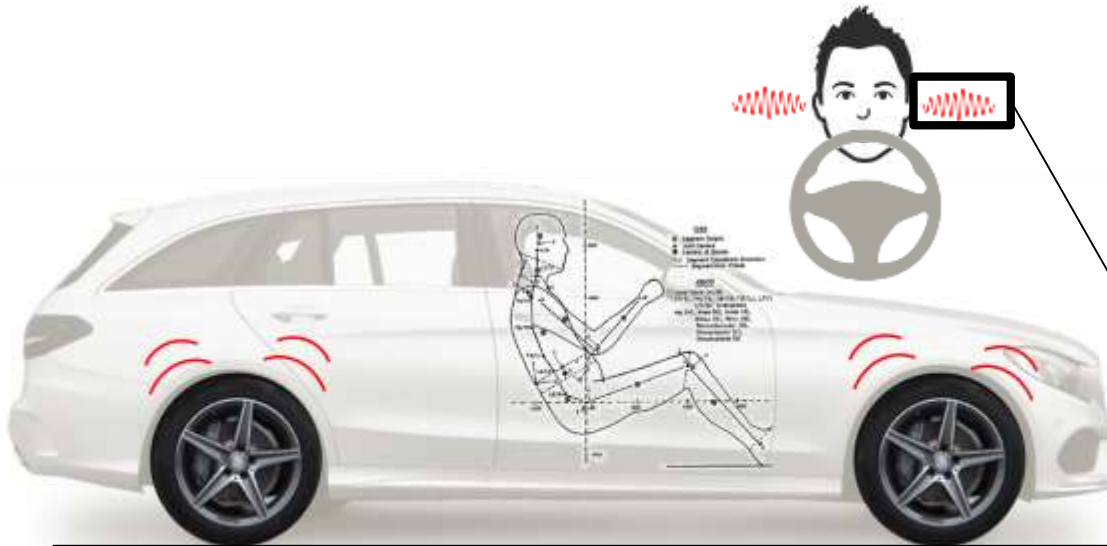


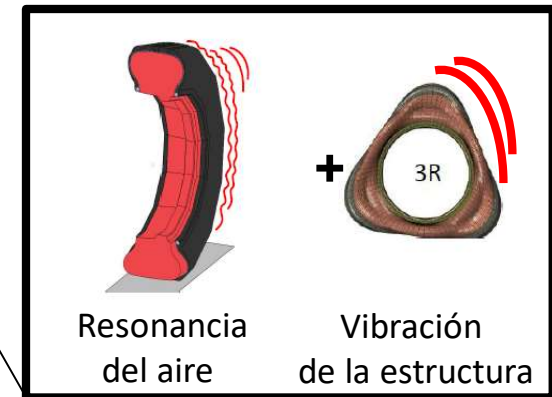


## NIVELES DE RUIDO INTERNO Y EXTERNO CONFORT DE UN NEUMÁTICO

Éstas son recibidas en forma de sonido  
[20,20k]Hz y vibraciones [0.5,100]Hz



La interacción con el pavimento produce  
vibraciones del neumático

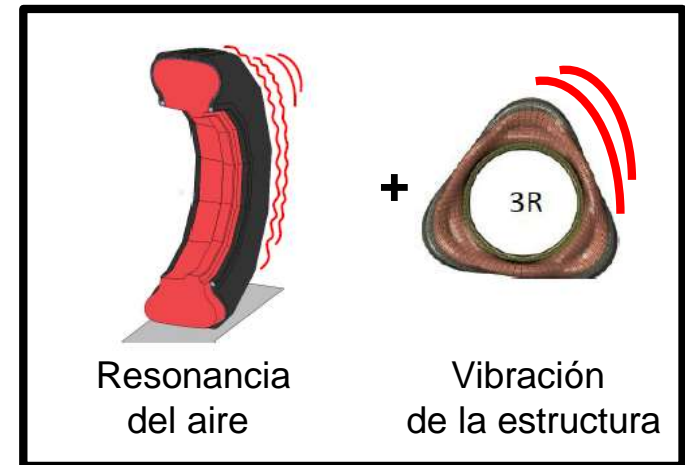
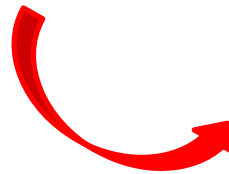




- Un neumático se caracteriza por:
- Presión inflado (recomendada por el automóvil).
  - Temperatura del aire y de la superficie.
  - La carga aplicada sobre ella (la distribución de masa del auto).

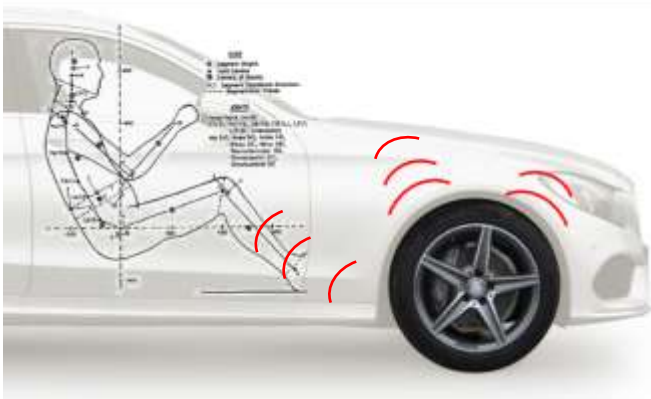
## PRIMERA ETAPA

Estudiar cómo éstas magnitudes afectan a los modos de vibración



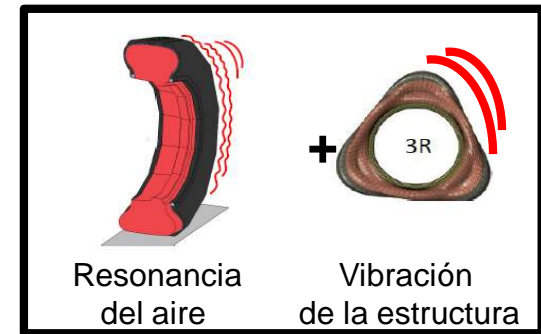
## SEGUNDA ETAPA

Cuantificamos cómo las resonancias, en particular del aire, son transmitidas al automóvil.

