

# Capítol 5

## Resultats experimentals

*En aquest capítol es mostraran alguns experiments realitzats al laboratori d'electrònica per tal de calibrar el sistema correctament i mostrar a l'usuari el funcionament del programa. Totes les proves s'han fet el mateix dia per tal de que les connexions no variïn, ja que podrien afectar en proporcions molt petites a les mesures realitzades, per tant, també s'han realitzat a la mateixa temperatura ambient. El calibratge hagués estat més senzill si haguéssim disposat d'una microbalança però no va ser possible aconseguir-la als dos edificis on s'ha fet feina, l'Anselm Turmeda i el Mateu Orfila. El laboratori de física del Mateu Orfila ens va proporcionar líquids per poder realitzar alguns experiments, com ara bé, Aigua destil·lada, Etanol i Acetona.*

## 5.1. Calibratge del sensor.

### 5.1.1. Introducció.

Al no disposar d'una microbalança ens les varem enginyar per tal de conèixer la diferència de freqüència que produïa un increment de massa. L'idea consisteix amb retallar unes porcions de paper de mesures conegudes i de densitat coneguda, encara que no deixarà de ser relativament aproximat. A partir d'un full de paper de qualitat, on el fabricant ens indica la seva densitat ( $80\text{g/m}^2$ ) i suposant que està perfectament distribuïda. D'aquesta forma podrem conèixer la massa de la porció de paper, amb la següent regla de tres:

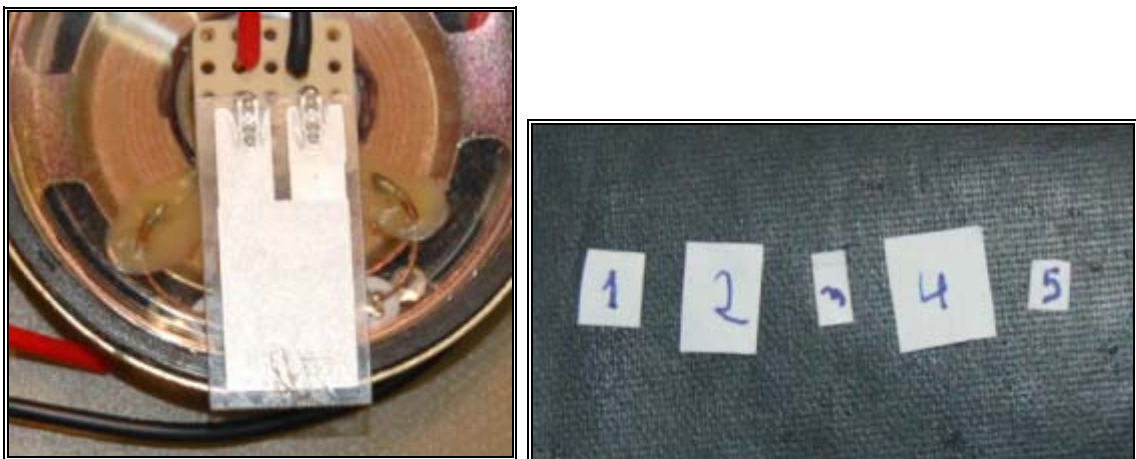
$$80\text{g} \text{ ————— } 1\text{m}^2$$

$$\text{Mg} \text{ ————— } \text{X}\cdot\text{Y m}^2$$

On les mesures del tros de paper les coneixem, X i Y és l'alt i ample del quadrat respectivament, M és la massa de la porció de paper. Per tant,

$$M = \frac{80\text{g}\cdot\text{X}\cdot\text{Ym}^2}{\text{m}^2} = 80\cdot\text{X}\cdot\text{Y} \quad (\text{grams}) \quad (5.1)$$

Aquest tros de paper s'aferrarà al piezoelèctric amb pegament de barra amb la superfície neta cada vegada, però el increment de massa que produeix el pegament no es considera, degut a que el PLL ja estarà enganxat amb una certa freqüència amb el pegament inclòs i llavors tant sols es mirarà la diferència que produeix posar el paper damunt.



**Figura 5.1.** Calibratge del sistema. La figura de la dreta s'observa el piezoelèctric amb el pegament i a l'esquerra els trossos de papers emprats.

