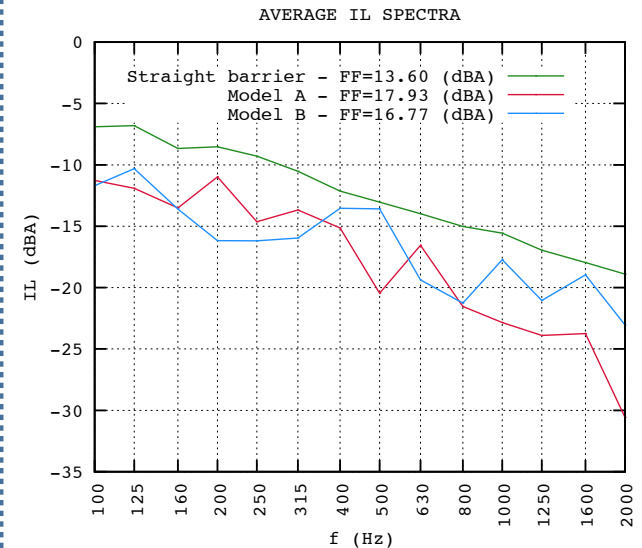
Desarrollos

## TRABAJO A PUBLICAR

- A comparative study on design optimization of polygonal and Bézier curve-shaped thin noise barriers using dual BEM formulation. *EUROGEN 2013* (pendiente de publicación).



## EVOLUCIÓN IL ESPECTRAL



Introducción

Estado del Arte

Protocolo de  
Optimización

Método de los  
Elementos de  
Contorno

Presentación del  
Problema

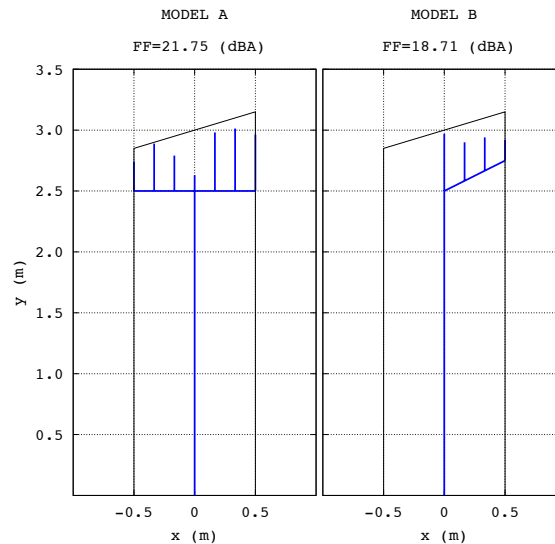
Resultados

Conclusiones

Desarrollos

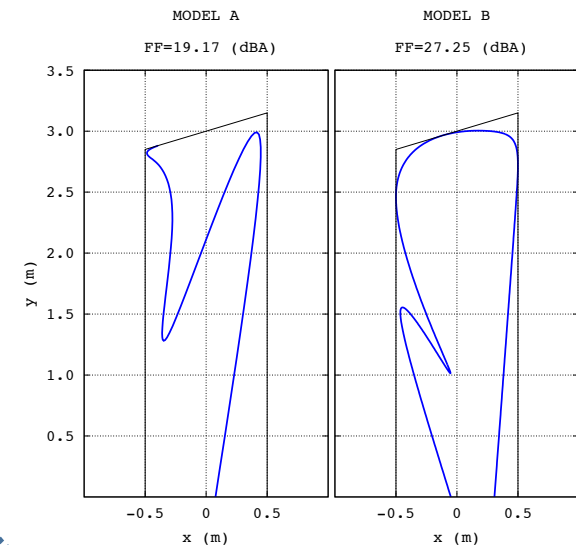
## GEOMETRÍAS RECTAS

- Configuraciones enfocadas en la actuación sobre la zona de coronación de la barrera.



## GEOMETRÍAS CURVAS

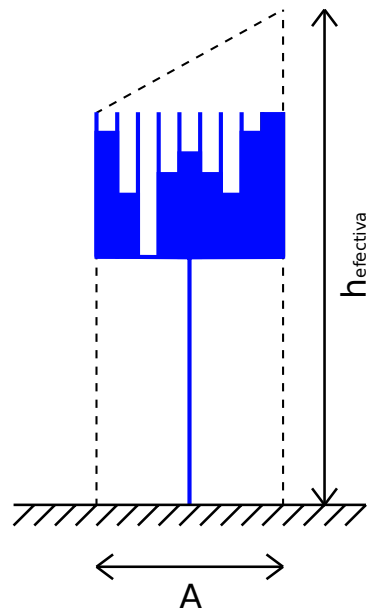
- Diseños basados en curvas spline, tanto para contornos convencionales como para contornos idealizados con espesor nulo.



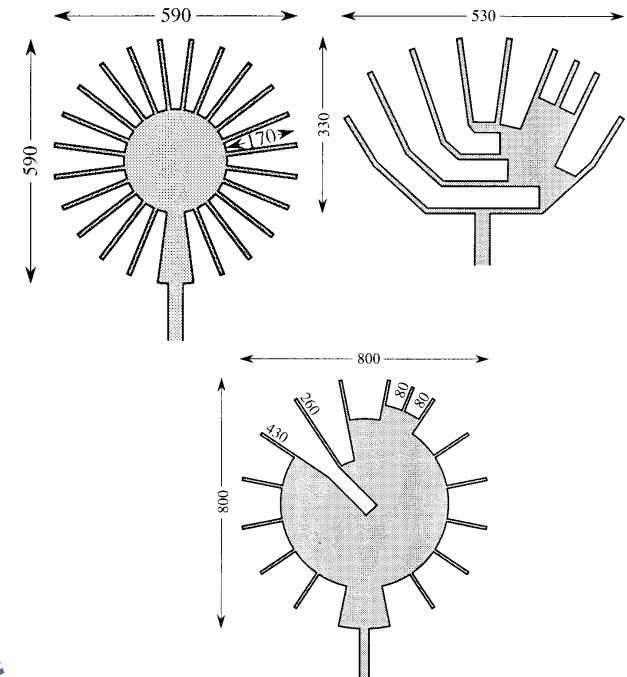
## PANTALLAS HÍBRIDAS

### QUADRATIC RESIDUE DIFFUSER (QRD)

- Optimización de configuraciones para un nº de pozos determinado.



### OTRAS TIPOLOGÍAS





## Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería CMN 2013

ST16: Computational methods in acoustics and vibrations

Bilbao, 25 de junio de 2013

### Optimización de diseños de pantallas acústicas de pequeño espesor mediante la implementación de la Formulación Dual del MEC

R. Toledo, J. J. Aznárez, O. Maeso, D. Greiner

