

Jornada  
Mezclas Bituminosas Sono-Reductoras  
12 de Abril de 2011

# ***Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental***

Presentado por:  
**Jeanne Luong Segarel**

**IP: Santiago Expósito Paje**

E.T.S.I. de Caminos Canales y Puertos  
Departamento de Física Aplicada

**Laboratorio de Acústica Aplicada a la Ingeniería Civil**





Introducción

Índice

Textura superficial

Fundamentos

Equipo optimizada

Equipos

Propósito de

Absorción acústica

Fundamentos

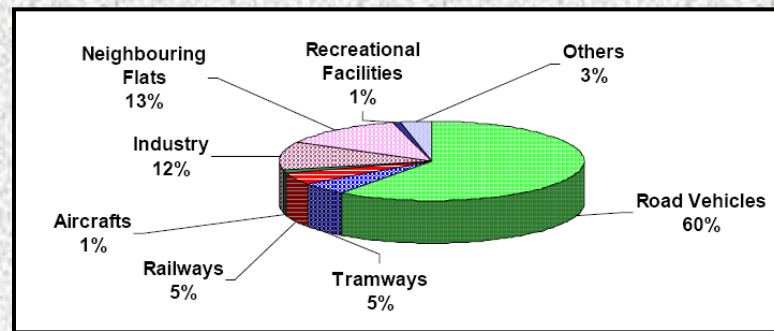
Equipos y parámetros

Absorción simulada

Propósito del L&L

# Introducción

## 80 millones Ciudadanos Unión Europea (OMS)



➤ 25 Junio de 2002 - **Directiva 2002/49/CE**

**sobre evaluación y gestión del ruido ambiental**

➤ 17 de noviembre de 2003 - **Ley 37/2003 del Ruido**

Ruido de rodadura > Ruido motor a partir de 30 km/h

Pantallas acústicas,  
rotondas, túneles, dobles  
ventanas



**Actuar sobre la  
fuente: la capa  
de rodadura**

*Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental*



# Introducción

Índice

Textura superficial

Fundamentos

Equipos y parámetros

Equivalencia

Propósito del L<sub>eq</sub>

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

Absorción simulada

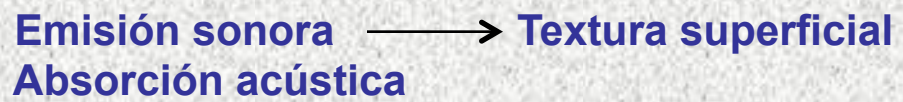
Propósito del L<sub>eq</sub>

# Ruido de rodadura

➤ Emisión sonora generada por el **contacto entre el neumático y el pavimento**



**Objetivo:** Intentar comprender el comportamiento del ruido de rodadura y los mecanismos que lo generan o que puedan influir



Introducción

Índice

Textura superficial

Fundamentos

Equipos y parámetros

Propósito del LA<sup>2</sup>IC

Propósito del LA<sup>2</sup>IC

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

Absorción simulada

Propósito del LA<sup>2</sup>IC

## Índice

- **Optimización de la textura superficial**
  - Fundamentos
  - Textura optimizada
  - Equipos y parámetros
  - Correlación ruido de rodadura y textura superficial
  - Propósito del LA<sup>2</sup>IC
  
- **Optimización absorción acústica**
  - Fundamentos
  - Equipos y parámetros
  - Absorción modelada
  - Propósito del LA<sup>2</sup>IC



Introducción

Índice

**Textura superficial**

**Fundamentos**

Textura optimizada

Equipos

Propósito de

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

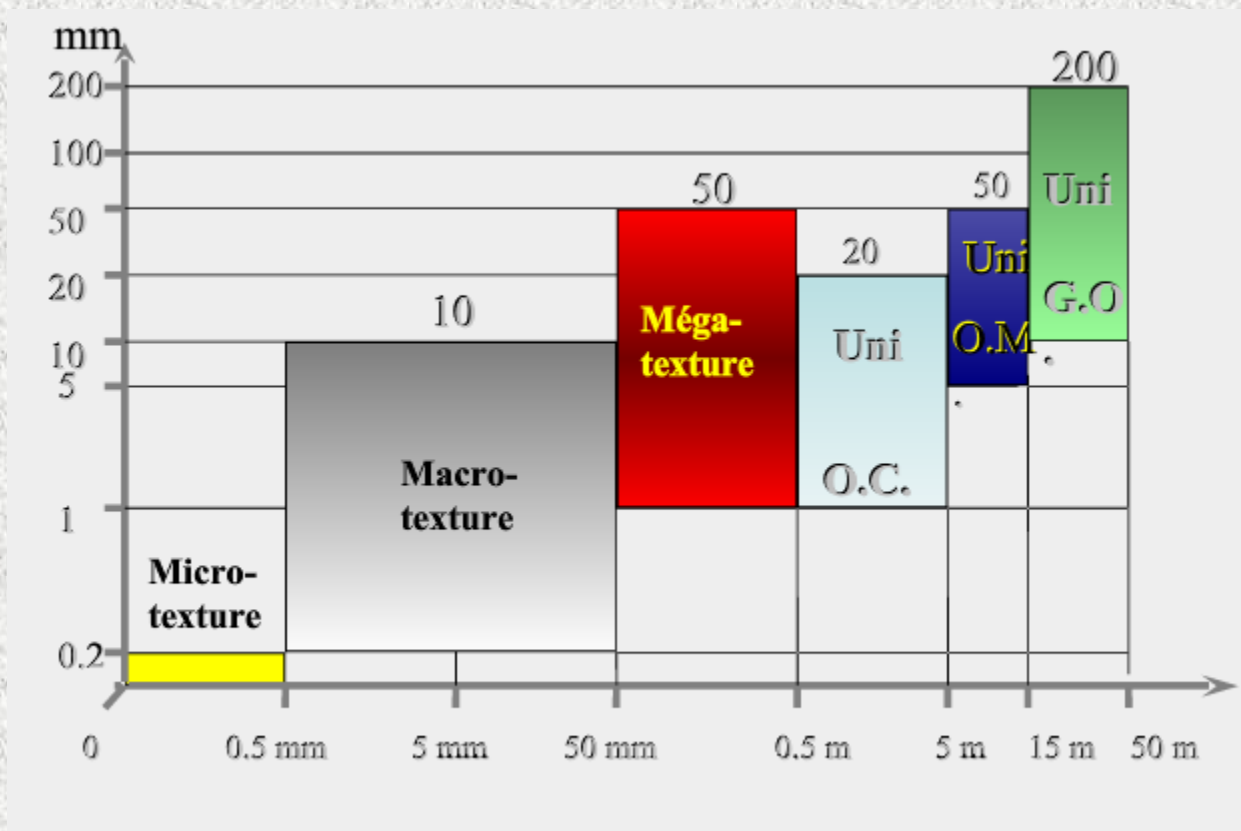
Absorción simulada

Propósito del LRA

# Textura superficial

## Fundamentos

Desviación de la superficie de la carretera en relación con una superficie totalmente plana. Se divide en mega, macro y micro textura.