### 5.1.2. Mesures.

A continuació es presenten les cinc mesures realitzades per cinc porcions de paper de distintes mides. On  $F_r$  és la freqüència de ressonància del piezoelèctric amb una mica de pegament i  $F_p$  és la freqüència de ressonància amb el paper damunt.

- **Paper #1.**

- Dimensions: 7mm x 5.5mm
- $F_r = 124.4\text{Hz}$
- $F_p = 121.45\text{Hz}$
- $\delta F = 2.95\text{ Hz}$
- $m_p = 3.08\text{mg}$

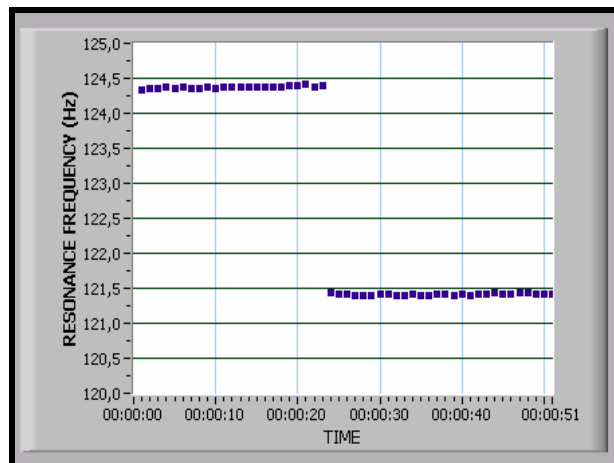


Figura 5.2. Imatge de la pantalla visualitzant un decrement de freqüència per aferrar-li el paper #1.

- **Paper #2.**

- Dimensions: 8mm x 10mm.
- $F_r = 124\text{Hz}$
- $F_p = 119.3\text{Hz}$
- $\delta F = 4.7\text{Hz}$
- $m_p = 6.4\text{mg}$

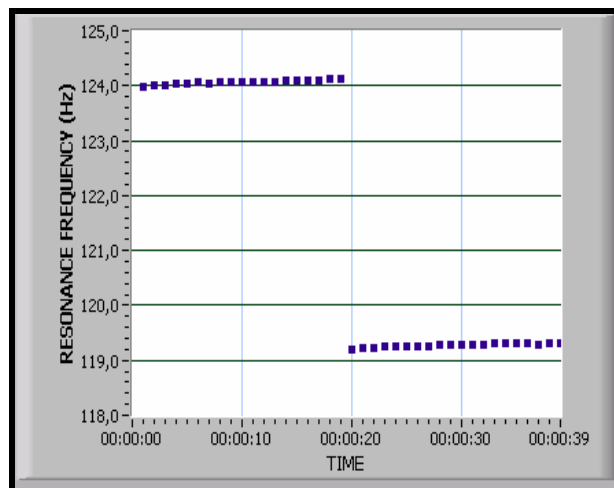
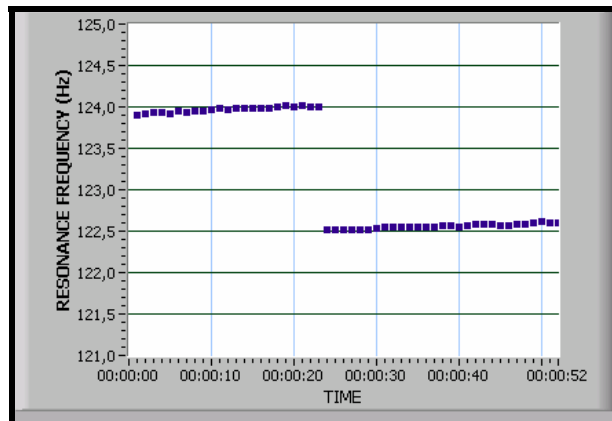


Figura 5.3. Imatge de la pantalla visualitzant un decrement de freqüència per aferrar-li el paper #2.

