

## MESURA DE VELOCITATS PER EFECTE DOPPLER

L'efecte Doppler és un fenomen ondulatori, que s'experimenta quan emissor i/o receptor es troben en moviment, i en el qual una ona emesa amb una certa freqüència  $f$  és captada amb una altra freqüència  $f'$ , en general diferent de  $f$ .

Aquest efecte es percep fàcilment en ones sonores quan s'escolta el xiulet d'un tren en moviment. Pel que fa a les ones electromagnètiques, val a dir que presenten una diferència important respecte a les sonores, ja que aquestes es propaguen en un medi que es considera en repòs mentre que en les electromagnètiques aquest medi en repòs no existeix.

En el buit, la propagació es fa a una velocitat constant,  $c$ , que és la mateixa per a tots els sistemes de referència inercials. El tractament matemàtic del fenomen<sup>1</sup> indica que la freqüència  $f'$  captada pel receptor i la freqüència  $f$  emesa estan relacionades per:

$$f' = \frac{\sqrt{1+V/c}}{\sqrt{1-V/c}} \cdot f, \quad (1)$$

on  $V$  és la velocitat d'atansament entre emissor i receptor. En el cas que s'estigui allunyant, cal substituir  $V$  per  $(-V)$  en l'expressió (1).

### *Determinació de velocitats*

El procediment que s'utilitza a la pràctica per a la mesura de velocitats per efecte Doppler segueix l'esquema següent:

- Les ones electromagnètiques, de freqüència  $f$ , es dirigeixen cap a l'objecte en moviment.
- L'objecte en qüestió rep el senyal amb una freqüència  $f'$  donada per (1), i part del senyal rebut és reflectit i torna cap a l'emissor.
- L'antena emissora actua com a receptora, i capta el senyal reflectit, que presenta una freqüència  $f''$ , resultat d'aplicar l'expressió (1) a  $f'$ .
- El senyal de freqüència  $f''$  es combina amb el senyal original, de freqüència  $f$ , i dóna lloc a pulsacions,<sup>2</sup> la freqüència de les quals és

$$f_p = |f'' - f|. \quad (2)$$

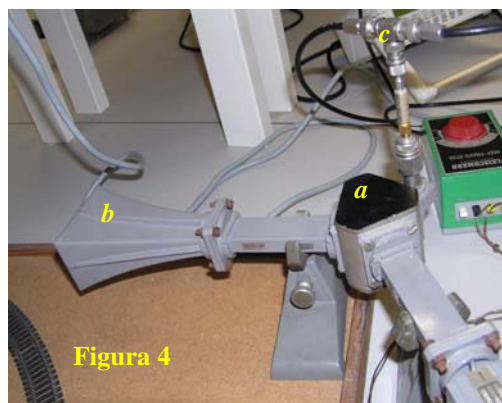
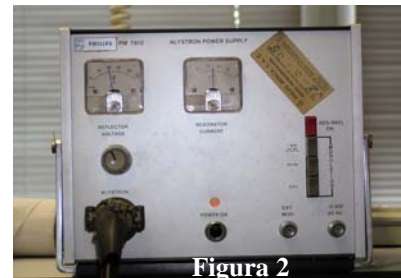
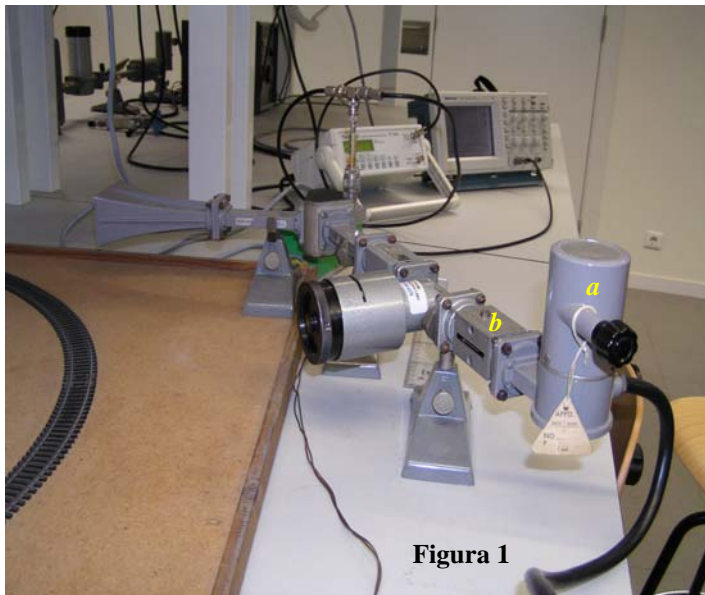
Així doncs, la velocitat del mòbil es pot determinar a partir de (1) i (2) i, si  $V \ll c$ , resulta:

$$V = \frac{f_p c}{2f}. \quad (3)$$

## 1. Dispositiu experimental

El dispositiu experimental consta bàsicament de:

- Generador de microones. En el nostre cas un clístró de reflex (*a* en la figura 1).
- Font d'alimentació del generador (fins a 250 V i 50 mA) (figura 2).
- Element aïllador de ferrita (*b* en la fig.1). Té la missió d'evitar que les microones retornin al generador.
- Cavitat ressonant per a la mesura de la freqüència (freqüencímetre) (fig.3).
- Circulador de tres entrades (*a* en la fig.4). La característica pròpia d'aquest dispositiu és que l'ona que s'aplica a una de les boques surt majoritàriament per la boca situada correlativament en el sentit de la fletxa, mentre que només una part petita va a parar a la tercera boca. El disseny simètric del circulador fa que això s'apliqui a qualsevol de les tres entrades.
- Antena (*b* en la fig.4). En aquest muntatge actua alhora com a emissora i receptora.
- Detector (*c* en la fig.4). La tensió contínua entre els borns és proporcional a l'amplitud de l'ona.
- Un oscil·loscopi digital que enregistra el senyal procedent del detector (fig.5).
- Un freqüencímetre de baixa freqüència (fig.5).
- Cronòmetre de mà (fig.6).
- Trenet elèctric (figures 6 i 7). Incorpora una pantalla conductora que n'augmenta la reflectivitat.



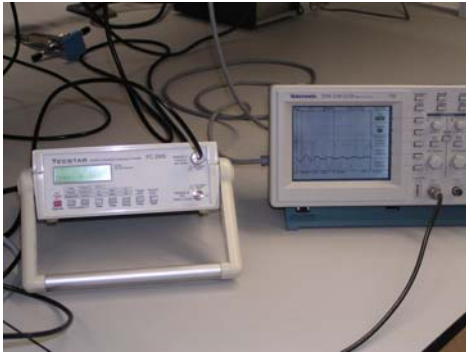


Figura 5

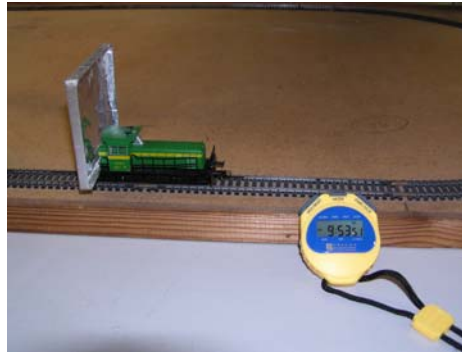


Figura 6

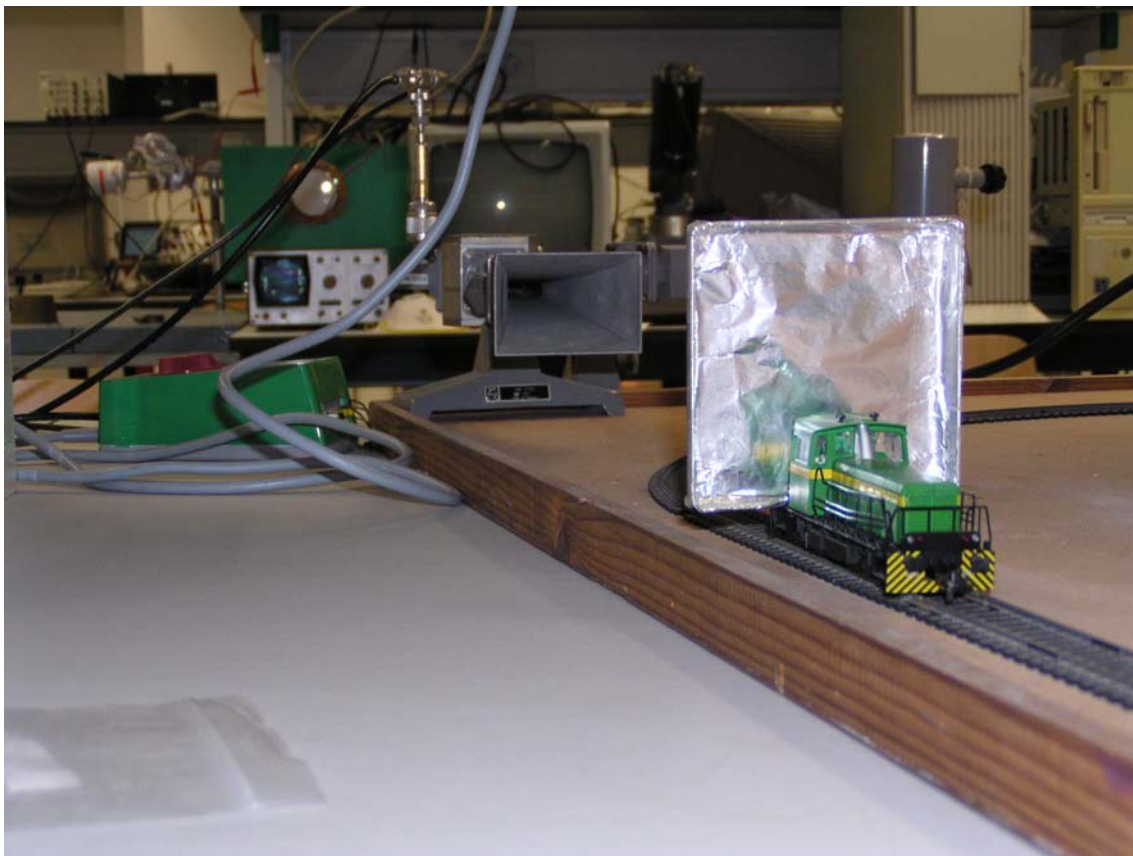


Figura 7

## 2. Procediment experimental

### *Ajust inicial*

- 2.1. Per tal de poder visualitzar el senyal provinent del detector cal que connectem l'oscil·loscopi i el freqüencímetre de baixa freqüència (figura 5).