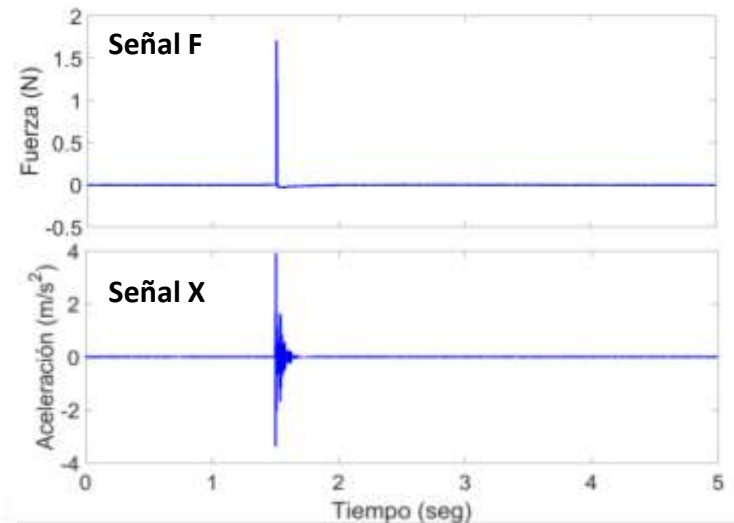
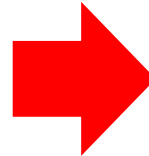


## En condiciones de uso

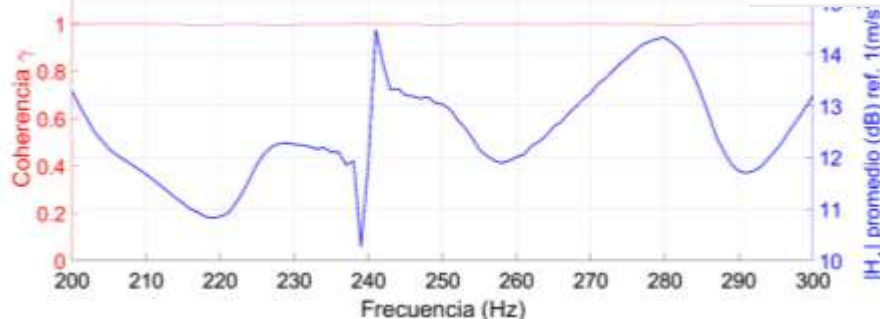
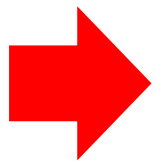
El neumático al interactuar con el pavimento tiene una respuesta mecánica en el espectro de  $[0,10]$ kHz



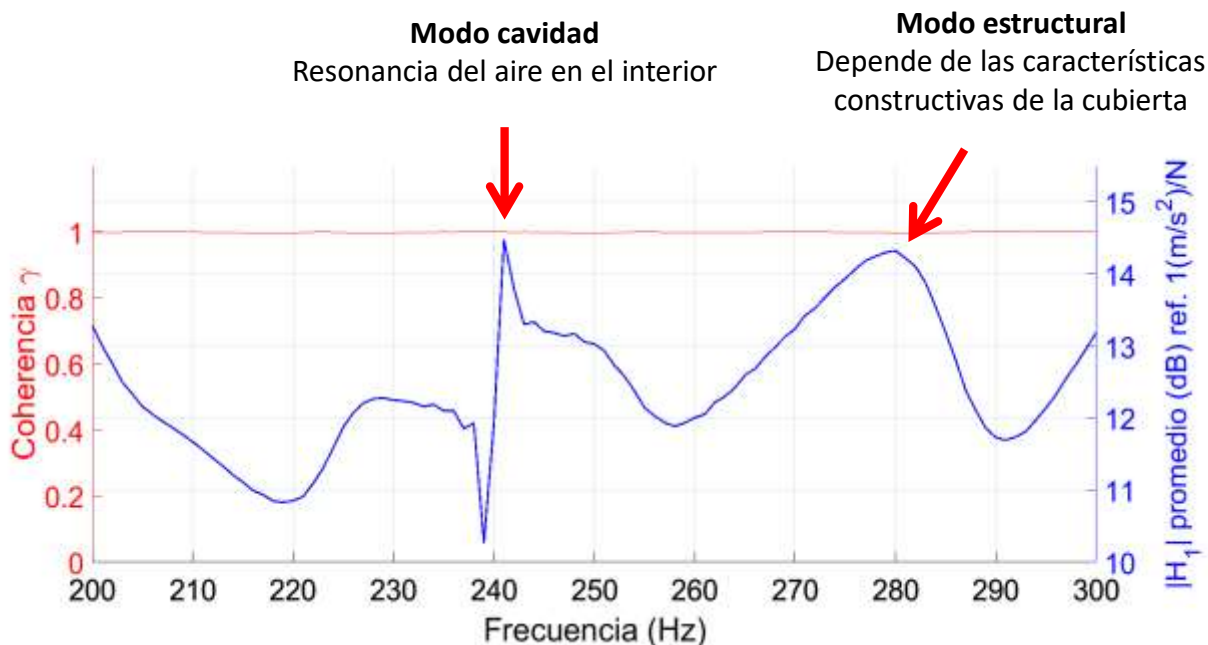
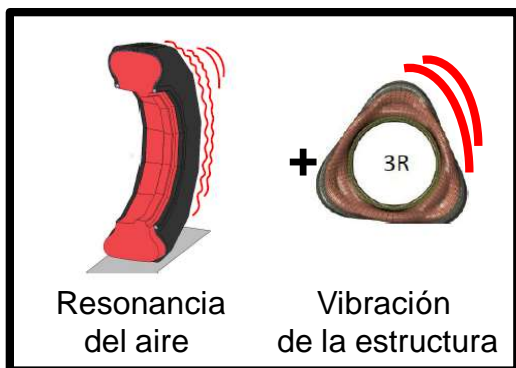
## En el laboratorio



Estudio del espectro  
Función Respuesta en Frecuencia



## La física involucrada



## El espectro cruzado

$$S_{XF}(w) = FFT_X^* \cdot FFT_F$$

## Espectro normalizado (FRF)

$$H_1 = \frac{S_{XF}(w)}{S_{FF}(w)}$$

## Coherencia

$$\gamma^2(w) = \frac{|S_{FX}(w)|^2}{S_{FF}(w)S_{XX}(w)}$$

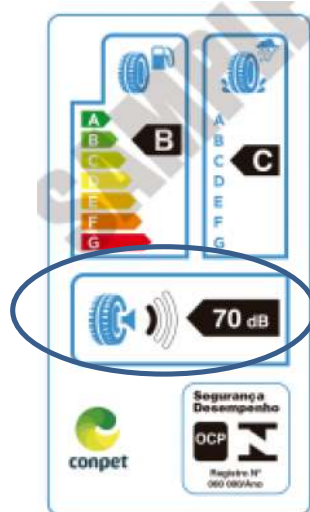
Medida de la linealidad de ambas señales.

Señal sin ruido:  $\gamma = 1$

Señal totalmente ruidosa  $\gamma = 0$

## NIVELES DE RUIDO EXTERNO NIVELES DE RUIDO INTERNO Y CONFORT

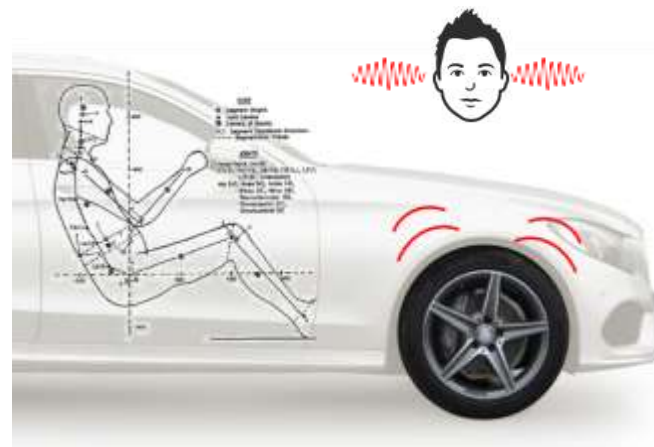
**AMBIENTAL**  
Regulación con etiquetado



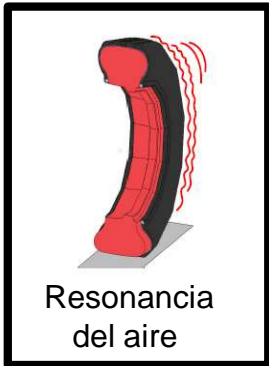
Ruido externo

En la región, actualmente  
la implementó Brasil.

**INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**  
Confort dentro del vehículo y  
ruido interno



Viene dado a partir de la interacción de  
los neumáticos con el suelo y cómo las  
vibraciones se transmiten a través del  
vehículo.

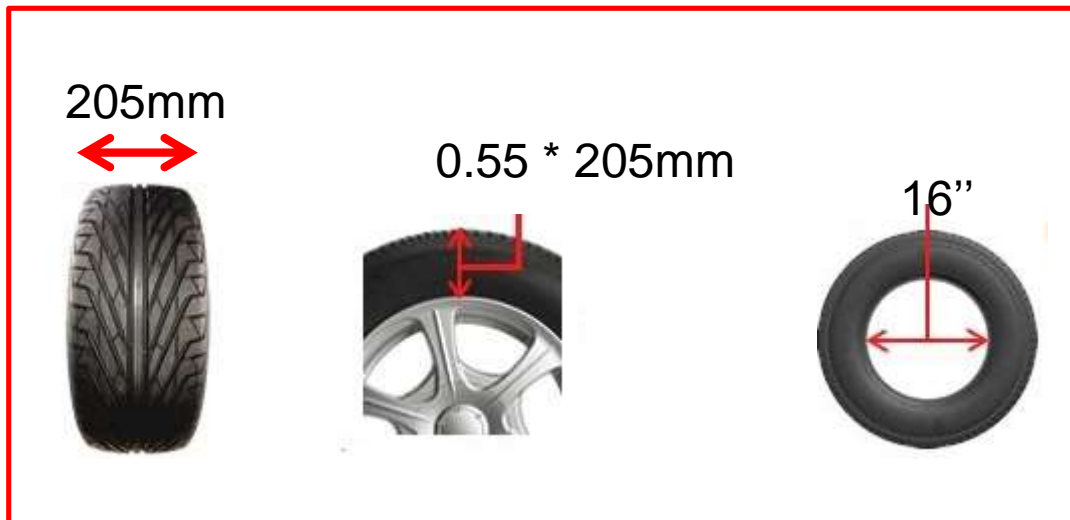


A primera aproximación:

$$f_{cav} = \frac{v_{son}(T)}{l_{eff}}$$

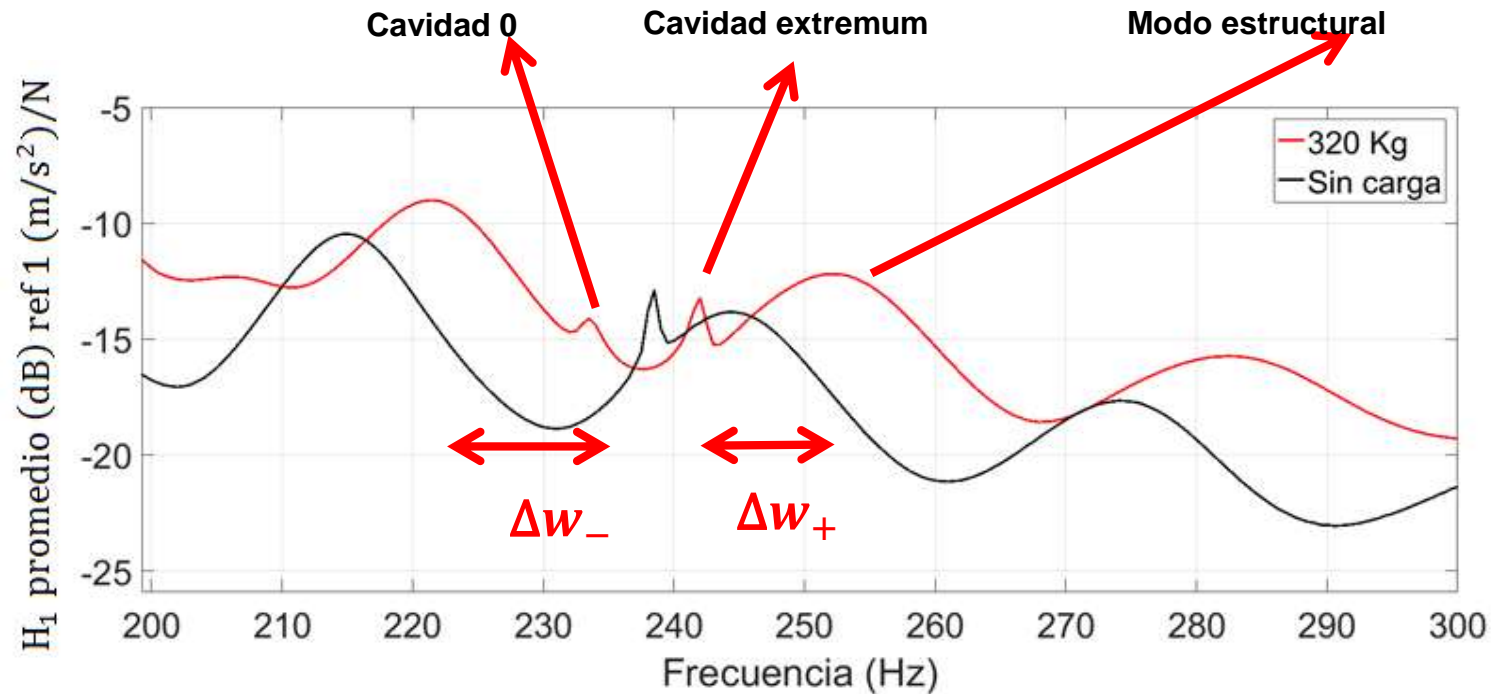
$l_{eff}$  es una longitud efectiva del neumático.

Y la  $l_{eff}$  depende de la geometría del neumático.  
Por ejemplo para una cubierta 205/55 R16



Para una dada geometría,  $f_{cav}$  queda estandarizada mientras que los modos estructurales van a cambiar según la construcción.

