

DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DE LA VELOCITAT DEL SO

Marina Calucho Palma
Professor: Anicet Cusialls
Física 2n de Batxillerat

Maig del 2004

ÍNDIX

1- Introducció	pag 3
2- Plantejament del problema	pag 4
3- Metodologia	pag 5
3.1- Coneixements previs	pag 5
3.1.1- El moviment ondulatori	pag 5
3.1.2- Manifestacions de moviment ondulatori	pag 10
3.2- Disseny experimental	pag 12
3.2.1- Procediment	pag 12
3.2.2- Material i utilitatge	pag 19
4- Resultats obtinguts, anàlisi i discussió	pag 20
5- Conclusions	pag 25
6- Bibliografia	pag 26

1- INTRODUCCIÓ

Abstract: In this assignment I will analyse one of the most important movement in this world: the movement which causes the waves. The waves are shown every day in our life, for example: radios, televisions, in the sea etc..

Firstly, I will introduce this movement, and then, I will solve some problems like the sound's speed or the frequency of some instruments.

La física és una assignatura molt important en la nostra vida quotidiana. De fet, la majoria de fets que succeeixen al nostre voltant hi tenen a veure. En aquest treball ho podem demostrar.

En la natura hi ha un conjunt de moviments molt importants, anomenats **moviments ondulatoris**, en els quals no hi ha un transport net de matèria, sinó només de quantitat de moviment i d'energia.

El que pretenem és estudiar les freqüències de diversos instruments i la velocitat del so a partir d'aquests. Les ones són presents a molts llocs. Si no, com veuríem la televisió o escoltaríem la radio? O, com és que quan llencem una pedra a un bassal d'aigua es formen ones al voltant d'aquesta? Quines diferències hi ha entre les ones que es formen en un tub obert o en un tub tancat?

Aquestes i d'altres preguntes són les que resoldrem més endavant.

2- PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA

L'objectiu principal d'aquest treball és l'estudi de la velocitat del so i de les freqüències en diversos instruments. Per a poder realitzar-ho, ens valdrem d'un programa especialitzat en ones, el *Cool Edit Pro*, i dels instruments esmentats anteriorment.

Els dubtes que ens hem plantejat i que posteriorment resoldrem són els següents:

- ✎ Quina és la velocitat del so obtinguda a partir de la freqüència de ressonància d'un tub d'assaig?
- ✎ Quina és la freqüència de vibració del so emès per un diapasó?
- ✎ Quins són els harmònics del so emès per una flauta quan emet la nota "la"?
- ✎ Quins són els harmònics del so emès per una guitarra quan emet la nota "la"?
- ✎ Quina és la velocitat del so obtinguda a partir de la freqüència de ressonància d'un tub obert pels dos extrems?

3- METODOLOGIA

3.1- CONEIXEMENTS PREVIS

3.1.1- El moviment ondulatori

Fins ara hem estat estudiant, bàsicament, dos tipus de moviments diferenciats:

- Per una banda, aquells en els que el mòbil es desplaça sobre una superfície extensa a l'espai, com els moviments rectilinis i els parabòlics. En aquests hi ha un desplaçament net de matèria, de quantitat de moviment i d'energia.
- Per una altra banda, un segon moviment on també hi ha un transport net de matèria, però aquest queda en una regió de l'espai. Dos exemples en són el moviment circular i el moviment oscil·latori.

Ara, però, ens basarem en un altre tipus de moviment on no hi ha transport net de matèria, sinó només de quantitat de moviment i d'energia: es tracta del **moviment ondulatori**.

El sistema de pèndols següent ens permetrà entendre com hi pot haver transmissió d'energia sense desplaçament de matèria:

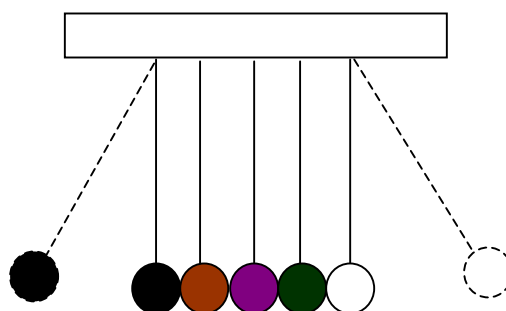


Figura 1

Si deixem anar la primera bola (que és la que està en cursiva) per tal que adquireixi una certa energia potencial, aquesta energia es transformarà en energia cinètica que s'anirà transmetent fins a la última bola, sense que les intermèdies es moguin.

Així, direm que la quantitat de moviment i l'energia en un moviment ondulatori es transmeten mitjançant **ones de propagació**. N'és un bon exemple les ones que es propaguen a l'aigua quan tirem una pedra a un llac. En general podem descriure dos tipus d'ones.

- ✓ Ones transversals: Són aquelles ones en les quals la direcció de vibració és perpendicular a la direcció de propagació. Per exemple, les ones que es transmeten en moure una corda.

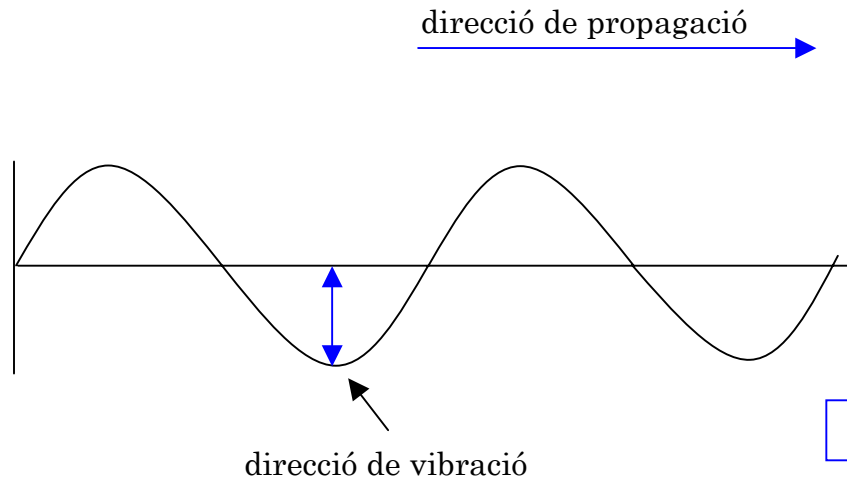


Figura 2

En les ones transversals hi podem diferenciar les **ones electromagnètiques**, com poden ser les ones de radio, del microones, la radiació infraroja (IR), UV, raig X, raig γ ... totes elles es propaguen a la velocitat de la llum (340 m/s).