Introducción

Índice

Textura superficial

Fundamentos

Equilibrio optimizada

Equipos

Propósito de

Absorción acústica

Fundamentos

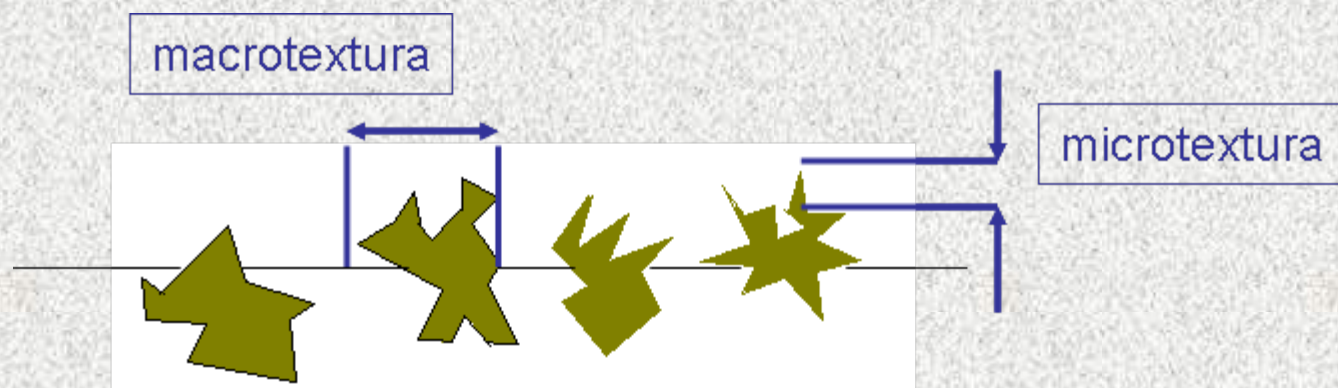
Equipos y parámetros

Absorción simulada

Propósito del L&L

# Textura superficial

## Fundamentos

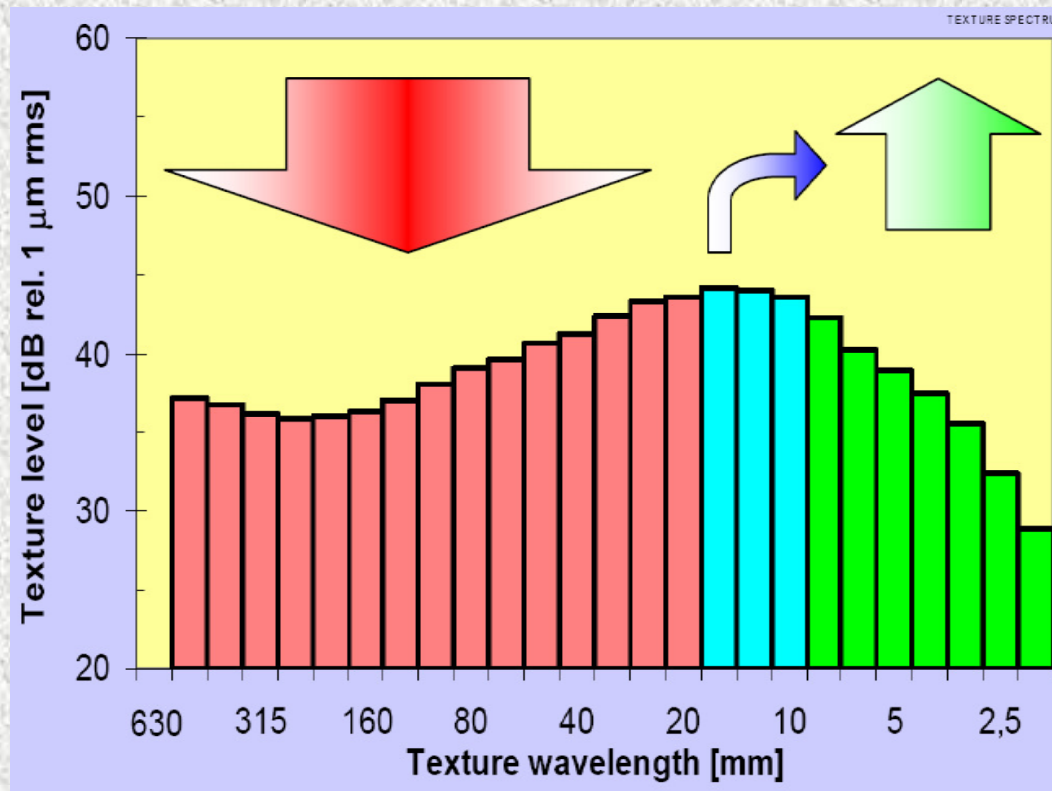


**Microtextura influye en el ruido de rodadura a alta frecuencia**  
**Megatextura influye en el ruido de rodadura a baja frecuencia.**



# Textura superficial

## Textura optimizada



Nivel de textura < 39 dB (8 mm) para  $\lambda > 10\text{mm}$

Introducción

Índice

**Textura superficial**

Fundamentos

Textura optimizada

**Equipos y parámetros**

Propósito del LA<sup>2</sup>IC

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

Absorción simulada

Propósito del LA<sup>2</sup>IC

# Textura superficial

## Equipos y parámetros

Laser Dynamic PG-LA<sup>2</sup>IC



- Luz/color del pavimento
- GPS
- Velocidad 20-150km/h

*Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental*



Introducción

Índice

**Textura superficial**

Fundamentos

Equipo optimizada

**Equipos y parámetros**

Propósito del L<sub>10</sub>

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

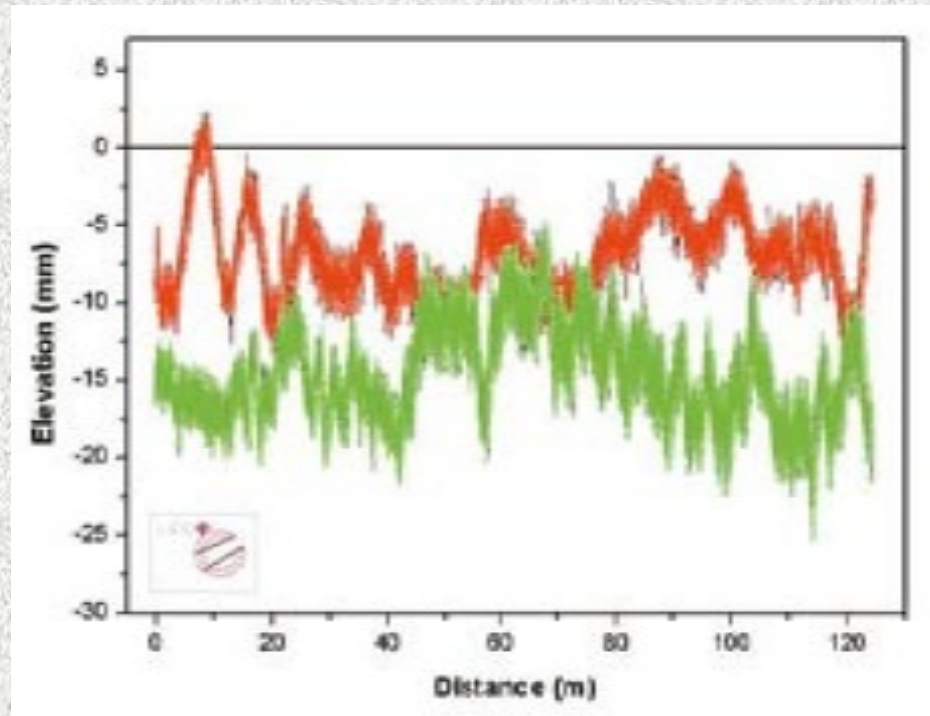
Absorción simulada

Propósito del L<sub>10</sub>

# Textura superficial

## Equipos y parámetros

Perfiles de textura superficial: representación 2D de la superficie de la carretera

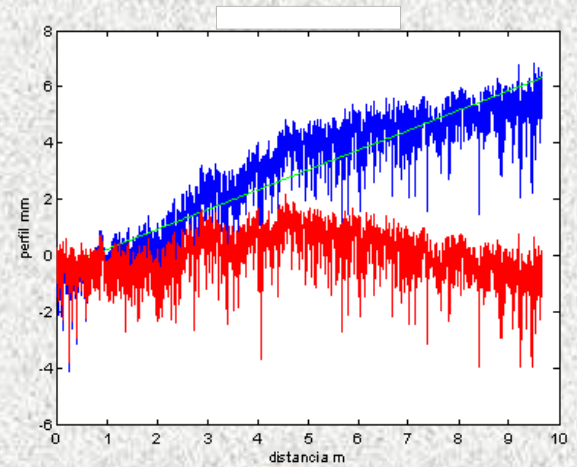
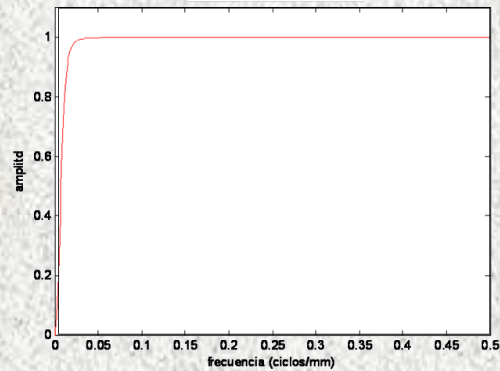
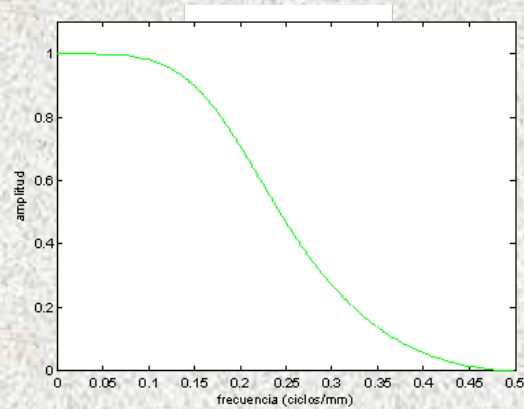




# Textura superficial

## Equipos y parámetros

Profundidad Media del Perfil: ¿ como se obtiene?