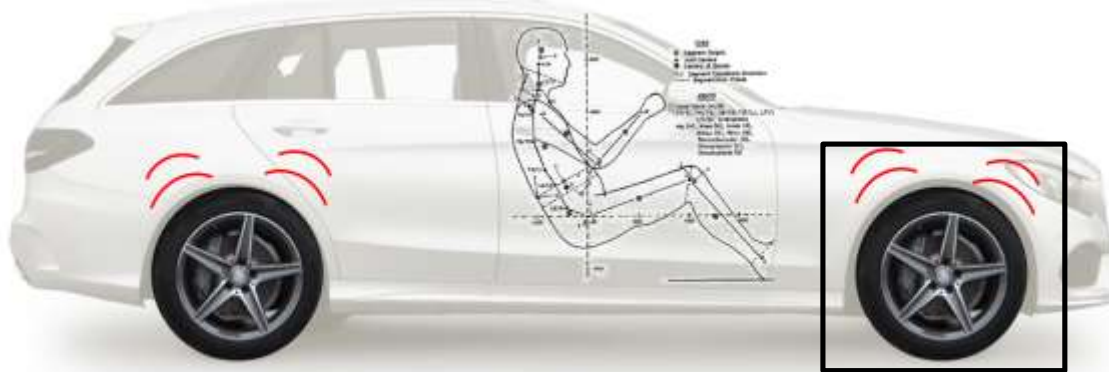
Interés de estudiar la física involucrada en la resonancia del aire en el neumático



$\Delta w_+$  y  $\Delta w_-$  son medidas del acoplamiento. Cuán más pequeño sea éste valor mayor será la resonancia y entonces, mayor la vibración transmitida hacia el automóvil.

¿cómo se puede mejorar?: Dado que los modos de cavidad se encuentran estandarizados dadas las dimensiones del neumático, se pueden realizar modificaciones estructurales de forma de alejar en frecuencia a los estructurales de éstos modos acústicos.

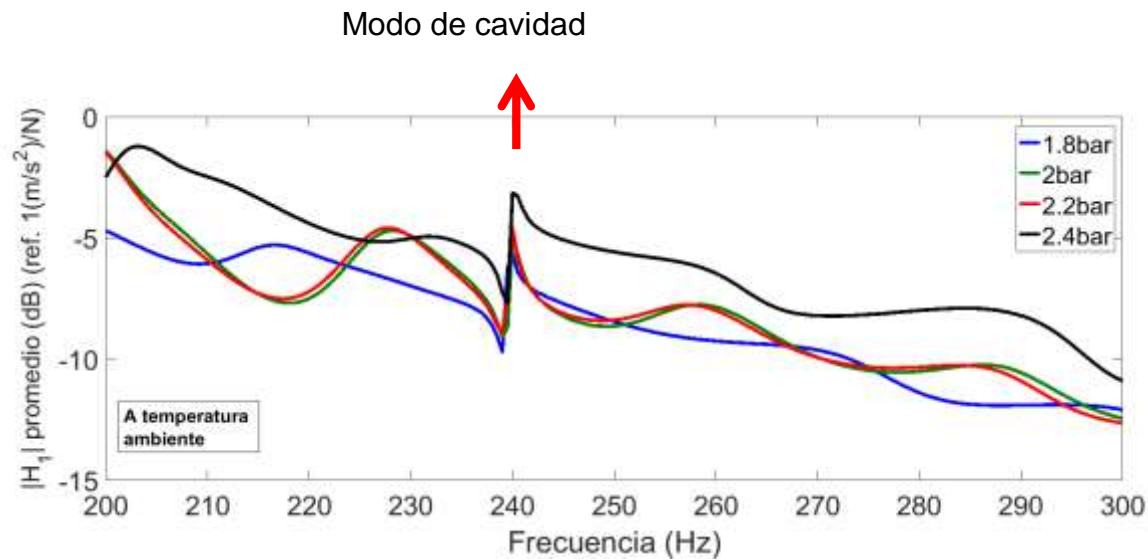




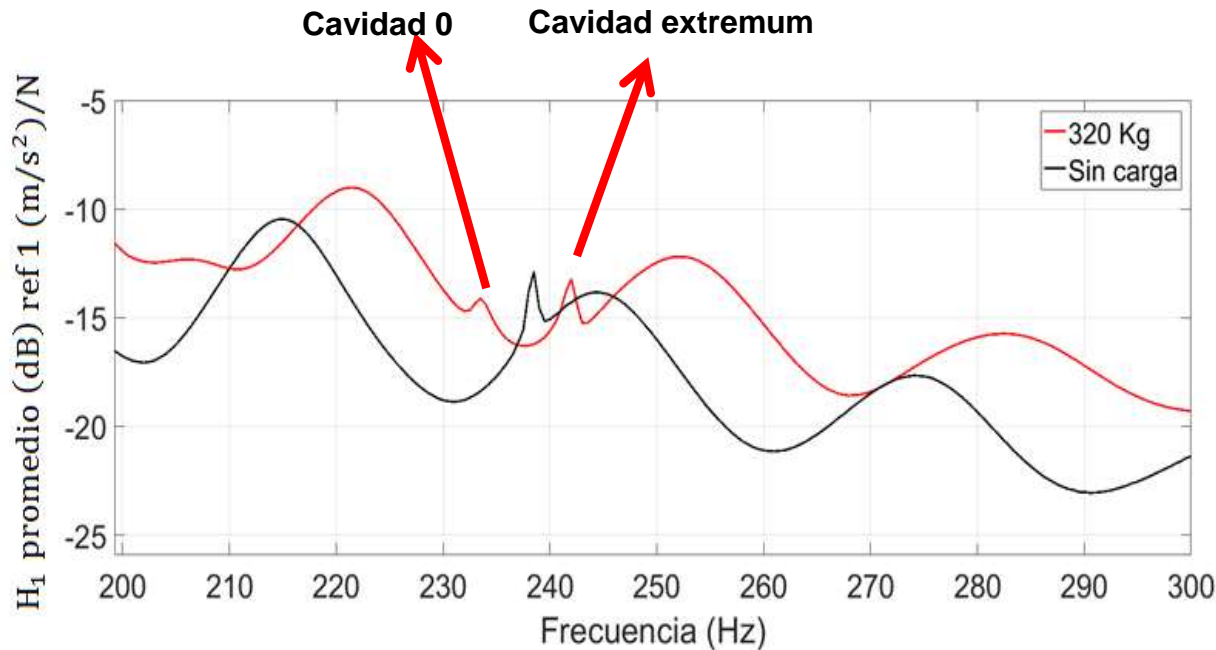
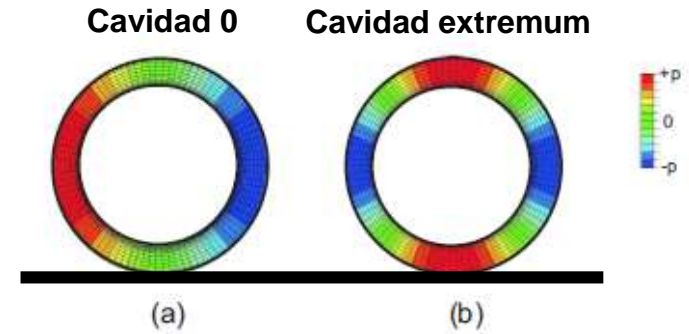
Caracterizado por:

Presión de inflado,  
temperatura  
y carga aplicada por la  
distribución  
de masa en el automóvil.