- ✓ Ones longitudinals: Són aquelles ones en les quals la direcció de vibració coincideix amb la direcció de propagació. Dos exemples poden ser el so i les ones produïdes en una molla.

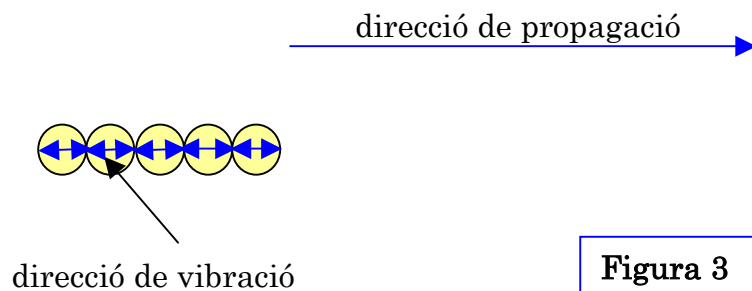


Figura 3

Les ones, a més a més tenen una sèrie de **característiques** comunes. Són les següents:

- ✓ Amplitud (A) (m)
- ✓ Longitud d'ona (λ): distància entre dos punts consecutius que presenten el mateix estat de vibració (m).
- ✓ Període (T): Temps que triga una ona en recórrer una longitud d'ona (s).
- ✓ Freqüència (f): nombre de longituds d'ona que ha recorregut en un segon (Hz)

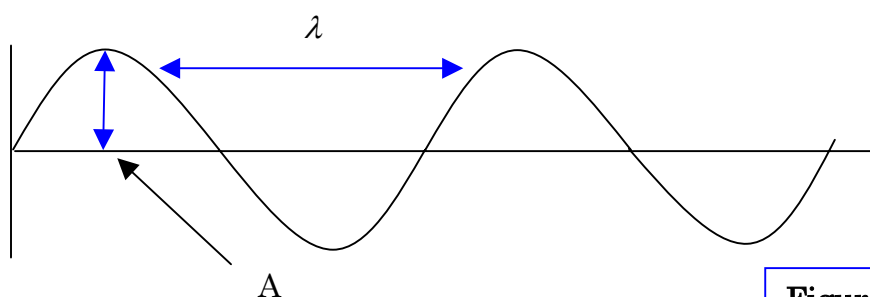


Figura 4

- ✓ Velocitat de propagació: $\frac{\text{espai}}{\text{temps}} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f \Rightarrow$

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

Darrera d'una ona sempre hi haurà un moviment harmònic simple.

Quan una partícula d'un medi elàstic realitza un moviment harmònic simple, aquest es va transmetent als altres punts . En el medi es propaga una ona, que rep el nom d'**ona harmònica**.

L'equació d'una ona és la següent:

$$y = A \sin(\omega t - kx)$$

Les components de l'equació són:

- ✓ Elongació (y) (m).
- ✓ Amplitud (A) (m).
- ✓ Freqüència angular $\left(\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \right)$ (rad/s)
- ✓ Nombre d'ona (k) $\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)$

✓ Fase ($\omega t - kx$) (rad)

Hi ha una altra manera d'escriure l'equació d'una ona,

$$y = A \sin(\omega t - kx) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right) \Rightarrow \boxed{A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)}$$

on el signe negatiu ens indica que es dirigeix cap a la dreta.

A més, a través d'aquesta fórmula també podem calcular la velocitat i acceleració màximes:

$$\boxed{Aw \cos(\omega t - kx)} \quad \text{on tot el cosinus es substitueix per 1.}$$

$$\boxed{-Aw^2 \sin(\omega t - kx)} \quad \text{on el sinus es substitueix per -1.}$$

Un altre fenomen important en ones són les **ones estacionàries**.

Aquest tipus d'ones es dona quan es produeix una interferència entre dues o més ones sinusoidals que es propaguen en sentits oposats i tenen el mateix període i amplitud.

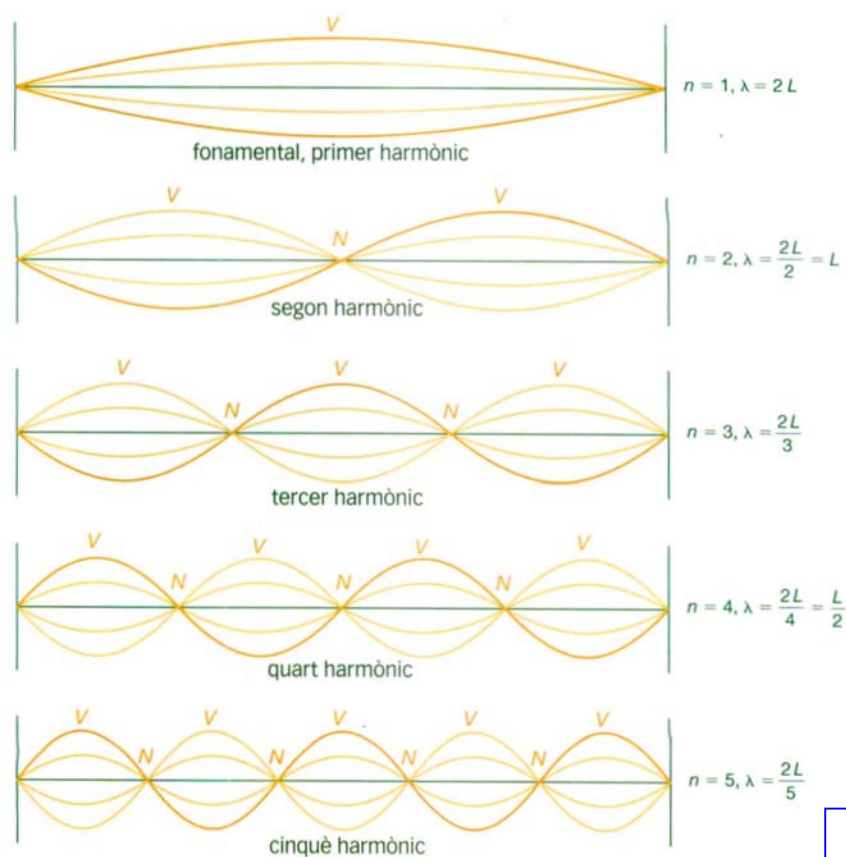


Figura 5

El quadre anterior ens mostra els diferents harmònics (maneres de vibrar) d'una ona, en aquest cas en podem veure cinc. Observem també els punts d'amplitud nul·la (nodes) i els punts d'amplitud màxima (ventres). Per a calcular la longitud de la corda tenim la formula següent:

$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad \text{on } n \text{ són el nombre de fusos que hi ha.}$$

Segons la longitud de la corda i de la tensió, la freqüència de les ones serà més gran o més petita. Si la tensió és elevada, la velocitat de propagació de les ones (de fase) serà més gran, llavors la freqüència serà més gran i el so més agut. Si la longitud de la corda és més gran, la λ també serà gran. Llavors la freqüència serà petita i el so greu.

Podem visualitzar els harmònics, per exemple, en un tub tancat per un extrem. Vegem-ne un exemple:

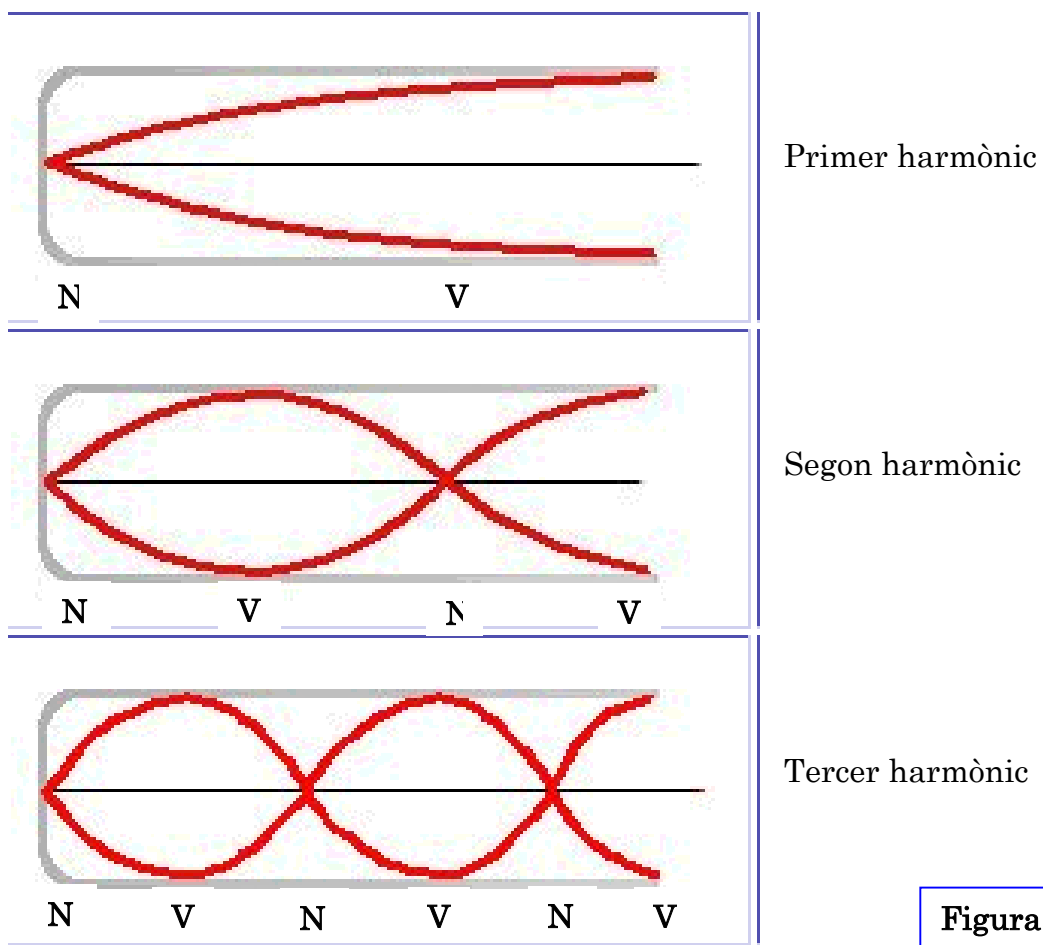


Figura 6

3.1.2- Manifestacions de moviment ondulatori

Tot el que hem esmentat anteriorment es pot donar a la vida quotidiana a través de diferents manifestacions.



A l'aigua, per exemple, es pot donar un moviment ondulatori. Si en aquest llac es llença una pedra, al voltant d'aquesta es crearan una sèrie d'ones.

Figura 7

Sense anar gaire lluny, a casa nostre tenim molts aparells que transmeten ones. Un clar exemple és el telèfon. És a través de les ones que ens és possible parlar amb gent que està a molta distància de nosaltres.

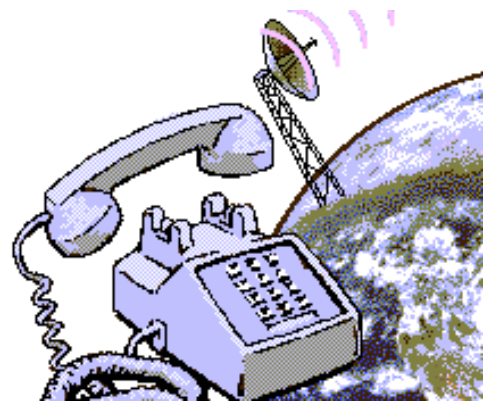
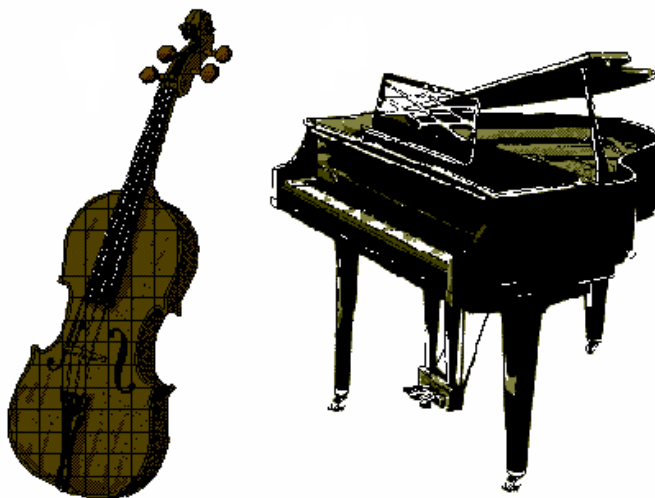
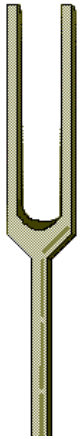


Figura 8



Un altre cas seria els dels instruments musicals. Aquí veiem un piano i un violí, els quals emeten ones.