Introducción

Índice

Textura superficial

Fundamentos

Equipos y parámetros

Equipos y parámetros

Propósito de la textura

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

Absorción simulada

Propósito del LRA

# Textura superficial

## Equipos y parámetros

### Índice MPD Mean Profile Depth

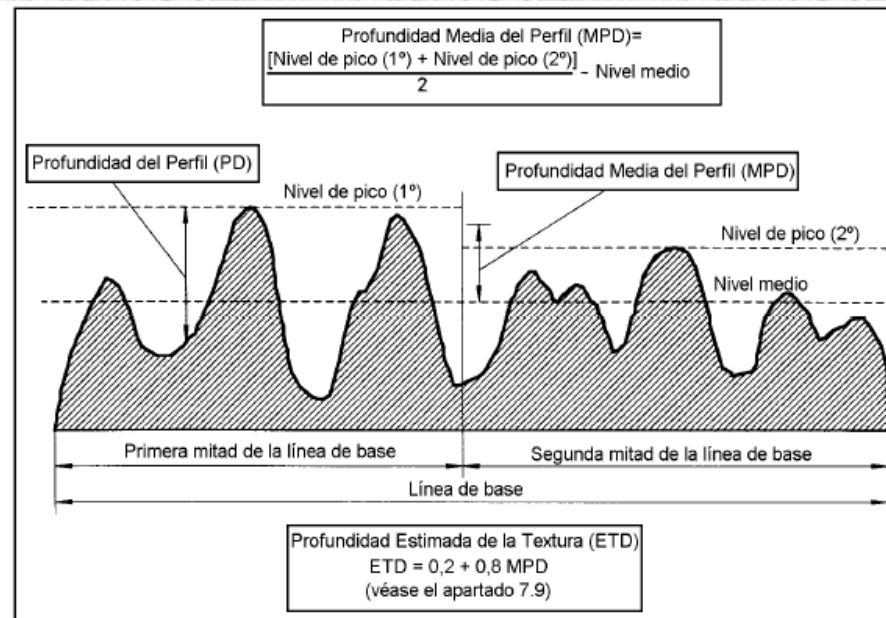
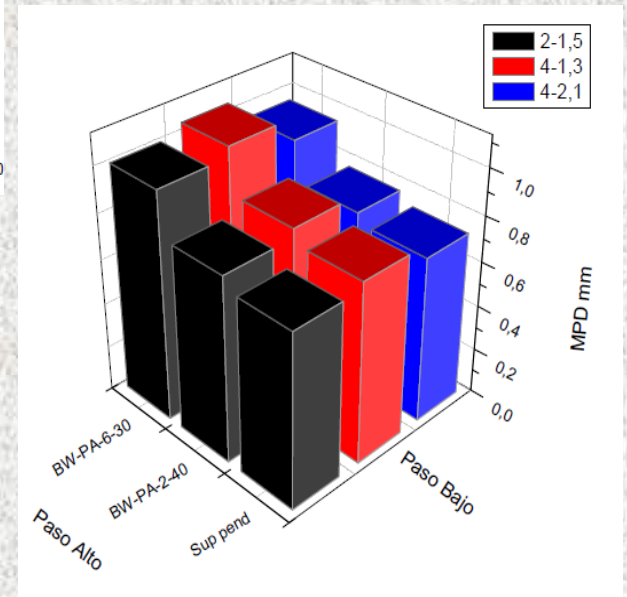
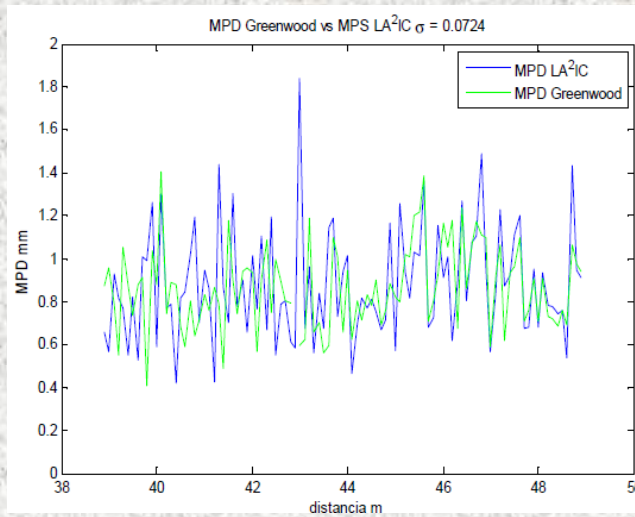


Figura A.4 – Ilustración de los términos línea de base, Profundidad del Perfil (PD), Profundidad Media del Perfil (MPD) y Profundidad Estimada de la Textura (ETD) (EDT y MPD se expresan en milímetros)