- 2.2. Aleshores, connectem l'alimentació del generador de microones (fig. 2).
- 2.3. Assegureu-vos que el generador està oscil·lant i que, per tant, l'oscil·loscopi detecta un màxim de tensió contínua (en aquest cas uns 100 mV negatius). Si no fos el cas, podreu variar el potencial del reflector del clistró fins que això es

produeixi. Un cop el generador està oscil·lant, espereu uns 10 min per tal d'estabilitzar el generador d'ones.

### *Mesura de la freqüència de les microones*

- 2.4. La mesura de la freqüència s'efectua variant lentament la sintonia (cavitat ressonant) del freqüencímetre de microones (figura 3) mentre s'observa la pantalla de l'oscil·loscopi.
- 2.5. Quan coincideixen les freqüències del generador i la de la cavitat ressonant del freqüencímetre, aquest absorbeix part del senyal i en resulta una disminució del valor absolut de la tensió que detecta l'oscil·loscopi.
- 2.6. Cal anotar, aleshores, el valor,  $f$  (MHz), que assenyalava el freqüencímetre.

### *Observació de les pulsacions*

- 2.7. L'efecte Doppler es manifesta a través de les pulsacions de molt baixa freqüència captades pel detector, que apareixen en superposar dues ones de freqüències molt semblants. Si engegueu el trenet podreu observar que, quan aquest passa pel tram de via que està alineat amb l'antena, l'oscil·loscopi enregistra tot un seguit d'oscil·lacions. Es recomana que selecciona una base de temps de 10 a 25 ms per tal d'obtenir una bona imatge en la pantalla (figura 8).