Figura 9



Els diapasons (dels quals parlarem més endavant), també transmeten ones quan se'ls colpeja amb una barra.

Figura 10

En una corda també es dona el moviment ondulatori. Si l'agitem des de l'extrem de la dreta, es formarà una ona (on s'indica la fletxa). Si ho continuem fent, podem arribar a visualitzar els harmònics.

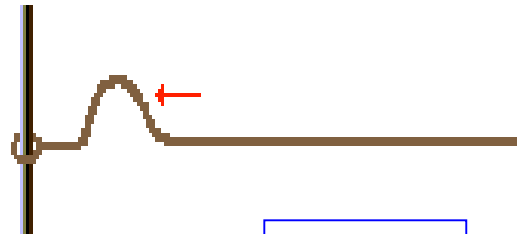


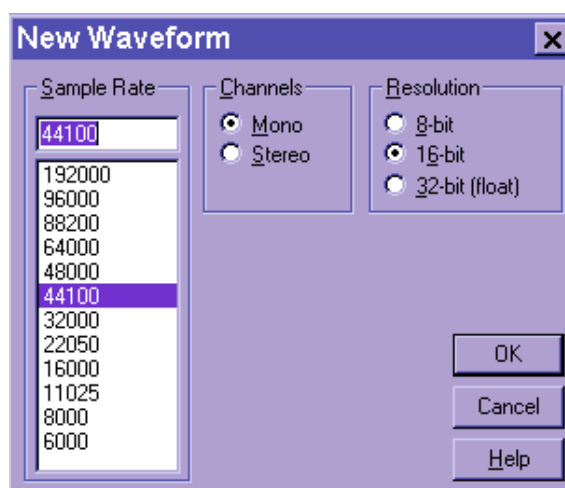
Figura 11

3.2- DISSENY EXPERIMENTAL

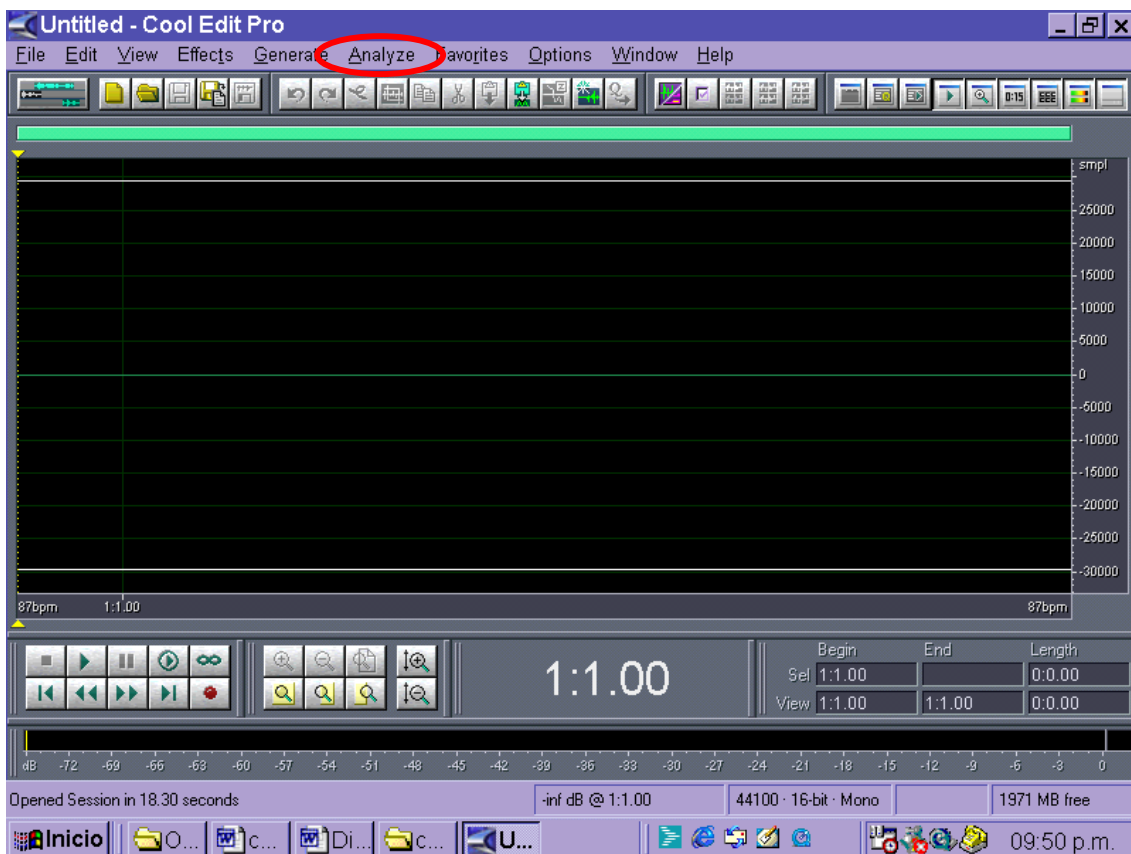
3.2.1- Procediment

Per a poder realitzar aquest treball i com ja hem dit anteriorment, hem utilitzat un programa anomenat *Cool Edit Pro*, amb el qual podem resoldre els dubtes plantejats com la velocitat del so i les freqüències d'una sèrie d'aparells. Per tal de poder fer servir aquest programa haurem de seguir els passos següents:

- ✓ Insertem el disc que conté el programa i entrem a la carpeta de MiPC.
- ✓ Cliquem a la unitat (E:).
- ✓ Entrem a la carpeta *Cool Edit Pro* i cliquem *Setup* per instal·lar el programa.
- ✓ Seguim els passos que se'ns indiquen fins arribar a l'opció *Keep Evaluating*.
- ✓ Una vegada dins, elegim *File* i obrim un nou arxiu (*New*). Se'ns obrirà un quadre (com el que podem veure a continuació). Tal i com indica, a *Sample Rate* posarem 44100 i a *Channels*, Mono.