# Textura superficial

## Equipos y parámetros



30% de variación según el filtro utilizado

Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental

Introducción

Índice

**Textura superficial**

Fundamentos

Equipo optimizado

**Equipos y parámetros**

Propósito del LAIC

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

Absorción simulada

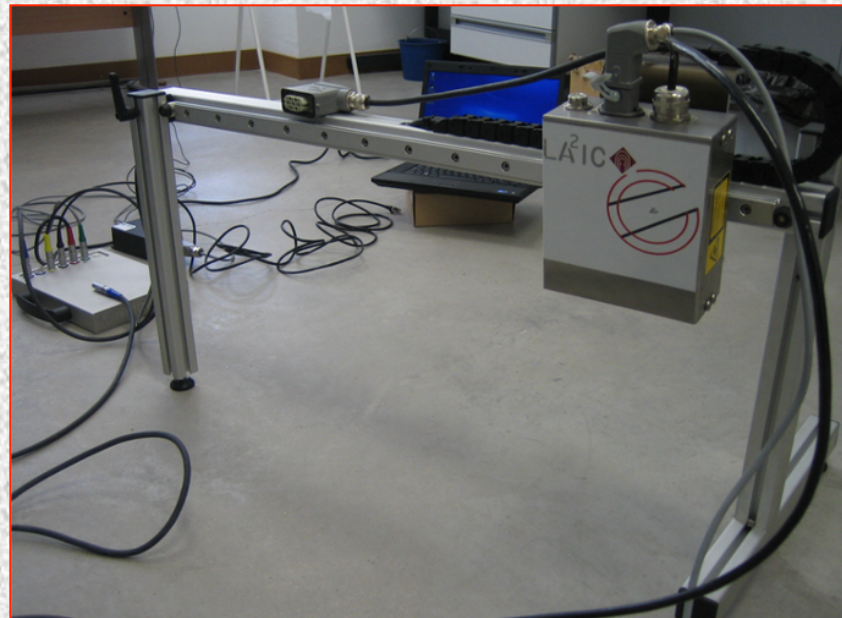
Propósito del LAIC

# Textura superficial

## Equipos y parámetros

### Laser Static

- Velocidad de medida 3.5 mm/s
- Luz/color del pavimento
- Perfiles de 0.75 cm



*Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental*

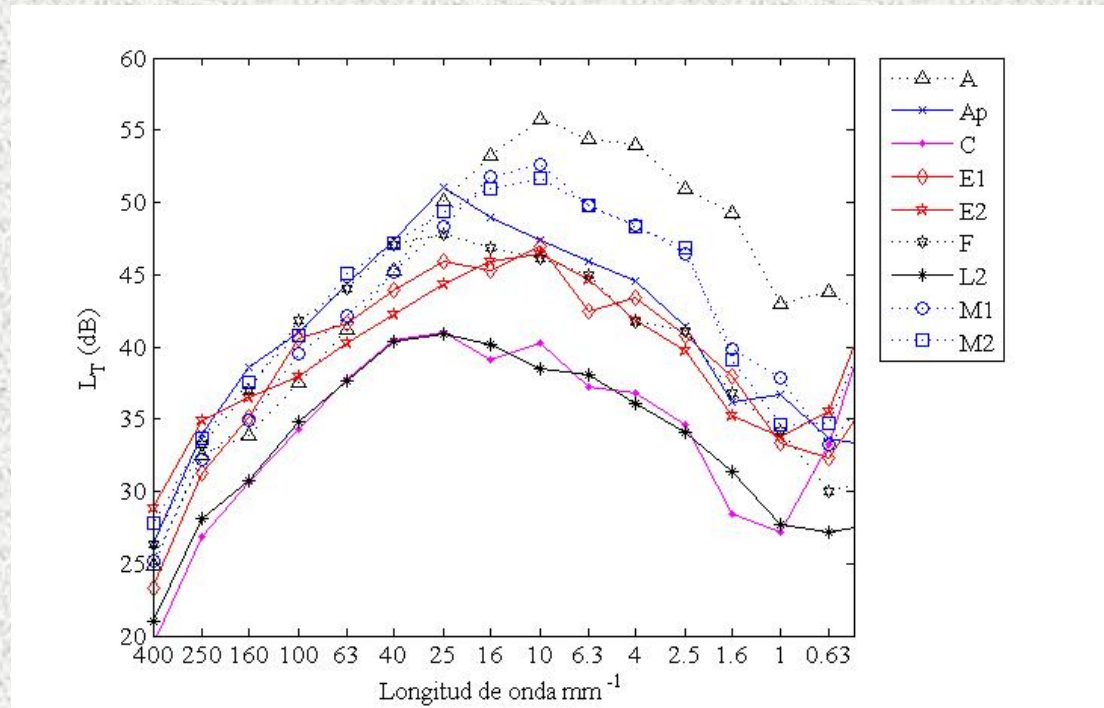


# Textura superficial

## Equipos y parámetros

### Espectros de textura superficial

- ISO 13473-4
- Niveles en dB



Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental

Introducción

Índice

Textura superficial

Fundamentos

Equipos y parámetros

Equipos y parámetros

Propósito del L<sub>10</sub>

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

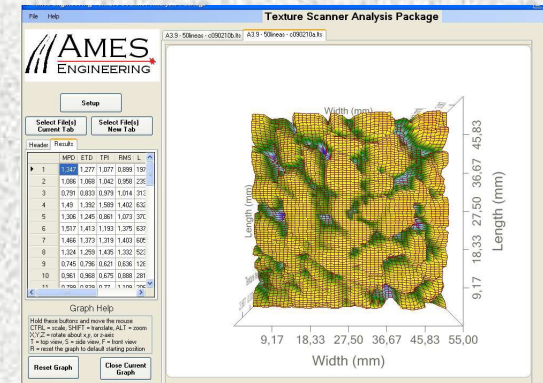
Absorción simulada

Propósito del L<sub>10</sub>

# Textura superficial

## Equipos y parámetros

### Escáner de textura



**RMS:** Media Cuadrática, informa sobre la rugosidad y el carácter positivo o negativo de la textura

Introducción

Índice

Textura superficial

Fundamentos

Equipos y parámetros

Equipos y parámetros

Propósito del LCA

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

Absorción simulada

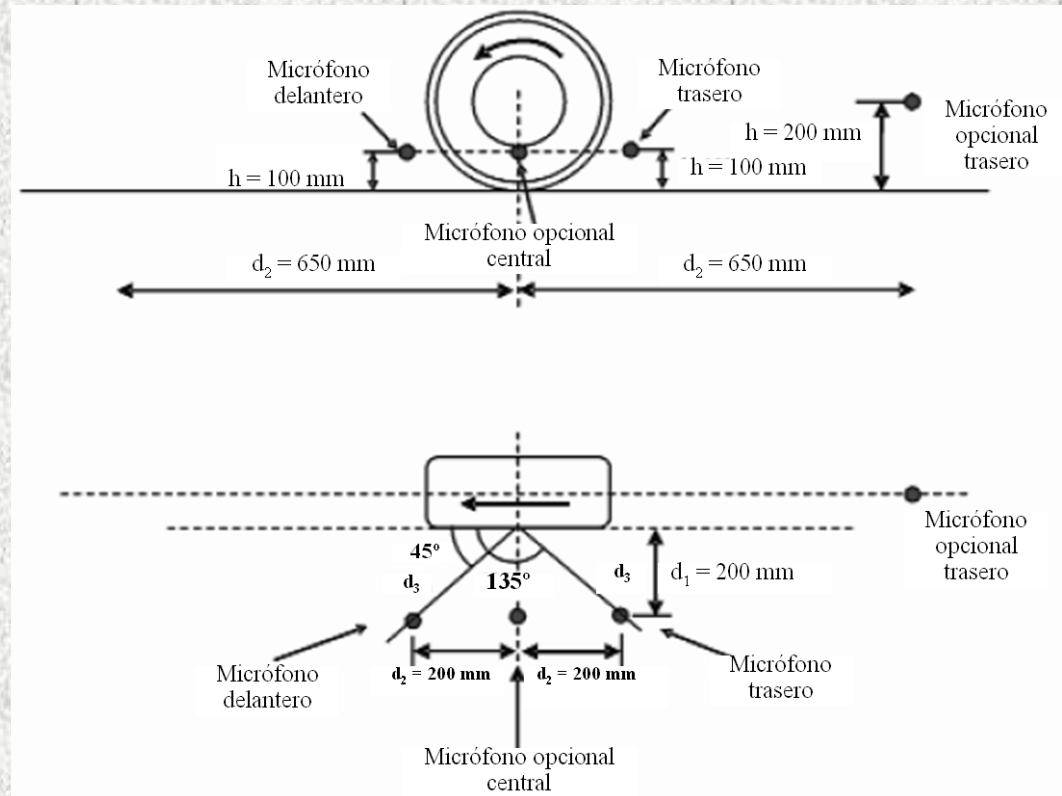
Propósito del LCA

# Textura superficial

## Equipos y parámetros

### Nivel CPX: Close Proximity Noise

- ISO/DIS 11819-2





Introducción

Índice

**Textura superficial**

Fundamentos

Equipos y parámetros

**Equipos y parámetros**

Propósito del LA<sup>2</sup>IC

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

Absorción simulada

Propósito del LA<sup>2</sup>IC

# Textura superficial

## Equipos y parámetros

Tiresonic Mk4-LA2IC

Medir exclusivamente el nivel de presión sonora emitido en la **zona de contacto entre neumático y pavimento**

**Remolque** Tiresonic Mk4-LA<sup>2</sup>IC que es una cámara **semi-anecoica** en cuyo interior esta montado un neumático y 2 micrófonos.



*Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental*

Introducción

Índice

**Textura superficial**

Fundamentos

Optimizada

**Equipos y parámetros**

Propósito de

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

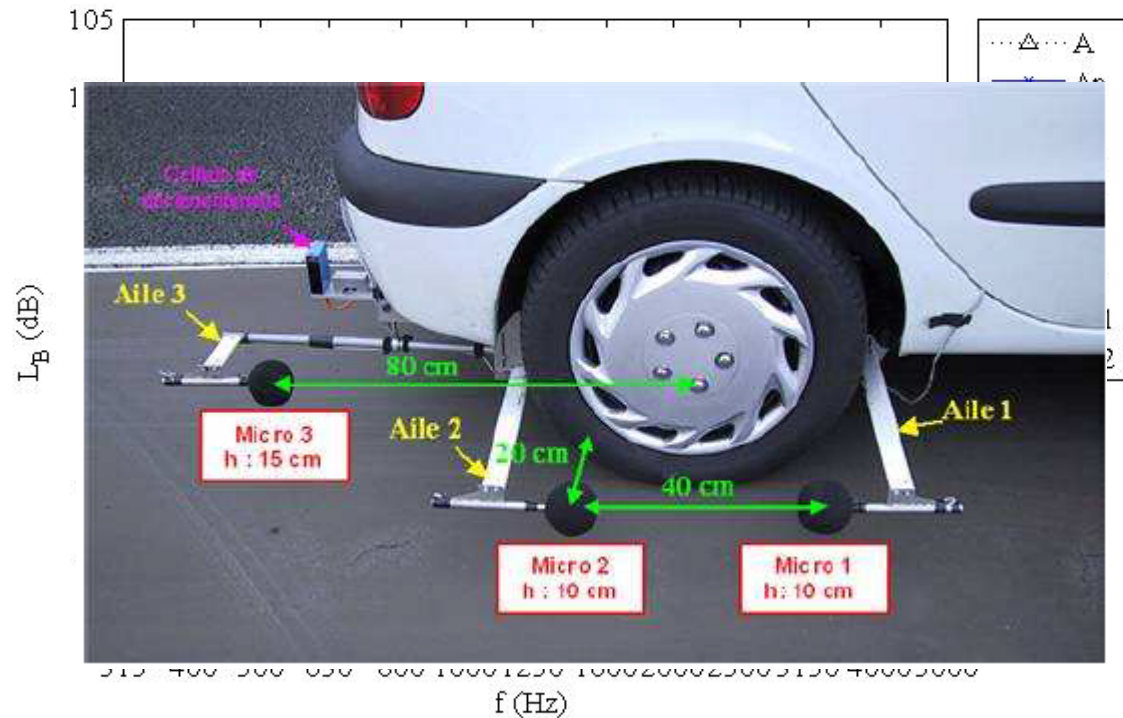
Absorción simulada

Propósito del L<sub>A</sub>eq

# Textura superficial

## Equipos y parámetros

### Espectros sonoros



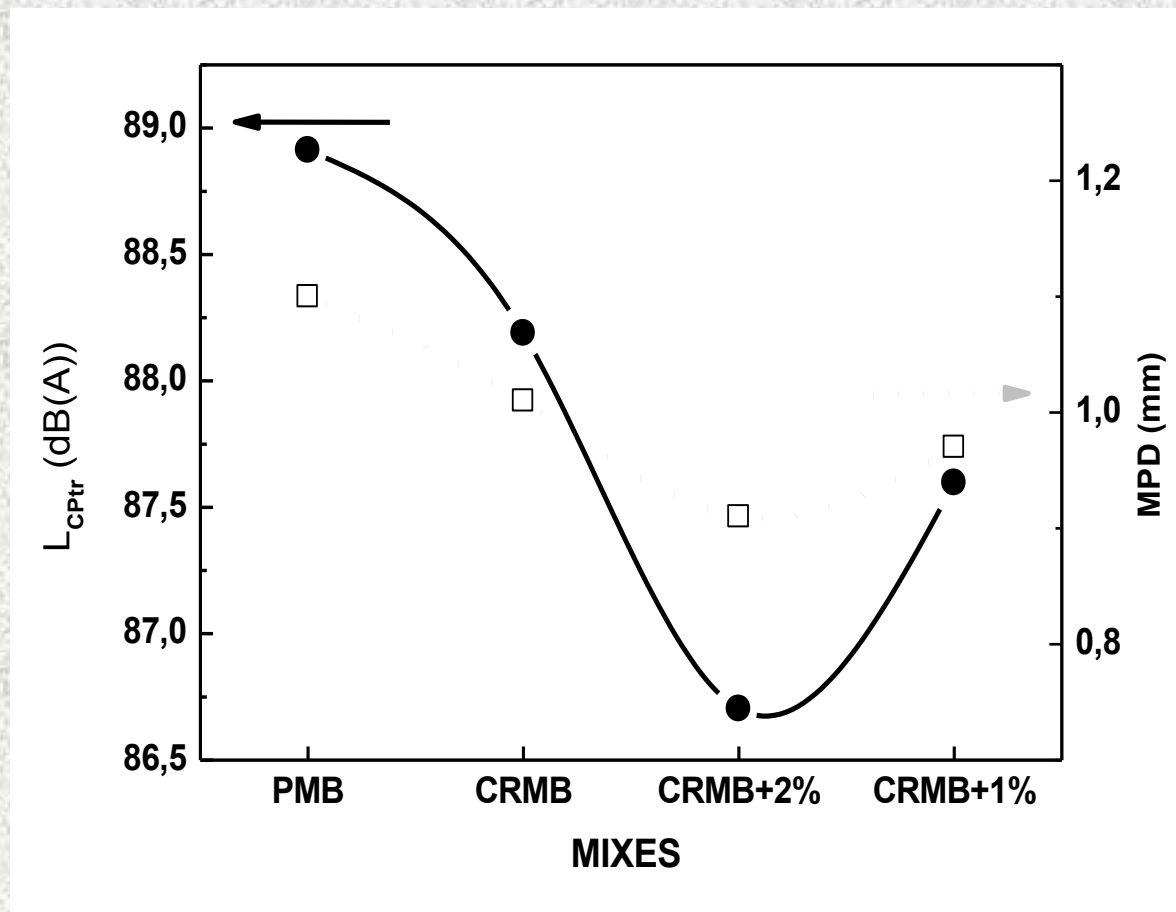
Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental



# Textura superficial

## Equipos y parámetros

Niveles sonoros  $L_{CPtr}$  dB(A)





Introducción

Índice

Textura superficial

Fundamentos

de optimizada

Equipos

Correlación

Propósito de

Absorción acústica

Fundamentos

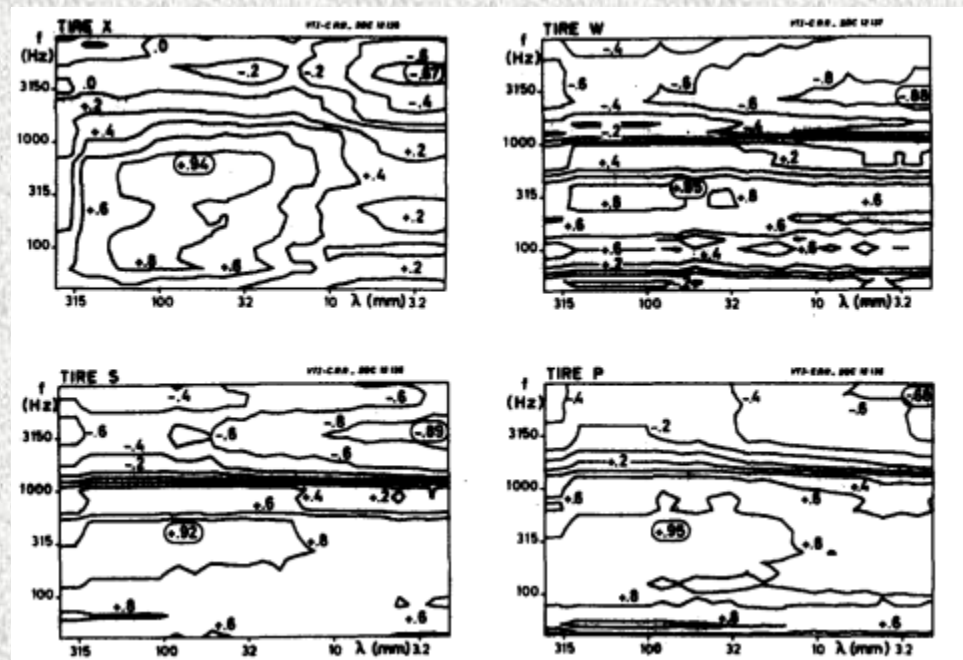
Equipos y parámetros

Absorción simulada

Propósito del L

## Textura superficial

### Correlación ruido de rodadura/textura superficial



Road Traffic Noise The Influence of the road Surface and its Characterization, 1987

1. Resultados generales parecidos entre los 4 neumáticos.
2. La correlación puede ser o positiva o negativa (ruido disminuye con la textura)
3. La frecuencia donde la correlación cambia de signo, llamada la frecuencia de cruce, esta alrededor de 1000-1250Hz para turismos.
4. La correlación maxima positiva entre el ruido y la textura esta entre 400-500 Hz y 63-80 mm de longitud de onda, la megatextura.
5. La correlación maxima negativa entre el ruido y la textura entre 2500-8000 Hz y 2-3.2 mm de longitud de onda.

*Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental*

Introducción

Índice

**Textura superficial**

Fundamentos

Equipos y parámetros optimizados

Equipos

**Correlación**

Propósito de la 2ª

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

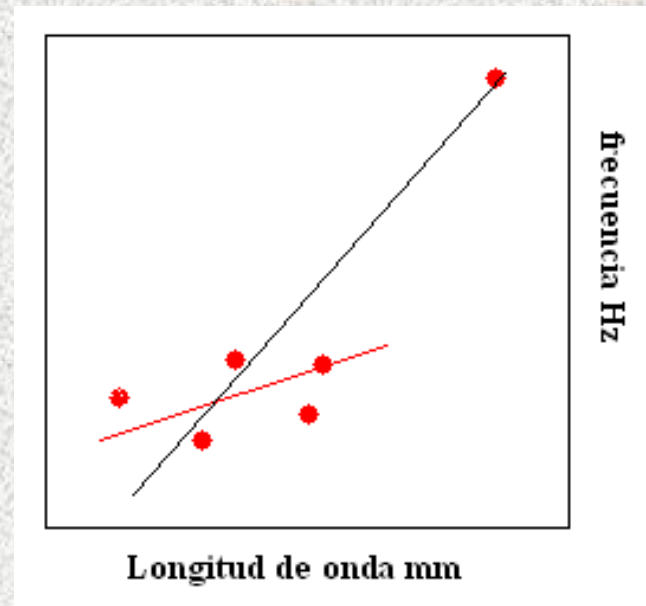
Absorción simulada

Propósito del LA 10

## Textura superficial

### Correlación ruido de rodadura/textura superficial

- A veces no se ha tomado en cuenta la energía absorbida por el pavimento durante la propagación, en caso de realizar la correlación con medidas SPB
- Hacer un grafico de la dispersión por frecuencia y por longitud de onda. Quitar los datos que tienen demasiado peso en la correlación.