- **Paper #3.**

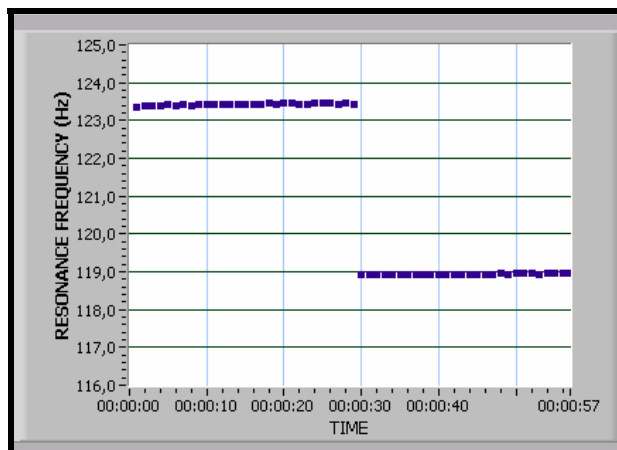
- Dimensions: 7.5mm x 4mm
- $F_r = 124\text{Hz}$
- $F_p = 122.4\text{Hz}$
- $\delta F = 1.6\text{Hz}$
- $m_p = 2.4\text{mg}$



**Figura 5.4.** Imatge de la pantalla visualitzant un decrement de freqüència per aferrar-li el paper #3.

- **Paper #4.**

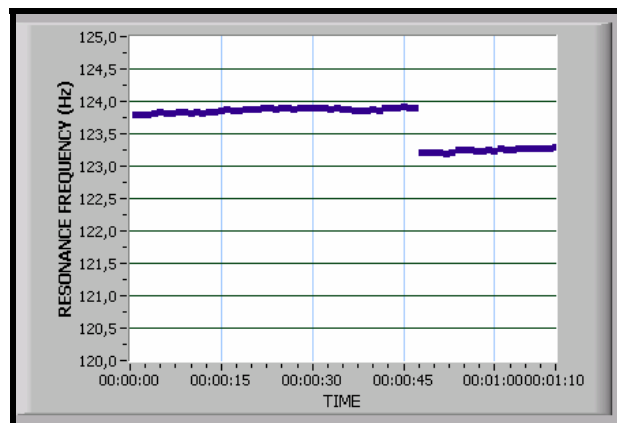
- Dimensions: 9mm x 8mm.
- $F_r = 123.4\text{Hz}$
- $F_p = 119\text{Hz}$
- $\delta F = 4.4\text{Hz}$
- $m_p = 5.76\text{mg}$



**Figura 5.5.** Imatge de la pantalla visualitzant un decrement de freqüència per aferrar-li el paper #4.

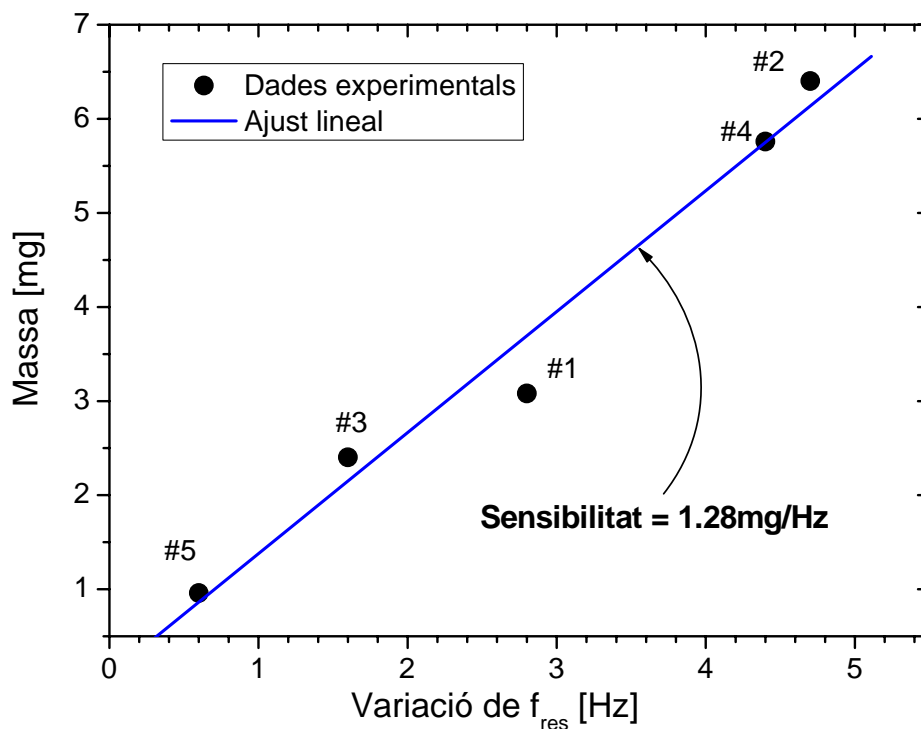
- **Paper #5.**

- Dimensions: 4mm x 3mm.
- $F_r = 123.9\text{Hz}$
- $F_p = 123.3\text{Hz}$
- $\delta F = 0.6\text{Hz}$
- $m_p = 0.96\text{mg}$