- ✓ Quan acceptem, ja podrem començar a utilitzar el programa. A la pàgina següent veiem com és.



- ✓ Seguidament, ja podrem resoldre els problemes qüestionats. En tots ells, haurem de seleccionar *Analyze* (com està indicat) i trobarem l'opció *Show Frequency Analysis*, on obtindrem la **transformada de Fourier**, amb un quadre com el següent:

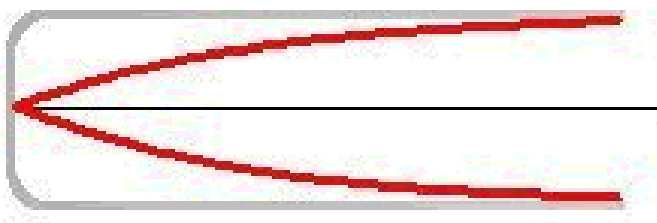


En aquest quadre és on apareixeran les freqüències corresponents.

Ara explicarem pas a pas com hem resolt tots els dubtes inicials.

✎ Quina és la velocitat del so obtinguda a partir de la freqüència de ressonància d'un tub d'assaig?

Un tub d'assaig és un tub obert únicament obert per un extrem, per tant el so es propagarà de manera diferent que en el cas que estigués obert pels dos extrems. Aquest problema igual que els que plantejarem a continuació els resoldrem a partir de la transformada de Fourier amb el suport del programari *Cool Edit Pro*.



Tal i com hem explicat abans aquest és el primer harmònic d'un tub obert per un extrem com és el cas del tub d'assaig.

- Primerament haurem de calcular la longitud del tub d'assaig. A partir d'aquesta dada podrem obtenir λ .



- Seguidament haurem d'enregistrar la freqüència de ressonància del tub al programa *Cool Edit Pro*. Per fer-ho haurem de bufar des d'una posició horitzontal per tal que l'aire ressoni a l'interior del tub, tal i com ens indica la imatge. Utilitzant el micròfon i

l'altaveu de l'ordinador aconseguirem gravar el so al programa.

- Una vegada enregistrat el so i mitjançant la transformada de Fourier, el *Cool Edit Pro* ens indicarà la freqüència de ressonància.

- Una vegada tenim la freqüència i la longitud d'ona ja podem calcular la velocitat del so.

Sabem que $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, i que en aquest cas particular l'espai és la longitud d'ona

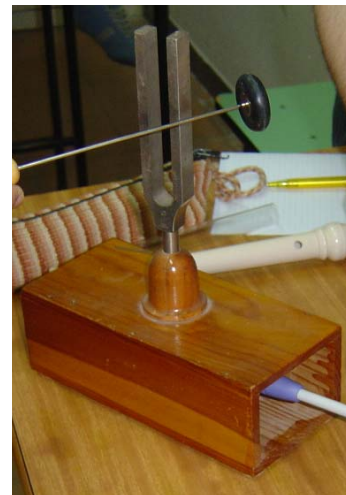
λ i el temps és el que triga la ona a recorre-la, és a dir, un període T .

Llavors, l'equació ens quedaria: $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$

Aquesta formula és la que haurem d'aplicar.

✎ Quina és la freqüència de vibració del so emès per un diapasó?

Un **diapasó** és un objecte en forma de U que vibra i fa un soroll especial quan se li dóna un cop. Es fa servir, per exemple, per afinar instruments musicals. En aquesta imatge en podem observar un, juntament amb aquest estri amb el qual se li dóna el cop per a que soni.



Un diapasó emet un so pur. Ho explica el fet que només tingui un harmònic. La seva freqüència de vibració es manté pels 440 Hz més o menys.



- Per a calcular-la, l'únic que hem de fer és donar el cop al diapasó mirant que el micròfon estigui a prop de l'aparell. Si ho hem fet bé, la freqüència que ens mostrarà la transformada de Fourier serà com hem dit de 440 Hz si fa o no fa.

✎ Quins són els harmònics del so emès per una flauta quan emet la nota “la”?

En aquesta pràctica calcularem 7 harmònics de la nota “la” emesa per una flauta dolça, també a partir de la transformada de Fourier.

El procediment a seguir és pràcticament el mateix que les vegades anteriors.

- A prop del micròfon tocarem un “la” amb la flauta per tal de gravar el so al programa de l'ordinador



- A l'apartat “Resultats obtinguts, anàlisi i discussió” d'aquest treball estudiarem els harmònics obtinguts.

✎ Quins són els harmònics del so emès per una guitarra quan emet la nota “la”?

En aquest cas la pràctica és molt semblant, únicament canviem l'instrument musical. Ara calcularem els harmònics en una guitarra també amb la nota “la”.

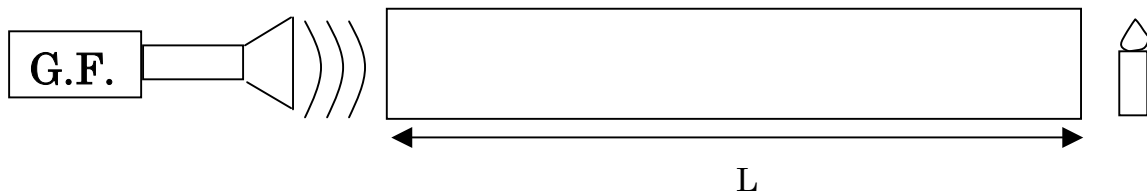
Els resultats també els veurem a “Resultats obtinguts, anàlisi i discussió”.

✎ Quina és la velocitat del so obtinguda a partir de la freqüència de ressonància d'un tub obert pels dos extrems?

En aquesta última activitat mesurarem la freqüència de ressonància d'un tub de cartró obert pels dos extrems a través d'un aparell anomenat **generador de funcions**.