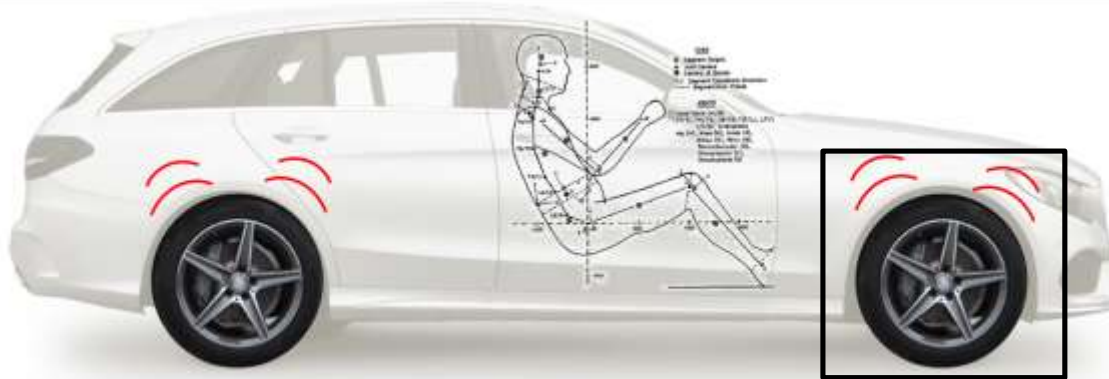
Distribución de carga de un automóvil  
sobre un neumático: [240,360]kg.  
Presión de inflado en frío: [2, 2.5]bar  
Temperatura: [15, 50]°C



Se produce un desdoblamiento producto de la ruptura de simetría.



Cada uno de ellos se corresponde con una distribución particular de presión.

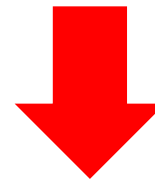


Caracterizado por:

Presión de inflado,  
temperatura  
y carga aplicada por la  
distribución  
de masa en el automóvil.

Distribución de carga de un automóvil  
sobre un neumático: [240,360]kg.  
Presión de inflado en frío: [2, 2.5]bar  
Temperatura: [15, 50]°C

En condiciones de uso  
la presión y temperatura aumentan



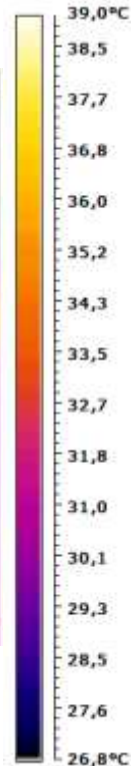
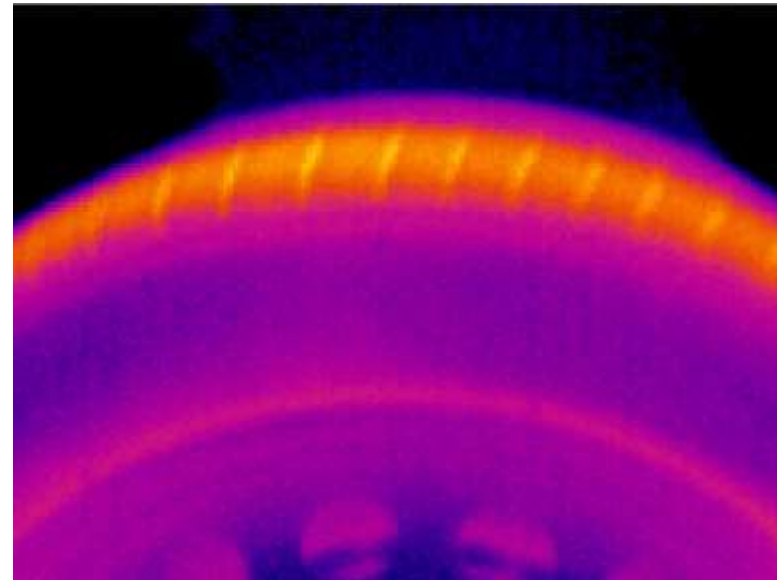
¿Cómo extrapolamos los resultados de  
laboratorio?



Cámara  
termográfica

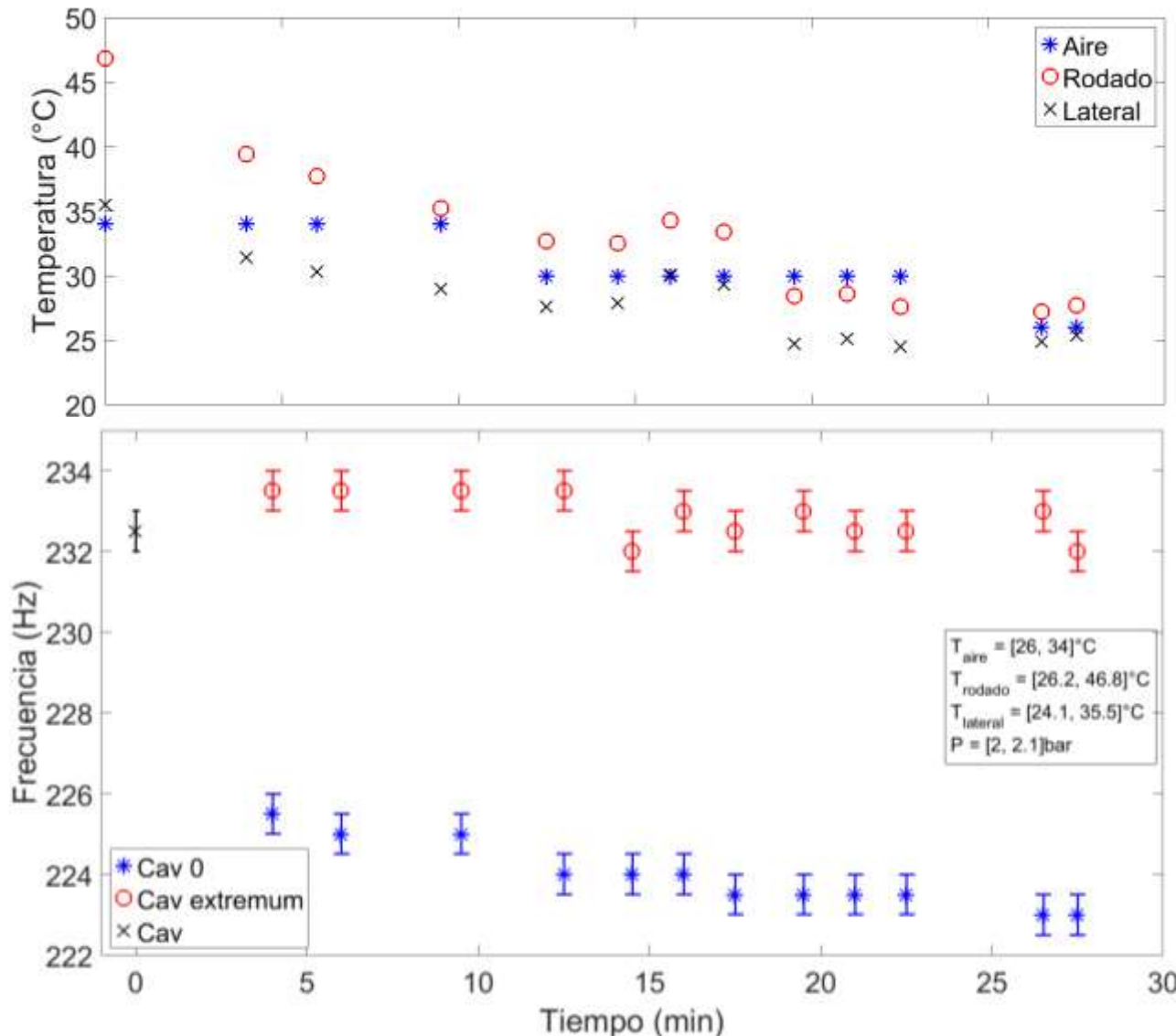
Sensor de  
temperatura  
en cavidad

Simular las condiciones de uso



En una rueda de prueba gira el neumático a 80km/h con una carga del 90% de su índice, 530 kg, hasta alcanzar el estacionario.

