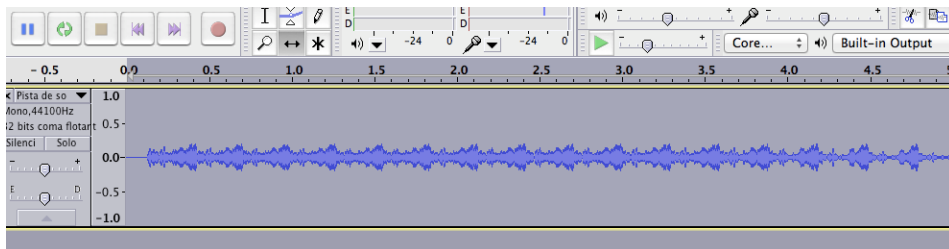


Soluciones

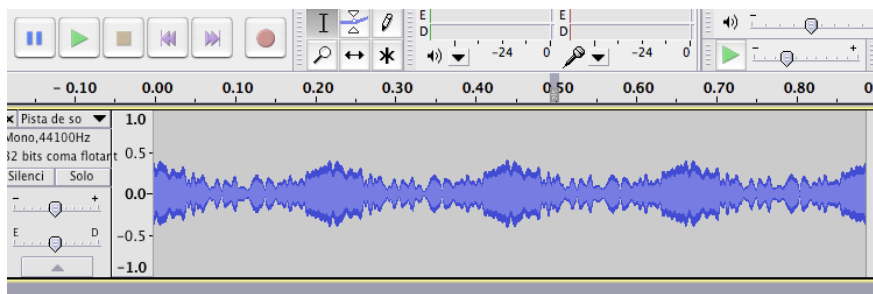
Amb el programari Audacity captureu el so del vídeo: comenceu la gravació del so intern de l'ordinador i posteriorment engegueu la reproducció del vídeo.

Elimineu els intervals sonors que no us interessin: inici i final de la gravació.

Observeu el so amb detall, augmentant l'eix temporal amb la lupa +, per observar les repeticions causades per la rotació.



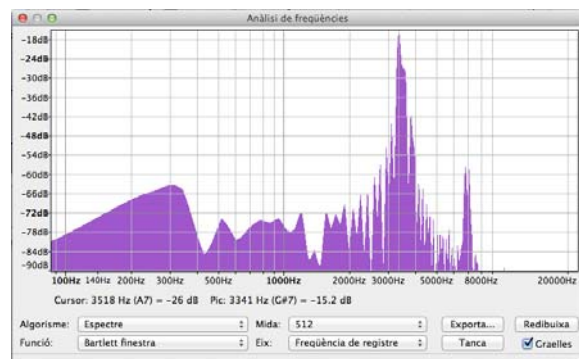
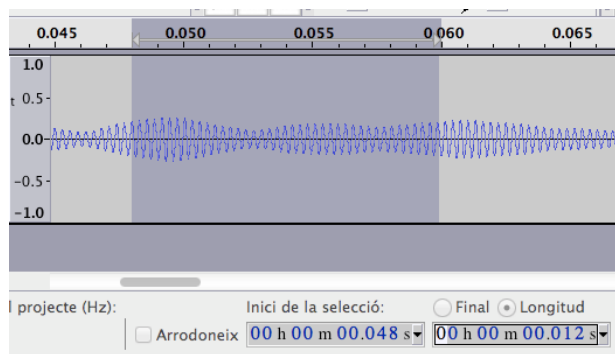
Retalleu el so corresponent a quatre o cinc períodes de rotació.



Mesureu aleshores el període de rotació.

888 ms correspon a 4 períodes
 $T = 888 \text{ ms} / 4 = 222 \text{ ms}$

Dividiu els períodes de rotació en una dotzena o quinzena d'intervals cadascun, aneu-los seleccionant consecutivament i obteniu per a cadascun la freqüència fonamental del so (Analitza // Traça l'espectre).



Podeu emplenar una taula d'un full de càlcul amb els valors obtinguts com ara:

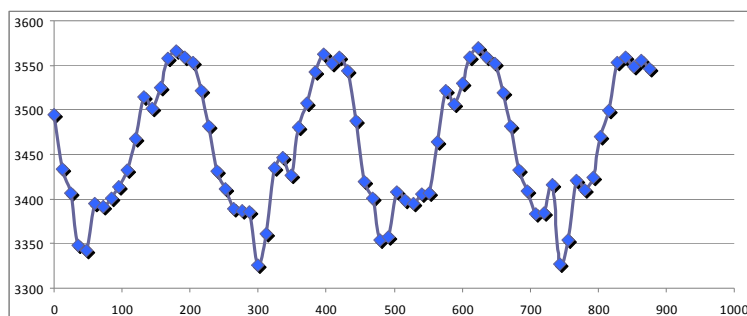
Interval	Freqüència fonamental
(ms)	(Hz)

0	3495
12	3434
24	3407
36	3348
48	3342
60	3395
72	3391
84	3401
96	3414
108	3432
...	...