La freqüència la mesurarem a partir d'un generador de freqüències connectat a un altaveu. Si la freqüència del tub coincideix amb la freqüència de vibració del tub estarem en ressonància. A l'altra banda del tub hi haurà un espelma, llavors, si això passa, s'apagarà.

Aquí en mostrem un esquema:



Aquí mostrem els elements necessaris que hem anomenat:



Generador de freqüències

Altaveu





Amplificador

En el cas d'aquest tub, la seva longitud és $\frac{\lambda}{2}$, per tant $\lambda = 2L$.

Com que en aquest cas el tub és de dimensions grans, utilitzarem una fórmula per calcular la **longitud efectiva**. És la següent:

$$L_{efectiva} = L_{tub} + 0'6.D$$

Llavors portarem el resultat a la fórmula $\lambda = 2L$. Una vegada tenim ja la longitud d'ona, podem calcular la velocitat del so.



Aquí podem veure com va quedar el muntatge per calcular la velocitat del so a partir d'un tub obert amb un altaveu en un extrem i una espelma a l'altre.

Una vegada teníem totes les dades, ens vam dedicar a fer els càlculs necessaris per assolir els nostres objectius.



3.2.2- Material i utilitatge

Per a poder realitzar aquest treball han estat necessaris diferents programes i estris. Són els següents:

- ✓ Cool Edit Pro: L'hem utilitzat per a calcular les freqüències de les diferents qüestions i per visualitzar la transformada de Fourier per a fer els càlculs necessaris.
- ✓ Microsoft Word: Programa essencial per a realitzar el treball, es a dir, resoldre els problemes i presentar les conclusions.
- ✓ Microsoft Office: Programa indispensable per a poder utilitzar l'editor d'equacions i resoldre els problemes.



Materials i estris

- ✓ Un ordinador i un micròfon
- ✓ Un tub d'assaig
- ✓ Un diapasó
- ✓ Una flauta dolça
- ✓ Una guitarra
- ✓ Un tub obert pels dos extrems
- ✓ Un generador de freqüències
- ✓ Un altaveu
- ✓ Un amplificador
- ✓ Una espelma

4- RESULTATS OBTINGUTS, ANÀLISI I DISCUSSIÓ

En aquest apartat resoldrem els dubtes inicials, tan matemàticament com gràficament.

✎ Quina és la velocitat del so obtinguda a partir de la freqüència de ressonància d'un tub d'assaig?

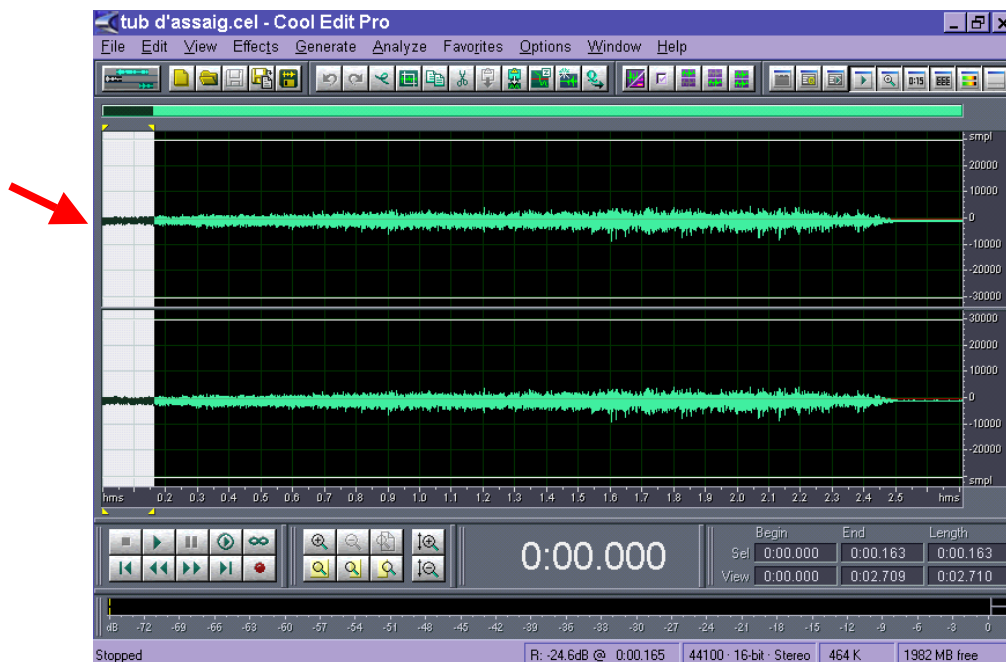
Primerament mesurarem la longitud del tub d'assaig. En aquest cas

$$L = 18\text{cm} \Rightarrow L = 0,18\text{ m}$$

En aquest tub, $\lambda = 4L$, per tant, multiplicarem la longitud per 4:

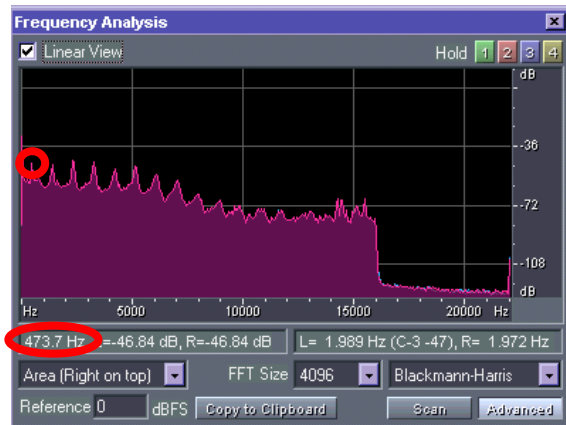
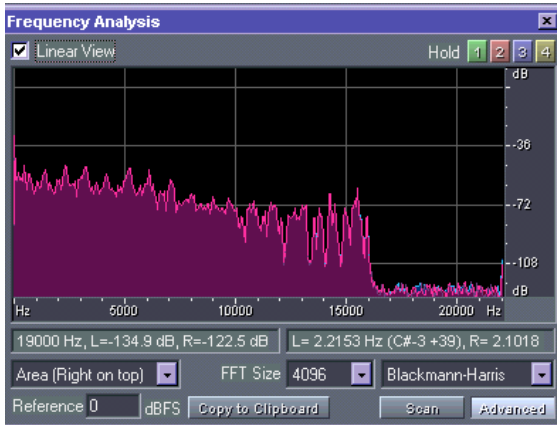
$$4 \times 0,18 = 0,72\text{m}, \text{ que és la longitud d'ona.}$$

Després de realitzar la pràctica que hem explicat al disseny experimental, podrem veure a l'ordinador la següent imatge:



Ara hem de seleccionar una part de la imatge (que és la franja blanca que està marcada).