La temperatura disminuye a presión variable = Condiciones de uso



Aprox de gas ideal y compresión adiabática

$$v_{\text{son}} = \sqrt{\frac{\gamma K T}{M}}$$

$$\frac{f_{T\text{max}}}{f_{T\text{min}}} = \frac{V_{\text{son}}(T_{\text{max}})}{V_{\text{son}}(T_{\text{min}})} = 1.01$$

Cambios del 1.1% relativo

Los modos de cavidad no cambian significativamente con la temperatura

Modos estructurales

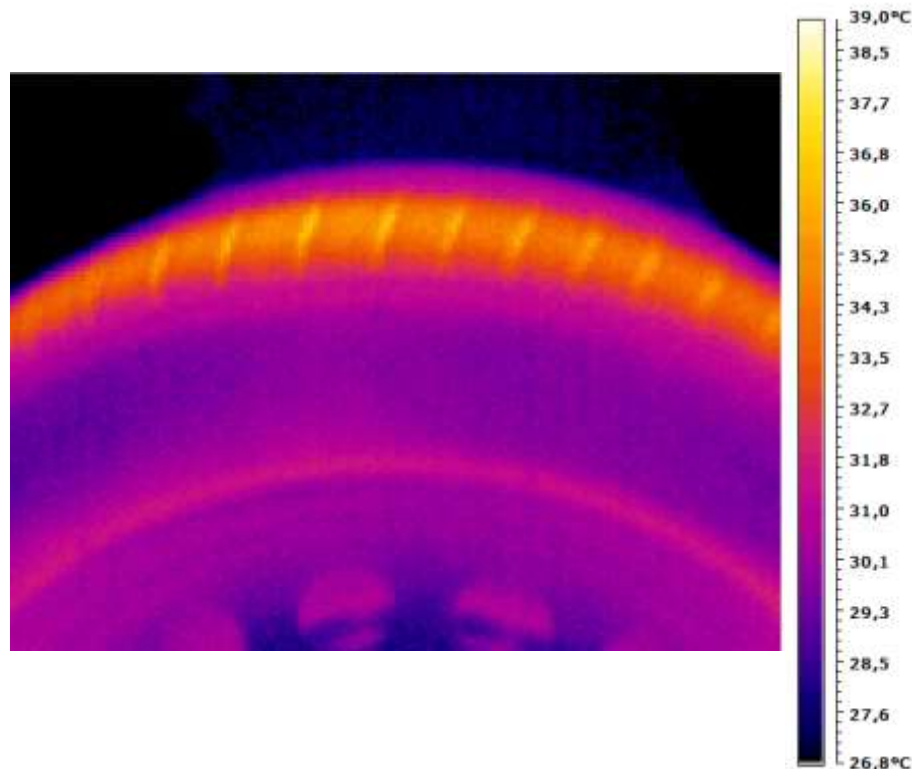


Temperatura sobre la superficie

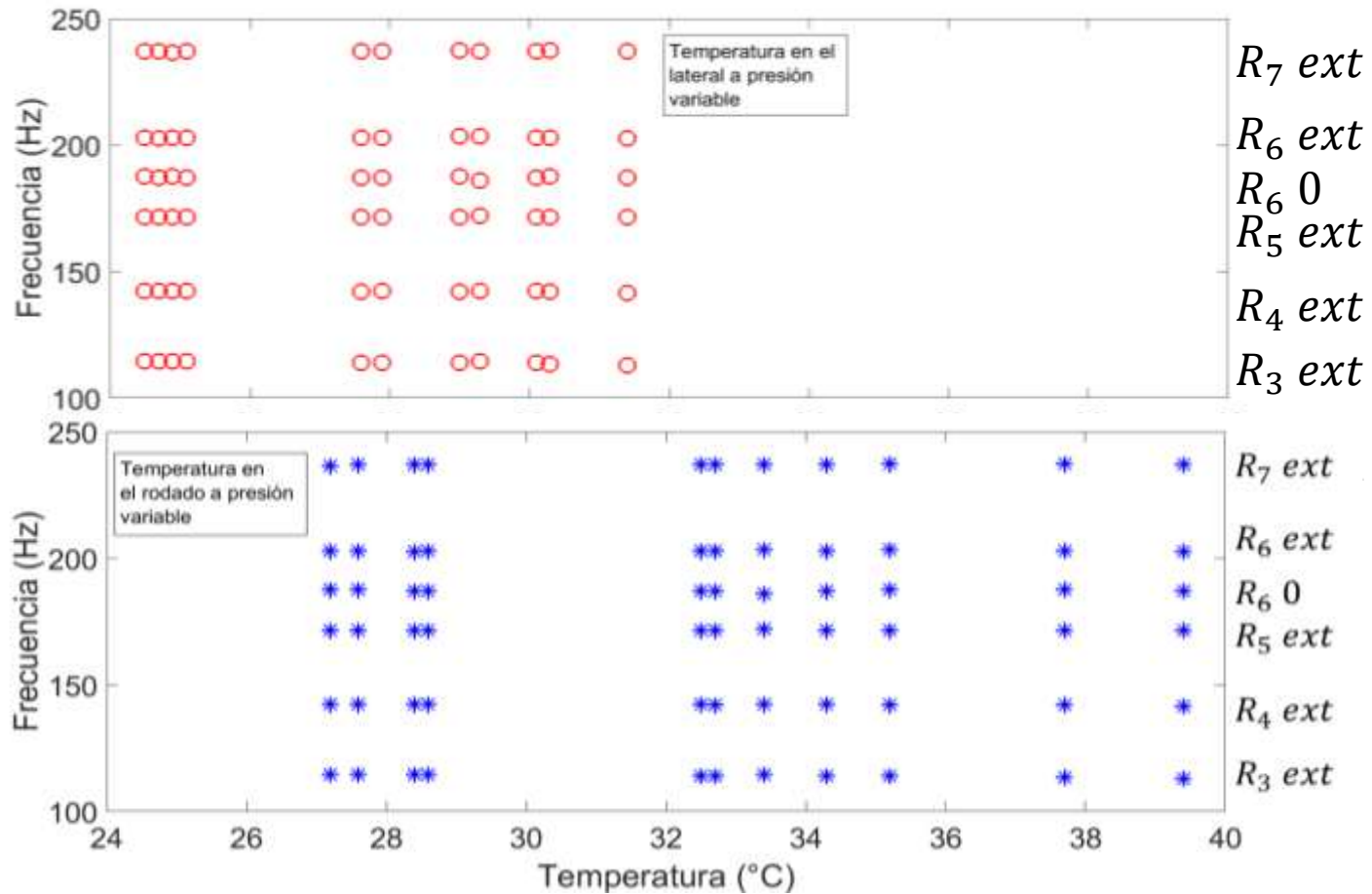
Modelo afirma que:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \zeta^2}$$
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Donde k es una medida de la rigidez de la cubierta.