I tot seguit representeu gràficament els valors amb un **full de càlcul**.

- Quin tipus de gràfica s'intueix?

S'observa clarament una tendència sinusoidal.



- Expliqueu el perquè de la forma gràfica que observeu i la seva relació amb l'efecte Doppler.

S'observa que el valor de la freqüència fonamental augmenta i disminueix al voltant del valor mitjà. En relació amb l'efecte Doppler, quan la freqüència augmenta indica que el focus emissor s'acosta a l'observador. En cas contrari, una disminució de la freqüència indica un allunyament del focus emissor respecte de l'observador.

- Obtingueu, de forma aproximada, els valors màxims i mínims de la gràfica, així com el valor mitjà.

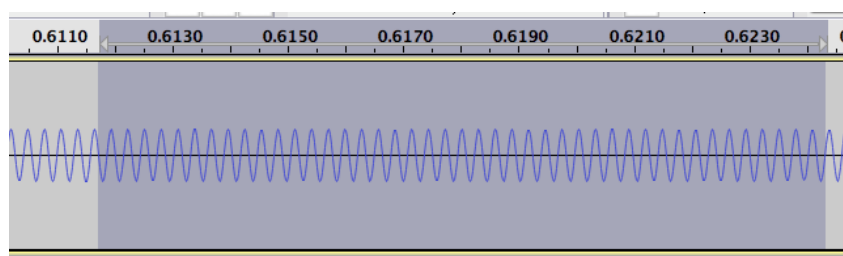
Observant la gràfica i de manera aproximada:

Màxim = 3.550 Hz

Mínim = 3.350 Hz

Mig = 3.450 Hz

Captureu ara el so del vídeo que heu gravat amb el brunzidor o mòbil quiet. Analitzeu-lo amb l'Audacity per obtenir la freqüència fonamental d'aquest so.



- ☑ La freqüència fonamental obtinguda és:

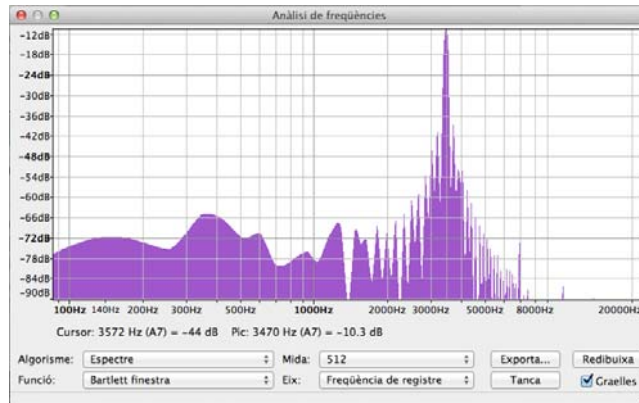
3470 Hz

- ☑ Sabent el període de rotació i el radi podeu calcular la velocitat del brunzidor.

$T = 0,222 \text{ s}$

$R = 34 \text{ cm}$

$v = 2 \cdot \pi \cdot R / T = 9,62 \text{ m/s}$



Podeu fer una cerca a Internet per contestar la pregunta següent.

- ☑ La fórmula que permet calcular les variacions de freqüències per l'efecte Doppler és:

$$f' = f \cdot \left(\frac{v \pm v_o}{v \mp v_s} \right)$$

*La fórmula és extreta de la Wikipedia en castellà:
http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Doppler*

On

v: velocitat del so

v_o: velocitat de l'observador (zero, en el nostre cas)

v_s: velocitat de l'emissor

f: freqüència de l'emissor en repòs

f': freqüència aparent observada

Calculeu ara les freqüències teòriques esperades en el punt de màxima velocitat d'apropament i d'allunyament del brunzidor o del mòbil.

- ☑ Freqüència quan s'allunya:
 $f' = 3.450 \text{ Hz} \cdot 340 \text{ m/s} / (340 \text{ m/s} + 9,62 \text{ m/s}) = 3.355 \text{ Hz}$
- ☑ Freqüència quan s'acosta:
 $f' = 3.450 \text{ Hz} \cdot 340 \text{ m/s} / (340 \text{ m/s} - 9,62 \text{ m/s}) = 3.550 \text{ Hz}$
- ☑ Feu un comentari global sobre els valors obtinguts i els valors esperats.