Per a saber la freqüència, com hem dit abans, clicarem *Analyze* i *Show Frequency Analysis*, de manera que ens sortirà la transformada de Fourier.



La primera imatge és la que ens sortirà. Si premem *Scan* ens apareixerà la següent, on podem veure els pics més pronunciats.

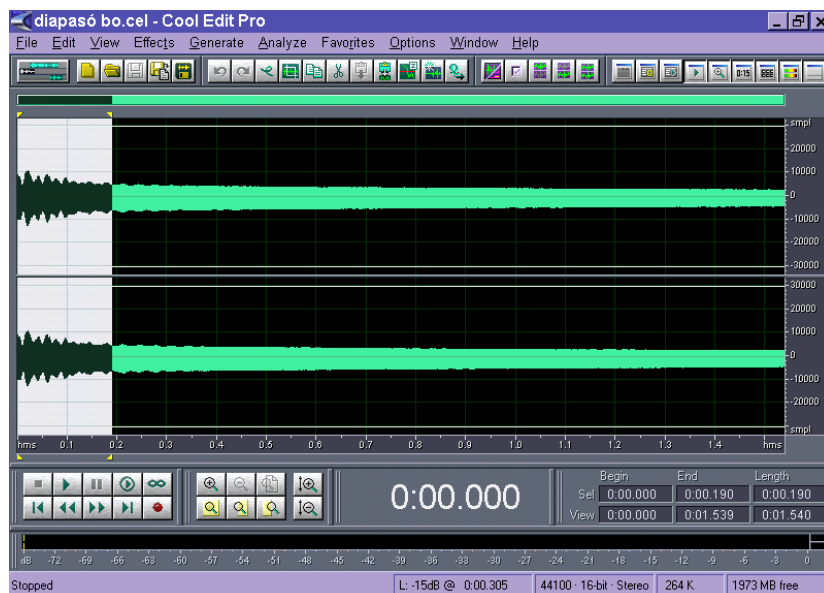
En la nova imatge, si senyalem el pic que està encerclat, veurem que la freqüència és de **473 Hz** més o menys. Llavors només cal passar les dades obtingudes a la fórmula.

$$v = \lambda \cdot f = 0.72 \times 473 \Rightarrow v = 340.56 \text{ m/s}$$

⚡ Quina és la freqüència de vibració del so emès per un diapasó?

En aquest cas, el procediment serà més ràpid.

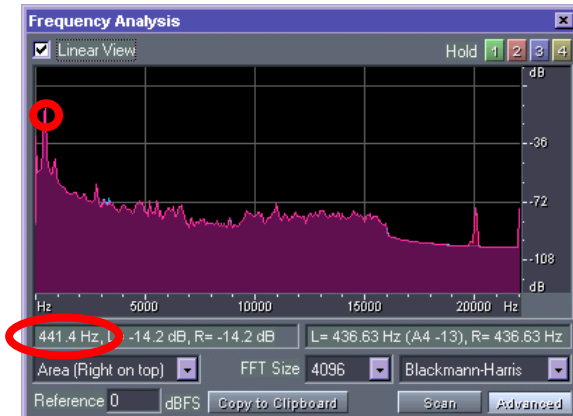
Una vegada hem colpejat el diapasó i hem gravat el so a l'ordinador, obtenim aquesta imatge:



Tornem

a marcar

una franja concreta i observem la transformada de Fourier:



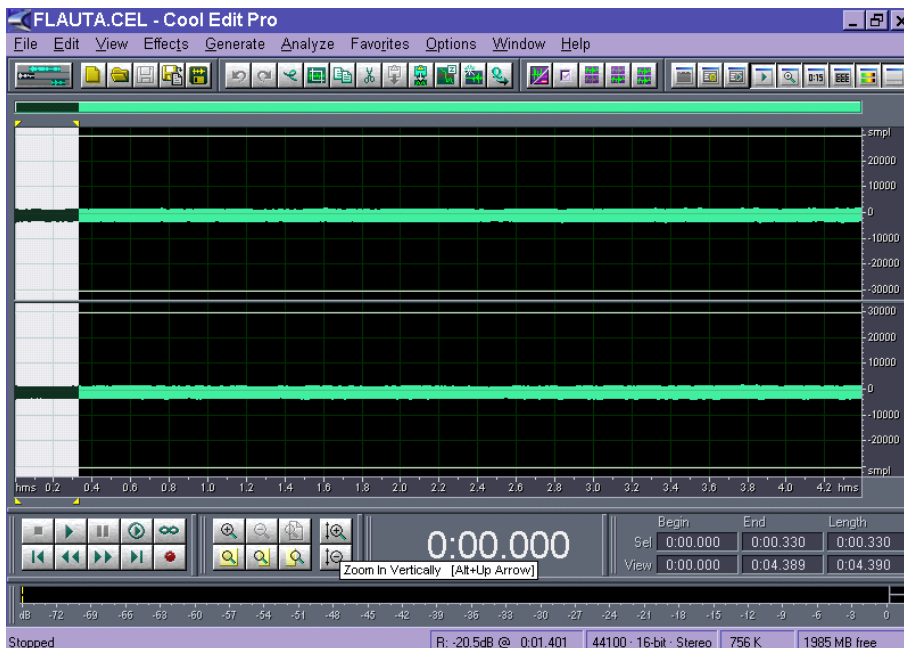
Sabem que la freqüència d'un diapasó és de 440 Hz més o menys. A la pantalla podem observar que realment és així. Marcant el pic

$$f = 441 \text{ Hz}$$

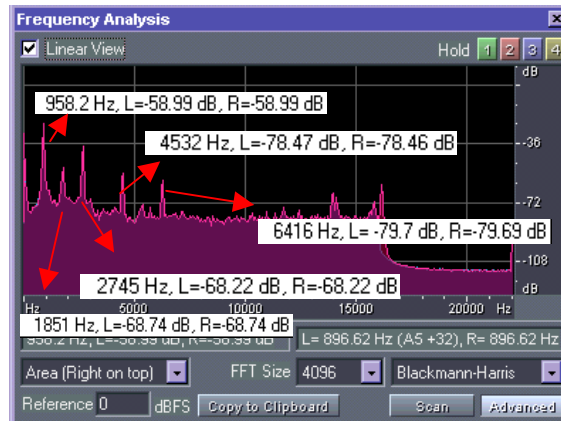
assenyalat,

✎ Quins són els harmònics del so emès per una flauta quan emet la nota "la"?