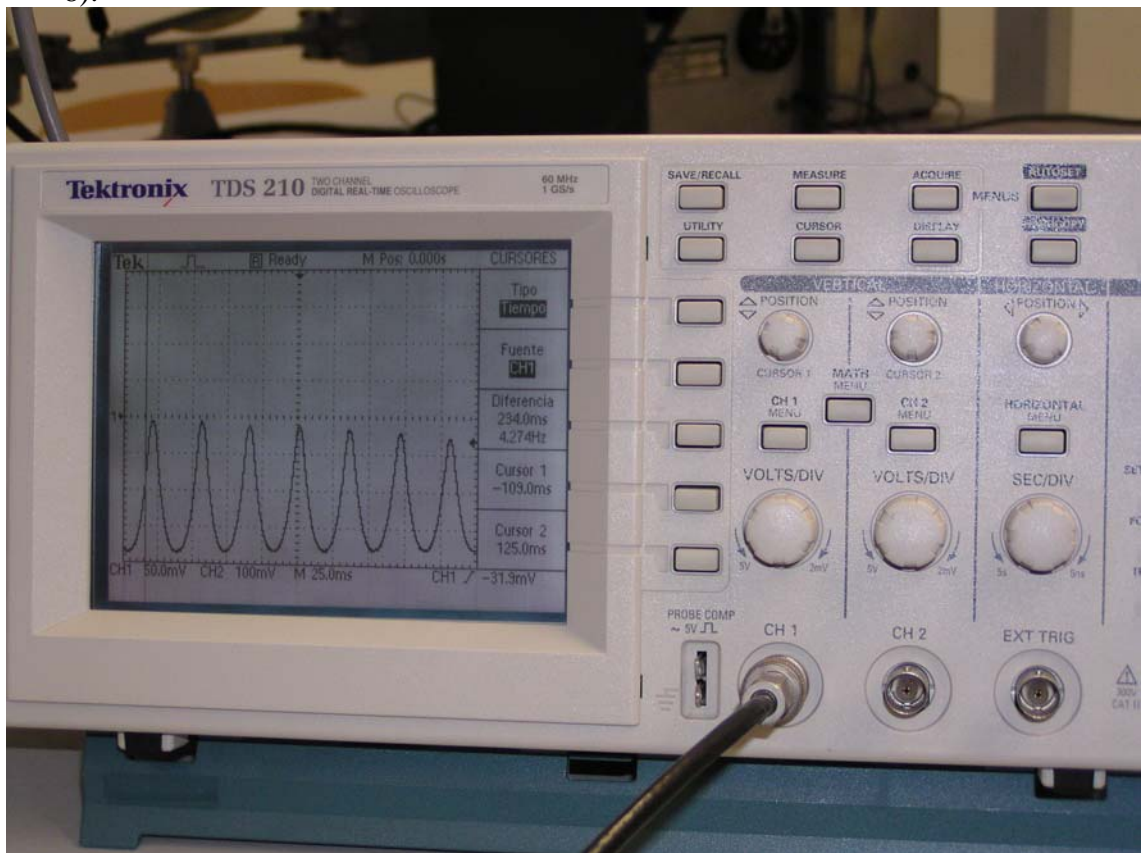


Figura 8

*Mesura de  $f_p$*

- 2.8. Per tal d'efectuar mesures cal fixar una de les pantalles de l'oscil·loscopi. Es recomana utilitzar els cursors per a determinar la distància temporal entre dos màxims, que és justament l'invers de  $f_p$ .
- 2.9. Podreu comprovar la mesura de la freqüència en el freqüencímetre (figura 5).
- 2.10. Tanmateix, podreu optimitzar la mesura si anoteu una taula de temps,  $t$ , en funció de l'ordre,  $n$ , del màxim, fent que  $n = 0$  i que  $t = 0$  correspongui al primer màxim de l'esquerra. La representació gràfica  $n(t)$  ha de resultar lineal si la velocitat del mòbil és uniforme, amb un pendent igual a  $f_p$ .

#### *Determinació de la velocitat, V*

- 2.11. A partir de  $f_p$  podreu determinar la velocitat del tren si utilitzeu l'expressió (3).
- 2.12. Podreu determinar també la velocitat del tren amb el cronòmetre (figura 6), si mesureu el temps que tarda en recórrer els 87,5 cm que separen dues marques dibuixades arran de via.
- 2.13. Finalment, podreu contrastar els resultats obtinguts amb els dos mètodes.

### **3. Elaboració del informe**

- Presenteu un resum (½ pàgina) de la totalitat de la pràctica (fonament, dispositiu i procediment experimental, i resultats).
  - Deduïu l'expressió (3).
  - Presenteu una gràfica  $n(t)$  i la seva corresponent regressió lineal.
- Presenteu una taula amb diverses velocitats del tren, cadascuna mesurada amb els dos procediments descrits en l'apartat *Determinació de la velocitat* de la secció 2.
- Feu una breu valoració dels dos procediments emprats en la determinació de la velocitat.
  - Feu un dibuix aproximat del que s'observaria en la pantalla de l'oscil·loscopi si la velocitat del trenet no fos uniforme, és a dir, si durant la mesura de la velocitat estigués experimentant una acceleració apreciable.

### **4 Referències bibliogràfiques**

- <sup>1</sup> TIPLER, Paul A., *Física*, Barcelona, 1994, vol. 2, pàg. 1118.
- <sup>2</sup> TIPLER, Paul A., *Física*, Barcelona, 1994, vol. 1, pàg. 452.