Introducción

Índice

**Textura superficial**

Fundamentos

Textura optimizada

Ejemplos

**Correlación**

Propósito de la 2ª

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

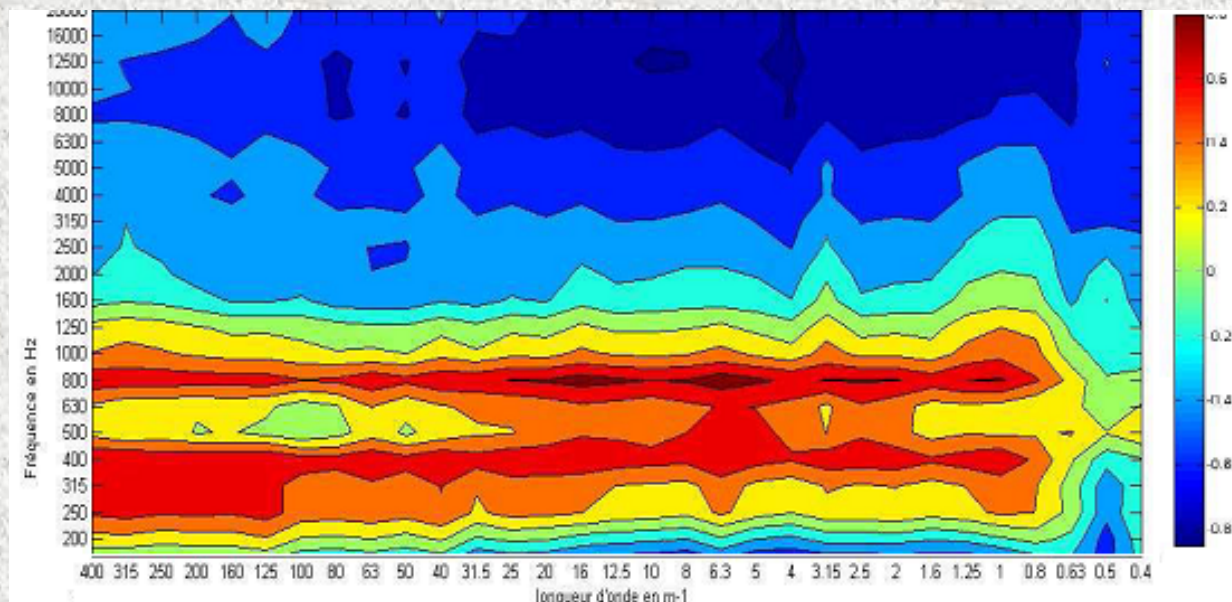
Absorción simulada

Propósito del LRA

# Textura superficial

## Correlación ruido de rodadura/textura superficial

### Textura/Ruido de rodadura



2. La correlación puede ser o positiva o negativa
3. La frecuencia donde la correlación cambia de signo, llamada la frecuencia de cruce, esta 1250 Hz para turismos.
4. La correlación maxima positiva entre el ruido y la textura esta entre 800 Hz y 5-25 mm de longitud de onda, en la macrotextura.
5. La correlación maxima negativa entre el ruido y la textura entre 8000-20000 Hz y 4 mm de longitud de onda.

*Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental*

Introducción

Índice

**Textura superficial**

Fundamentos

Textura optimizada

Equipos

**Propósito del LA<sup>2</sup>IC**

Absorción acústica

Fundamentos

Equipos y parámetros

Absorción simulada

Propósito del LA<sup>2</sup>IC

# Textura superficial

## Propósito del LA<sup>2</sup>IC

Entender la influencia de la macrotextura superficial en la generación de ruido de contacto neumático/pavimento.

Macrotextura superficial tiene un papel fundamental en la generación de ruido. No importa el nº de huecos, si la macrotextura no es la adecuada, no habrá menos ruido.

Medir y analizar textura superficial de pavimentos para:

Encontrar o no correlación MPD / ruido de rodadura y poder explicar porque

Realizar correlaciones entre espectros de textura superficial y de sonido de manera rigurosa

- CPX
- dispersión
- mismo tipo de pavimentos

Realizar medidas con un neumático liso para librarse de los sonidos generados por el dibujo de un neumático convencional.



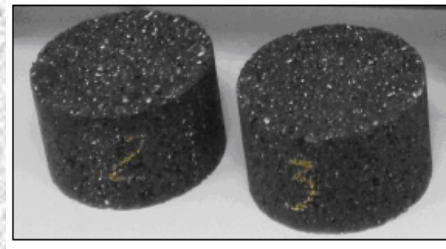
# Absorción acústica

## Fundamentos

El coeficiente de absorción acústica es la relación entre la energía acústica incidente y la energía acústica absorbida por una superficie

$$\alpha = \frac{E_{no\ reflejada}}{E_{incidente}}$$

La impedancia acústica ( $Z$ ) es una magnitud física que describe la capacidad de una superficie para absorber o rechazar energía sonora.



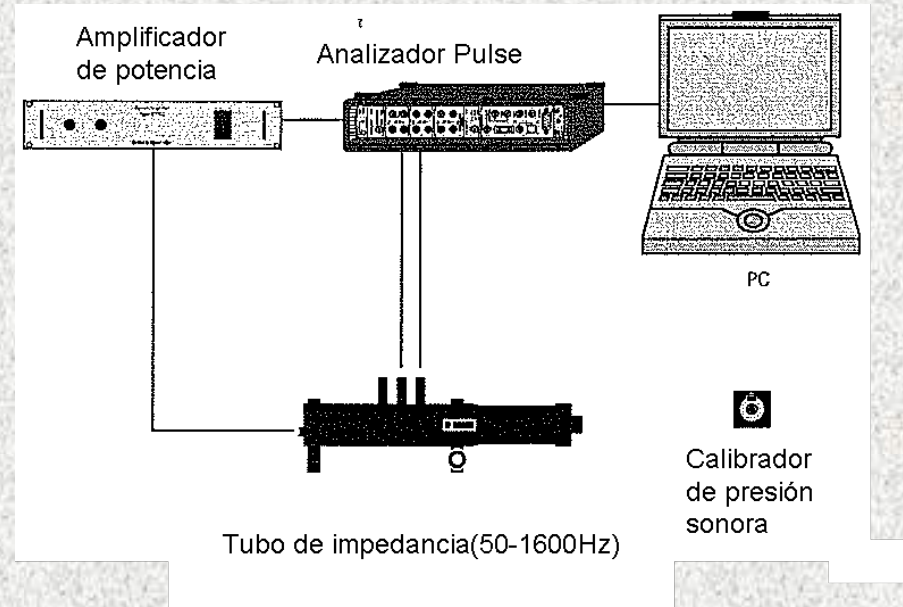




# Absorción acústica

## Equipos y parámetros

### Tubo de impedancia



Permite medir la impedancia de una señal en incidencia normal.

Una fuente emite un ruido blanco (en todo el rango de frecuencia con una amplitud igual) que se refleja en la muestra.