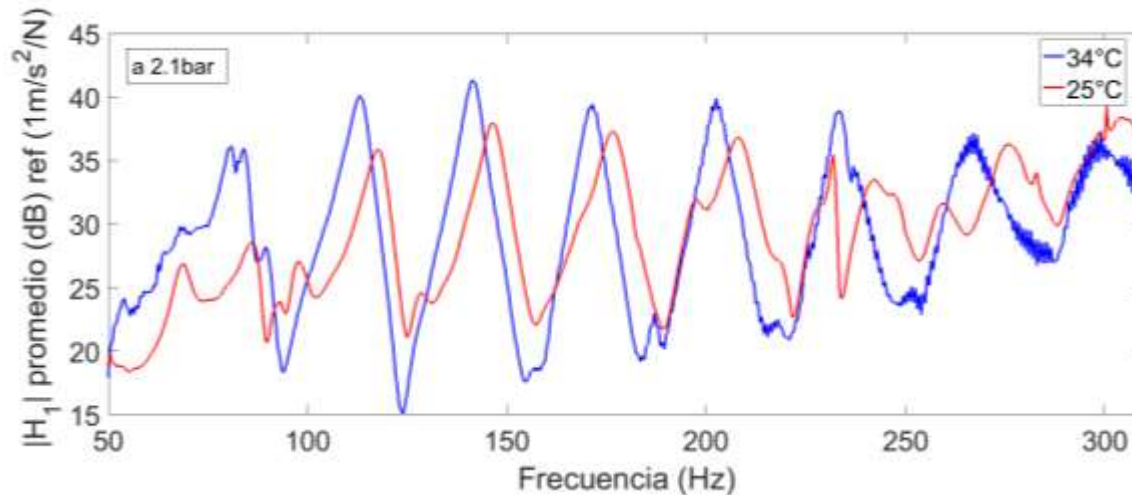


Modos estructurales  
no varían significativamente  
con la temperatura a presión variable.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

La flexibilidad que le  
otorga el aumento de  
presión es compensado  
con la rigidez del aumento  
de presión



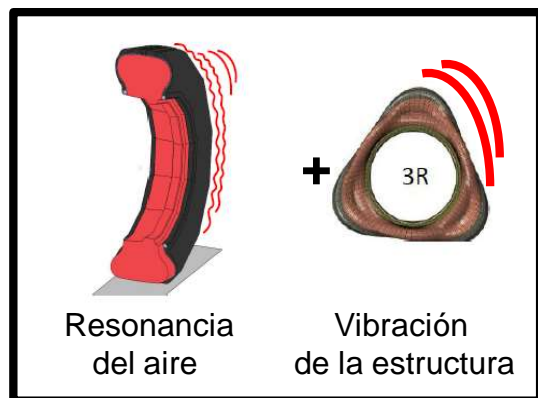


Sí la cubierta se encuentra mayor temperatura entonces disminuye en frecuencia porque se hace menos rígida.

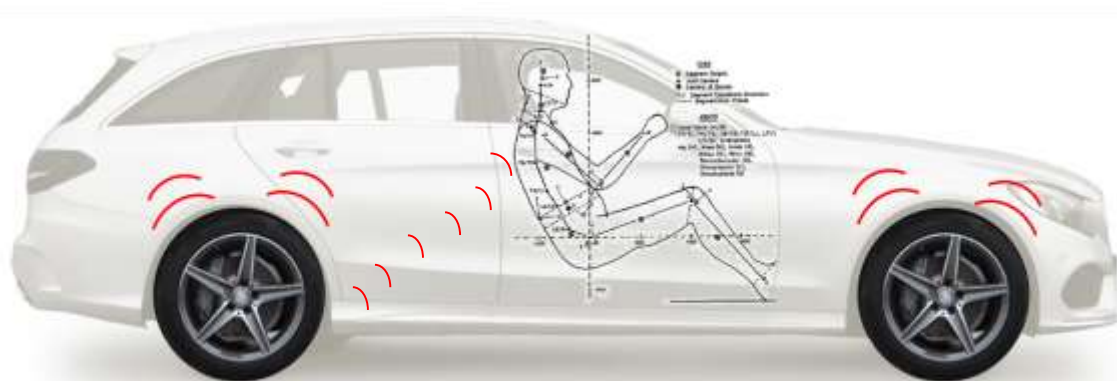
A mayor temperatura, mayor la frecuencia de los modos sí la presión permanece constante

**Los modos de cavidad y estructurales estáticos del neumático permanecen invariantes bajo condiciones de uso típicas (aumento de temperatura y presión debido al andar).**

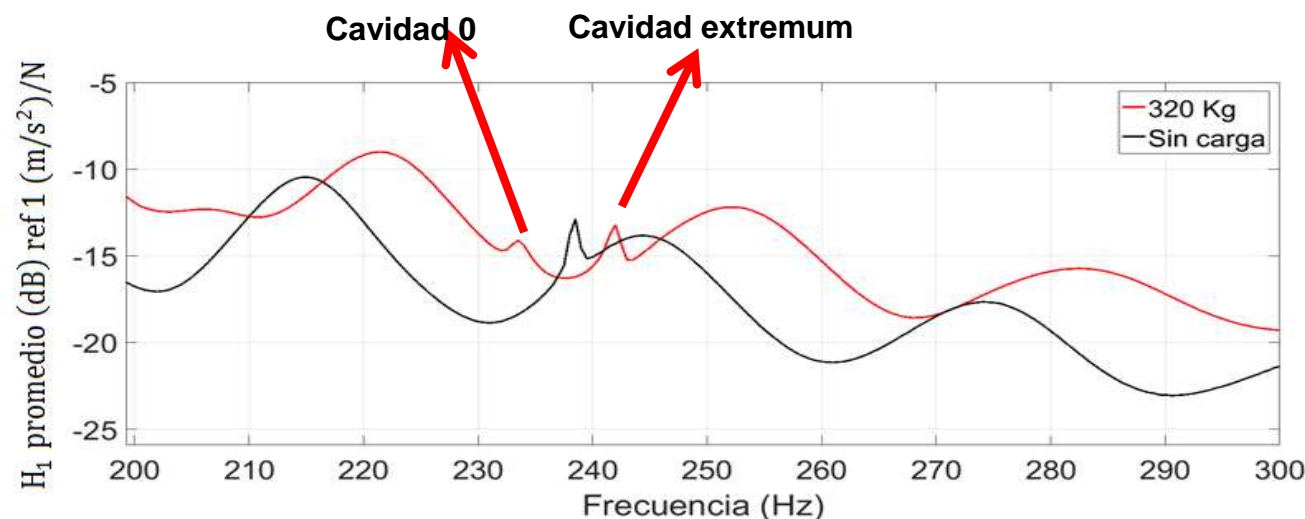
Ya conocemos esta física



Entonces, ahora nos preguntamos  
¿cómo son transmitidas éstas vibraciones  
hacia el automóvil?