Els resultats obtinguts experimentalment (de forma gràfica i aproximada) concorden de manera sorprenent amb la predicció teòrica.

Ampliació: anàlisi gràfica

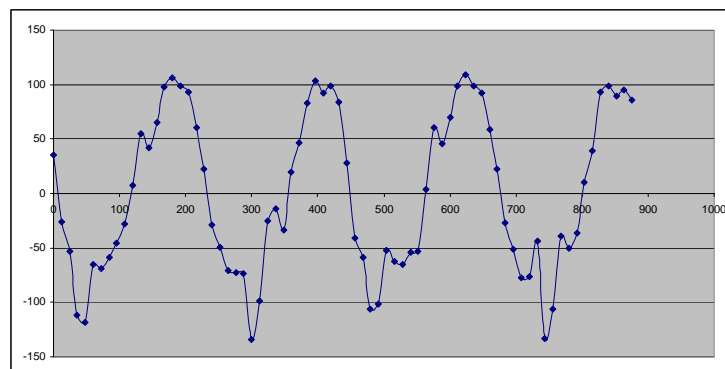
Podeu fer un pas més en l'experiència: buscar la funció matemàtica que més s'ajusti als valors experimentals per comprovar-ne la validesa.

Per fer-ho podeu utilitzar el programari CurveExpert Basic 1.4 (versió d'avaluació) que permet obtenir una regressió sinusoidal d'un conjunt de valors (com és el nostre cas). Podeu obtenir-lo a:

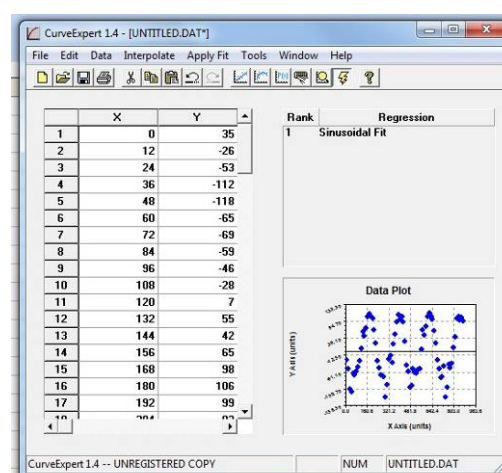
- <http://www.curveexpert.net/products/curveexpert-basic/>

Abans de fer-ho cal que, amb el **full de càlcul**, calculeu la mitjana de les freqüències obtingudes i obtingueu una nova columna amb la desviació de les freqüències respecte d'aquesta mitjana.

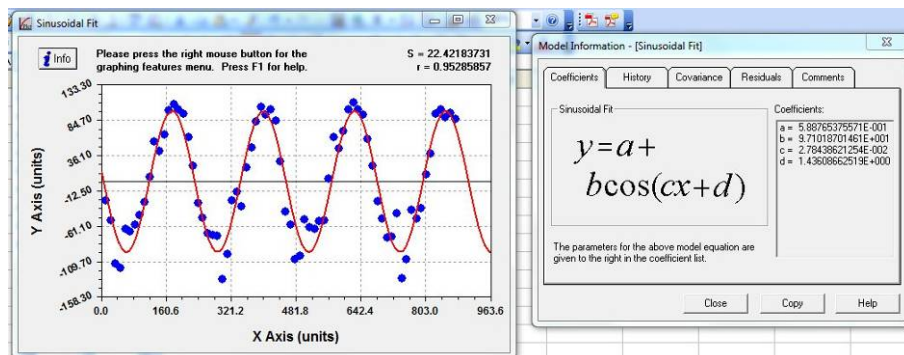
Interval (Hz)	Freqüència fonamental (Hz)	Freqüència mitjana (Hz)	Desviació (Hz)
		3460	
0	3495		35
12	3434		-26
24	3407		-53
36	3348		-112
48	3342		-118
60	3395		-65
72	3391		-69
84	3401		-59



En el programa CurveExpert Basic introduïu els valors de temps i de les desviacions.



Realitzeu seguidament l'anàlisi Apply Fit / Miscellaneous / Sinusoidal...