Señal emitida + reflejada=onda estacionaria

$f_{\min}$  = modo fundamental de la onda plana progresiva (L).  
 $f < 50\text{Hz}$  onda no estacionaria

$f_{\max}$  = frecuencia de corte ( D).  $f > 1600\text{Hz}$  la onda no es plana

*Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental*



Introducción

Índice

Textura superficial

Fundamentos

Equipos y parámetros

Absorción simulada

Propósito del LA 90

**Absorción acústica**

**Fundamentos**

Equipos y parámetros

Absorción simulada

Propósito del LA 90

# Absorción acústica

## Equipos y parámetros

- 2 micrófonos miden la presión en 2 posiciones distintas, calculan la función de transferencia
- Se deduce impedancia y coeficiente de absorción

$$\alpha = \frac{4 \frac{\Re(Z_c)}{\rho_0 c}}{\left( \left( 1 + \frac{\Re(Z_c)}{\rho_0 c} \right)^2 + \left( \frac{\Im(Z_c)}{\rho_0 c} \right)^2 \right)}$$

Absorción en función de la densidad del aire, la celeridad y la impedancia compleja

Introducción

Índice

Textura superficial

Fundamentos

Equipos y parámetros

Equipos

Propósito del L.A. 15

**Absorción acústica**

Fundamentos

**Equipos y parámetros**

Absorción simulada

Propósito del L.A. 15

# Absorción acústica

## Equipos y parámetros

### La estufa



Permite calentar mezclas preparadas para poder compactarlas

*Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental*



Introducción

Índice

Textura superficial

Fundamentos

Equipos y parámetros

Propósito del LA 10

Propósito del LA 20

**Absorción acústica**

Fundamentos

**Equipos y parámetros**

Absorción simulada

Propósito del LA 10

# Absorción acústica

## Equipos y parámetros

### El compactador a impactos

Permite compactar eligiendo el número de impactos

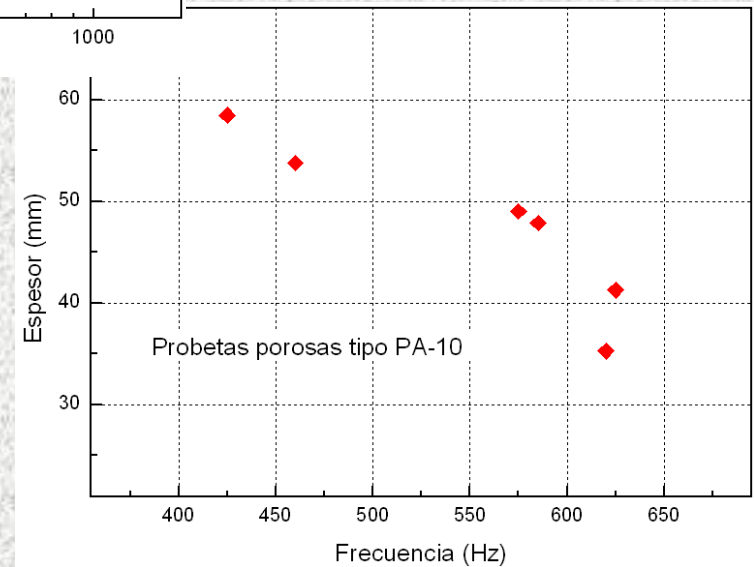
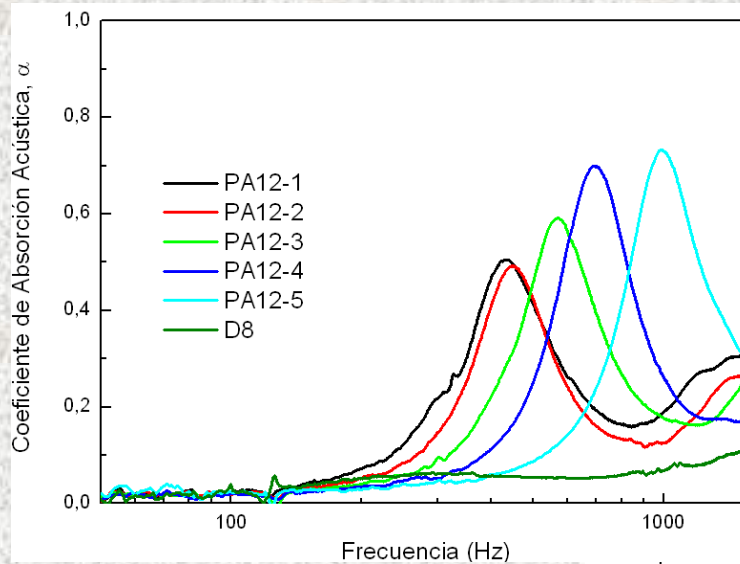




# Absorción acústica

## Equipos y parámetros

### El espesor



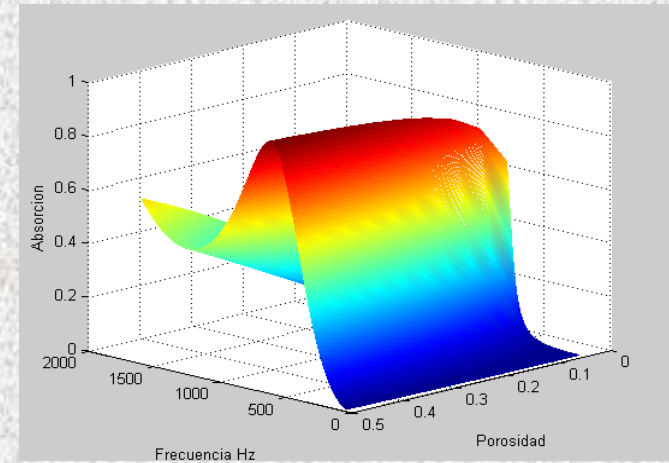
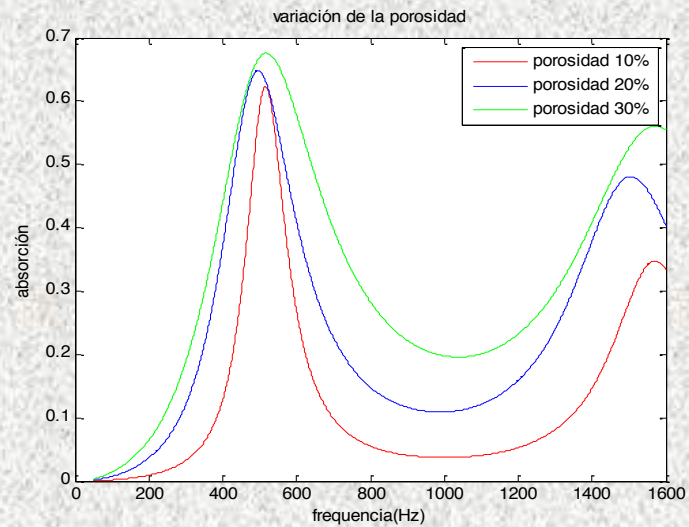
Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental



# Absorción acústica

## Equipos y parámetros

### La porosidad



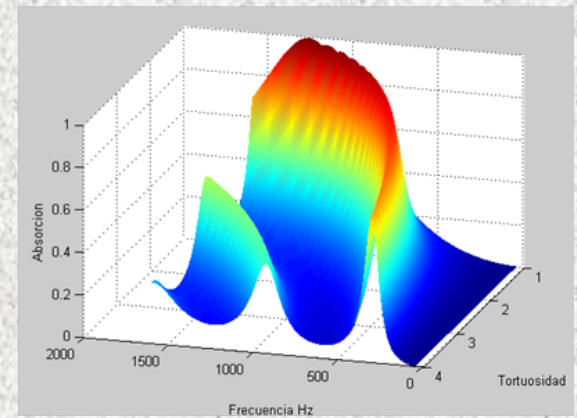
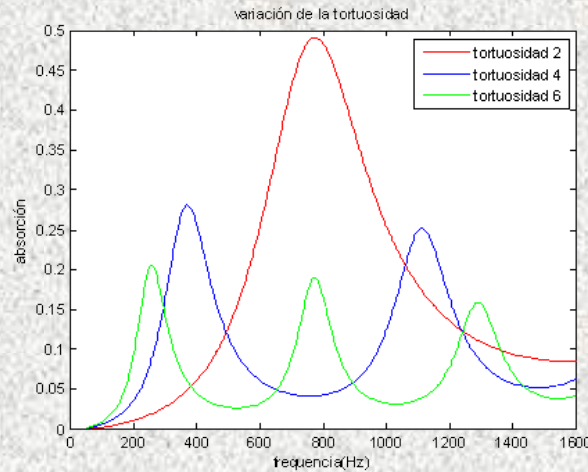
Relación entre el volumen de aire contenido en las cavidades del mismo y el volumen total considerado.



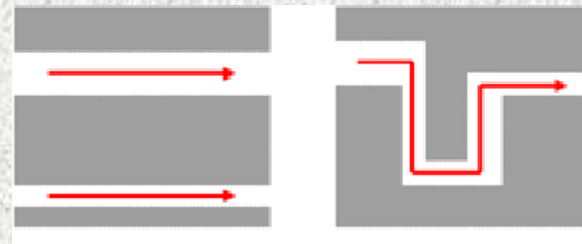
# Absorción acústica

## Equipos y parámetros

### La tortuosidad



Cociente entre el camino real y el camino directo entre dos puntos de una muestra, es ratio es siempre superior a 1. Esta directamente relacionado con la forma de los poros y la variación de su sección recta a lo largo de su longitud, así como con la existencia de ramificaciones colaterales.