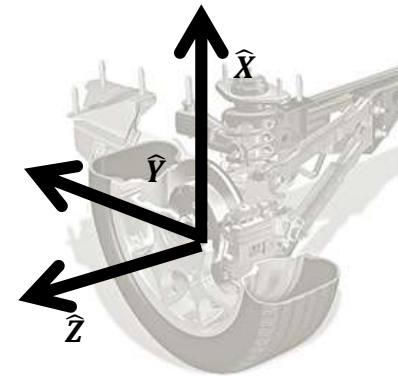
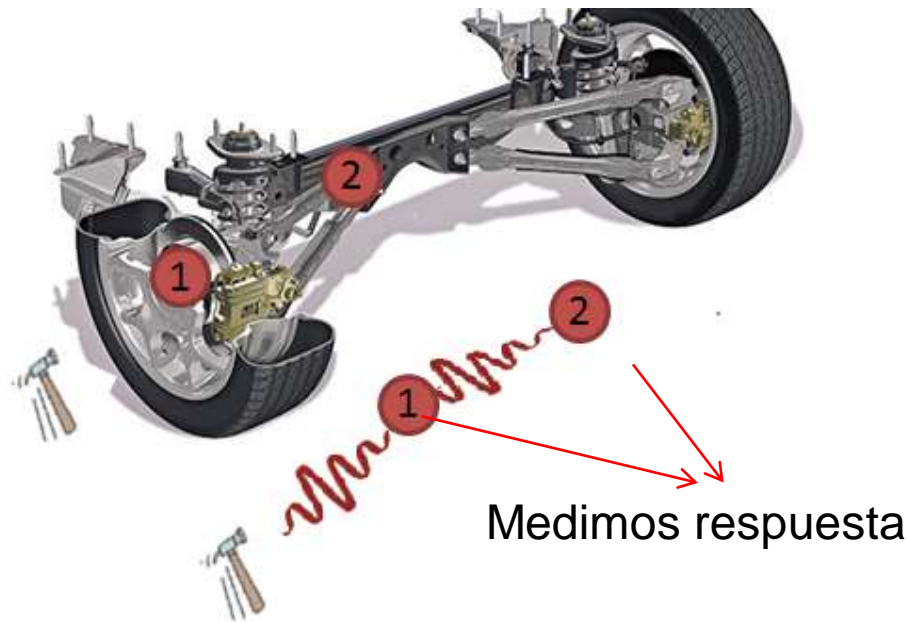


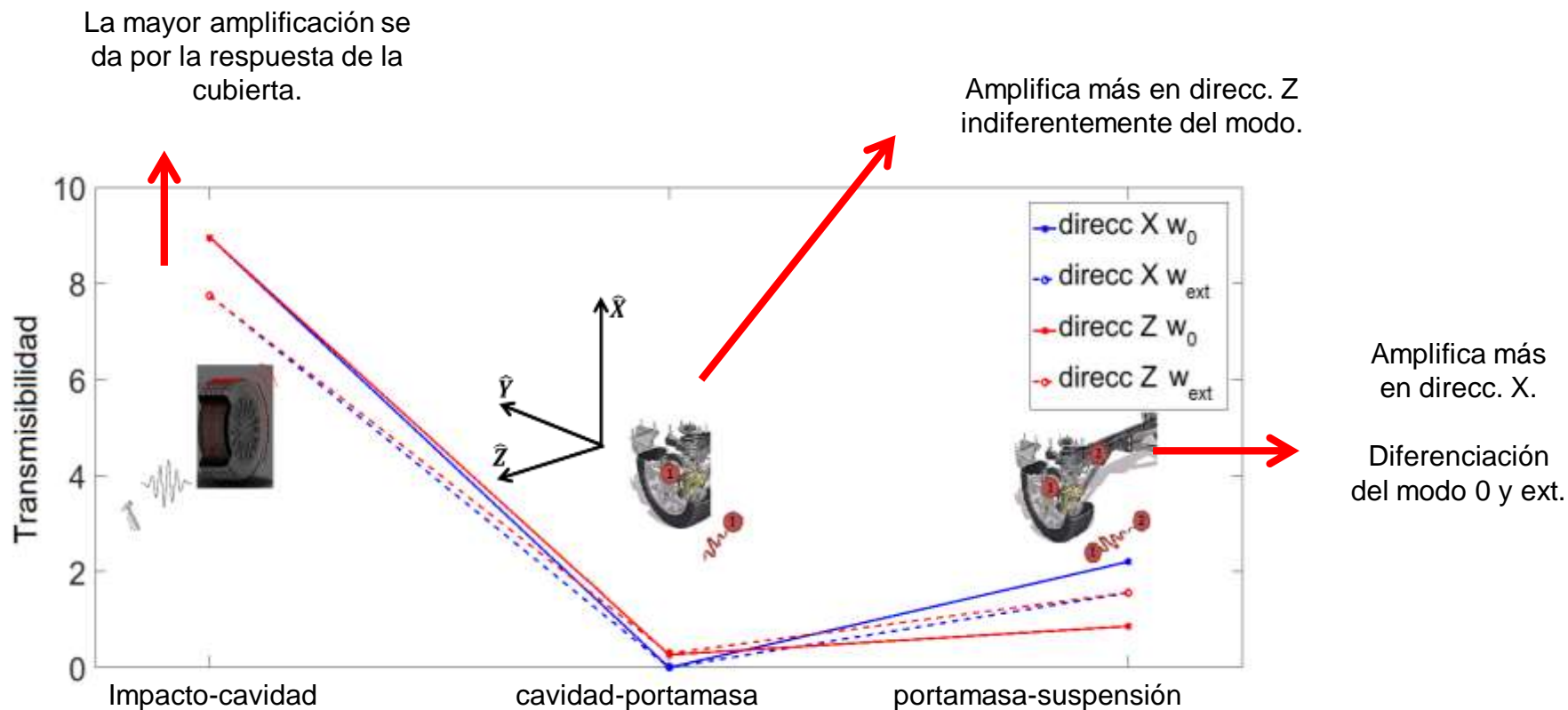
En particular, para las resonancias acústicas



¿Ambos modos se transmiten  
de la misma forma  
hacia el auto?

Estudiamos cómo son transmitidas las vibraciones generadas por un martillo instrumentado hacia el portamasa (1) y hacia el brazo de la suspensión (2) en dos direcciones: X (hacia el auto) y Z (normal a éste).





**El modo de cavidad que más se transmite en la suspensión en la dirección hacia el automóvil es el modo 0.**

## Conclusiones para el desarrollo

**Como los modos acústicos y estructurales no cambian significativamente en condiciones de uso típicas entonces, si evitamos el acople del modo acústico 0 con los estructurales de su entorno en el laboratorio evitaremos una resonancia que se transmita hacia el automóvil.**