En aquest cas calcularem els cinc primers harmònics de la nota la en una flauta. Obtenim la següent imatge:



En la transformada de Fourier podrem visualitzar-ho millor:

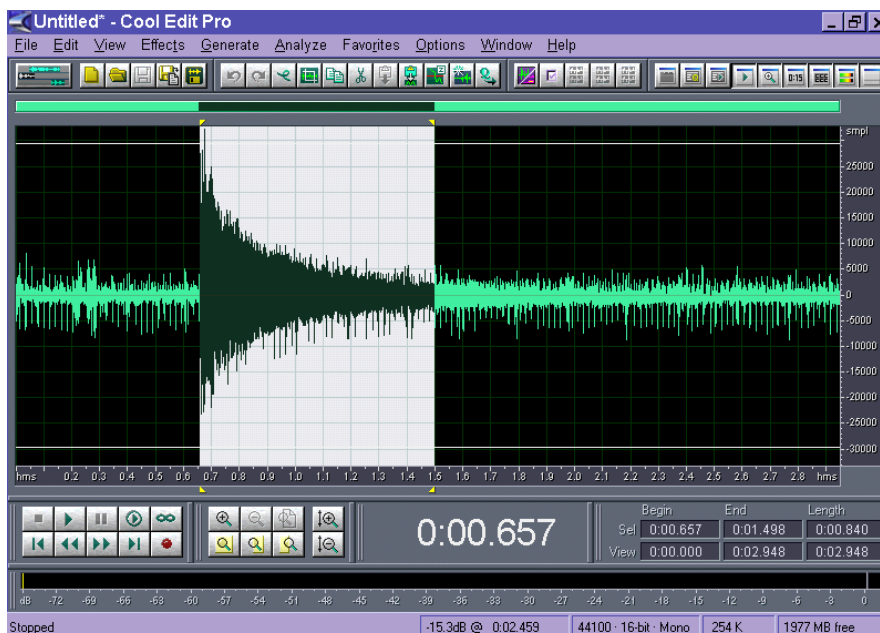


Com podem veure els cinc harmònics corresponents són:

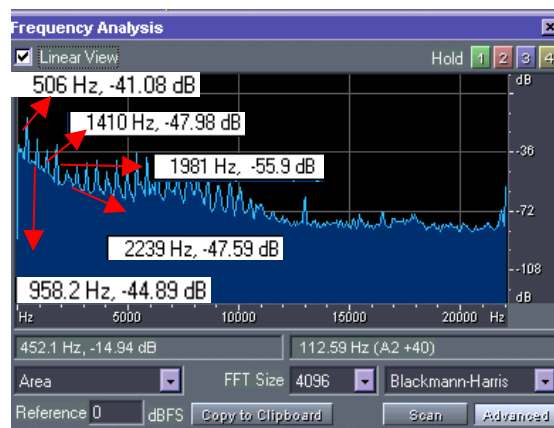
- 1r: 958 Hz
- 2n: 1851 Hz
- 3r: 2745 Hz
- 4t: 4532 Hz
- 5è: 6416 Hz

✎ Quins són els harmònics del so emès per una guitarra quan emet la nota "la"?

En el cas d'una guitarra el procediment és semblant, encara que els harmònics sortiran diferents.



I la transformada de Fourier és la següent:



Com veiem, els harmònics són els següents:

1r: 506 Hz
 2n: 958 Hz
 3r: 1410 Hz
 4t: 1981 Hz
 5è: 2239 Hz

✎ Quina és la velocitat del so obtinguda a partir de la freqüència de ressonància d'un tub obert pels dos extrems?

Sabem inicialment que la freqüència del sistema que hem explicat anteriorment és de 145 Hz.

Hem d'utilitzar la formula: $L_{efectiva} = L_{tub} + 0'6 \cdot D$

La longitud del tub és de 110 cm, es a dir, 1'10 m.

El diàmetre del tub és de 7'5 cm, es a dir, 0'075 m.

Aplicant la formula: $L = 1'10 + 0'6 \times 0'075 = 1'145m$

Sabem també que $\lambda = 2L$, tenint en compte que la longitud és d'1'145 m.

Llavors $v = \lambda f = 2 \times 1'145 \times 145$

$$v = 332m/$$

5- CONCLUSIONS

A partir de l'anàlisi i discussió dels resultats obtinguts, estem en condicions d'afirmar que:

- La velocitat del so obtinguda a partir de la freqüència de ressonància d'un tub d'assaig és de **340 m/s**.

- La freqüència de vibració del so emès per un diapasó és de **441 Hz**.

- Els harmònics del so emès per una flauta quan emet la nota "la" són:
1r: **958 Hz**; 2n: **1851 Hz**; 3r: **2745 Hz**; 4t: **4532 Hz**; 5è: **6416 Hz**

- Els harmònics del so emès per una guitarra quan emet la nota "la" són:
1r: **506 Hz**; 2n: **958 Hz**; 3r: **1410 Hz**; 4t: **1981 Hz**; 5è: **2239 Hz**

- La velocitat del so obtinguda a partir de la freqüència de ressonància d'un tub obert pels dos extrems és de **332 m/s**.

6- BIBLIOGRAFIA

Per a dur a terme aquest treball hem utilitzat diferents programes. Són els següents:

- ✓ Microsoft Word
- ✓ Microsoft XP
- ✓ Microsoft Encarta 98
- ✓ Cool Edit Pro
- ✓ Internet Explorer (www.google.es)
- ✓ Llibre de física de 2n de Batxillerat
- ✓ Apunts personals de la matèria.