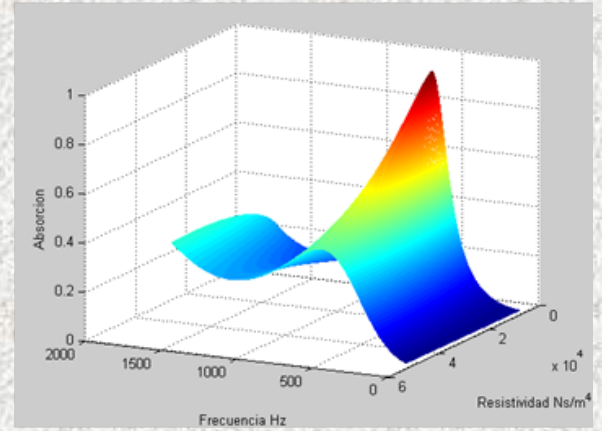
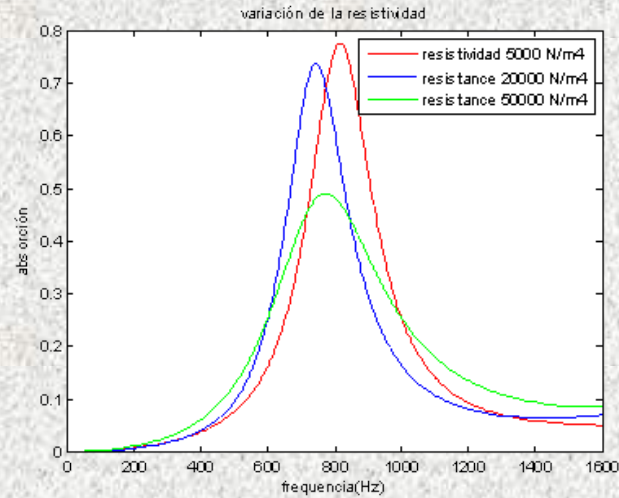
Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental



# Absorción acústica

## Equipos y parámetros

### La resistividad



Un compresor proporciona un flujo de aire directamente en la muestra.

La diferencia de presión, entre ambos lados de la muestra (presión ejercida por el flujo de aire y presión atmosférica) y el flujo de aire proporcionado por el compresor, es la resistividad.





# Absorción acústica

## Modelización

Absorción acústica depende de parámetros intrínsecos de la mezcla: **porosidad, tortuosidad y resistividad.**

Parámetros ligados al **diseño de la mezcla** que depende de la granulometría, el porcentaje de betún y el tipo de mezcla.

Determinar parámetros, por el **método inverso** para probetas porosas.

Se puede decidir la **absorción óptima** con un diseño óptimo: a que frecuencia la absorción acústica será mayor.

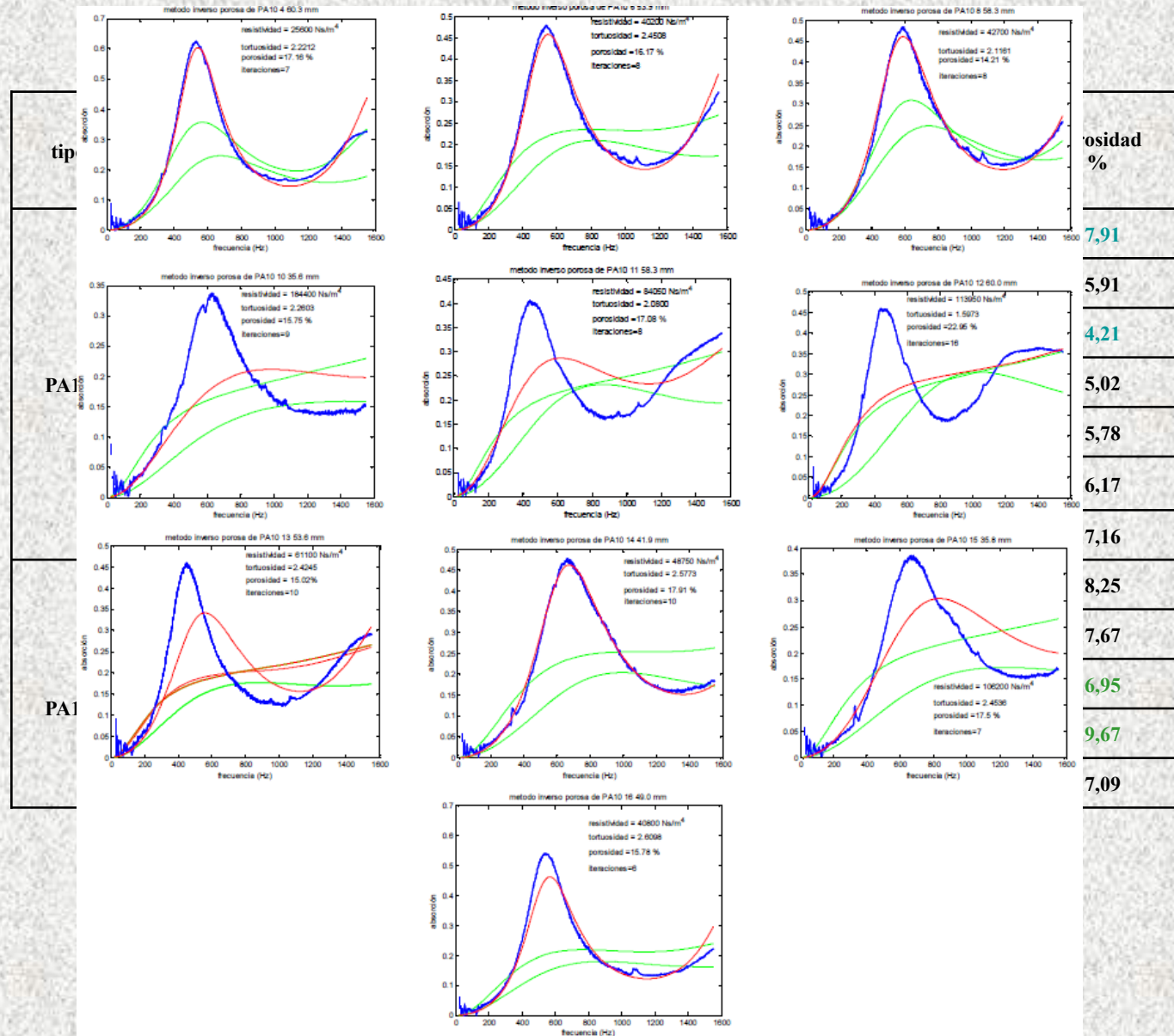
### Método fenomenológico

$$Z_c = \frac{\rho_0 c T}{\Omega} F_{\mu}^{\frac{1}{2}}(R_s) \left[ \gamma - \frac{\gamma - 1}{F_{\theta}(R_s)} \right]^{\frac{-1}{2}}$$



# Absorción acústica

## Modelización



Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental



Introducción

Índice

Textura superficial

Fundamentos

Equipos y parámetros

Equipos

Propósito del LA<sup>2</sup>IC

**Absorción acústica**

Fundamentos

Equipos y parámetros

Absorción simulada

**Propósito del LA<sup>2</sup>IC**

# Absorción acústica

## Propósitos del LA<sup>2</sup>IC

- Afinar el modelo existente y calcular los parámetros inversos obteniendo los parámetros intrínsecos en función de la absorción.
- Los parámetros intrínsecos a su vez están relacionado con la granulometría, el contenido en betún...
- Modelizar un modelo de absorción sonora para pavimento doble capa.
- Obtener los parámetros intrínsecos para ese tipo de pavimento.



Muchas gracias por su atención

Jornada  
Mezclas Bituminosas Sono-Reductoras  
12 de Abril de 2011

# ***Optimización de la textura superficial y absorción sonora de mezclas para reducir el ruido ambiental***

Presentado por:  
**Jeanne Luong Segarel**

**IP: Santiago Expósito Paje**

E.T.S.I. de Caminos Canales y Puertos  
Departamento de Física Aplicada  
**Laboratorio de Acústica Aplicada a la Ingeniería Civil**