- ☑ Comenteu la funció obtinguda a partir de les dades experimentals i la seva relació amb les dades teòriques.

$$f' = 0,589 + 97,1 \cos(0,0278 \cdot t + 1,44)$$

Si tornem a sumar-hi la mitjana obtenim

$$f' = 3460,6 + 97,1 \cos(0,0278 \cdot t + 1,44)$$

Així doncs el valor màxim (el brunzidor s'acosta) de freqüència seria

$$f' = 3460,6 + 97,1 = 3.557,7 \text{ Hz}$$

I el valor mínim (el brunzidor s'allunya)

$$f' = 3460,6 - 97,1 = 3.363,5 \text{ Hz}$$

$$T = 2 \cdot \pi / \omega = 2 \cdot \pi / 0,0278 = 226 \text{ ms} = 0,226 \text{ s}$$

Dades que també concorden molt amb els valors esperats

- ☑ Calculeu l'error absolut i relatiu de les freqüències obtingudes.

Freqüència màxima

$$E_a = 3.557,7 \text{ Hz} - 3.550 \text{ Hz} = 7,7 \text{ Hz}$$

$$E_r = 7,7 \text{ Hz} / 3.550 \text{ Hz} = 0,0022 = 0,22 \%$$

Freqüència mínima

$$E_a = 3.363,5 \text{ Hz} - 3.355 \text{ Hz} = 8,5 \text{ Hz}$$

$$E_r = 8,5 \text{ Hz} / 3.355 \text{ Hz} = 0,0025 = 0,25 \%$$

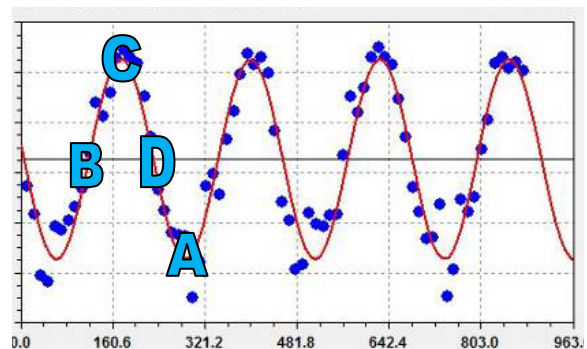
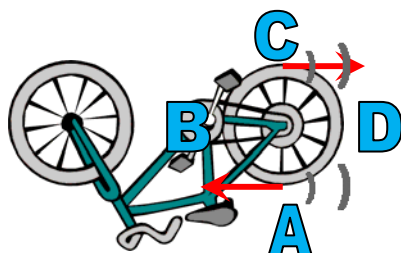
Qüestionari

- ☑ Podeu explicar la variació de l'amplitud de l'ona sonora al llarg d'un període?

L'amplitud varia per diferents motius. D'una banda, a causa de la variació de la distància respecte de la càmera i, de l'altra, a causa de les interferències del so amb les reflexions que fa en l'estructura de la bicicleta i en els objectes propers (parets, terra...).

- ☑ Relacioneu el moviment del brunzidor amb les dades experimentals.

Trieu un període del gràfic experimental i situeu les lletres A, B, C i D en el lloc més probable.



La freqüència més alta s'aconsegueix quan la component x de la velocitat del brunzidor té un valor positiu i és més gran: posició C que correspon a la cresta del gràfic.

La freqüència més baixa s'aconsegueix quan la component x de la velocitat del brunzidor té un valor negatiu i és més gran: posició A que correspon a la vall del gràfic.

- Què passaria amb la freqüència si en comptes d'enregistrar el so alineats amb la bicicleta ho féssim alineats amb l'eix de gir de la roda?

Si ens situem alineats amb l'eix, el brunzidor pràcticament no s'allunya ni s'acosta i, en aquest cas, no es produeix l'efecte Doppler. La freqüència no variaria.

- Podeu proposar altres experiments per comprovar l'efecte Doppler?

Es podria realitzar amb l'ajut d'un cotxe que circulés a una velocitat constant en una carretera recta mentre toca el clàxon. Una persona hauria de gravar el cotxe mentre s'apropa i s'allunya. Dins del cotxe una persona ha de mesurar la velocitat amb l'ajut d'un navegador amb GPS o d'un telèfon intel·ligent amb una aplicació adequada (el velocímetre dels cotxes sempre tenen errors importants).

Una altra experiència que pot ser interessant: deixar oscil·lar (moviment harmònic) el brunzidor lligat a una molla llarga.

I encara una tercera: deixar caure lliurement el brunzidor durant alguns segons des d'un segon o tercer pis, capturant el so des dalt. Cal preveure la possibilitat que el brunzidor en acabar deixi de funcionar!

- Esmenteu algunes aplicacions que té l'efecte Doppler en la vida quotidiana.

El radar, les ecocardiografies, mesures de distàncies en astrofísica, els ratpenats per evitar col·lisionar...