**Figura 5.6.** Imatge de la pantalla visualitzant un decrement de freqüència per aferrar-li el paper #5.

## 5.1.3. Extracció de la sensibilitat.



**Figura 5.7.** Gràfica de la relació entre la massa i la diferència de freqüència, indicant el nombre de la mostra i la sensibilitat de la pendent.

Com es pot veure a la gràfica, el sistema és bastant lineal, augmentant proporcionalment la variació que sofreix la freqüència de ressonància respecte al increment de massa del piezoelèctric. Un cop coneixem la sensibilitat del sistema juntament amb la  $\delta f_{ef}$  mínima que podem aconseguir esbrinada al capítol anterior, podrem calcular la resolució del nostre sensor per mesures de pes, amb les següents equacions:

$$\Delta m = S \cdot \delta f_{ef} \quad (5.2)$$

On  $\Delta m$  és el increment de massa mínim que el nostre sistema serà capaç de detectar,

$S$  és la sensibilitat del sensor i,

$\delta f_{ef}$  es la diferència freqüencial en valor eficaç.

Per tant podrem detectar un increment de massa tal com,

$$\Delta m \approx 1.3 \text{ mg/HZ} \times 2.0 \text{ mHz} \approx 2.6 \mu \text{g} \quad (5.3)$$

- **Comprovacions teòriques.**

- **Sensibilitat.**

En aquest apartat es comprovarà que la sensibilitat i la freqüència de ressonància obtingudes s'aproximen al valor teòric, per tant, segons l'equació 1.6, tindrem:

$$M_{\text{eff}} = 0.24 \cdot \rho w l t \quad (5.4)$$

Per  $\rho = 1.78 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$ ,

$w = 13 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

$t = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$  i

$l = t = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}$  (contant el llarg de la palanca que es pot flexionar, és a dir, excloent els elèctrodes), tenim:

$$M_{\text{eff}} = 0.24 \cdot 92.5 \cdot 10^{-6} = 22.2 \cdot 10^{-6} \text{ (Kg)} \quad (5.5)$$

Sent, com s'ha vist a les gràfiques anteriors,  $f_o = 124.5 \text{ Hz}$  aproximadament, i seguint l'equació 1.5, ens dona una sensibilitat de:

$$S = \frac{2.22 \text{ mg}}{124.5 \text{ Hz}} = 1.48 \text{ mg / Hz} \quad (5.6)$$

Que com es pot comprovar, és aproximada a la sensibilitat experimental.

- **Freqüència de ressonància.**

A continuació es calcularà la freqüència de ressonància teòrica segons l'equació 1.4, on el mòdul de Young per aquest piezoelèctric és  $E = 3 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ ,

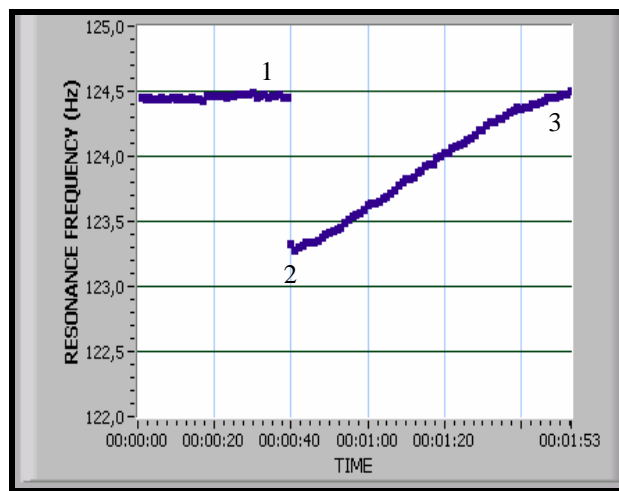
$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3 \cdot 10^9}{1.78 \cdot 10^3} \cdot \frac{0.2 \cdot 10^{-3}}{(20 \cdot 10^{-3})^3}} = 103.3 \text{ (Hz)} \quad (5.7)$$

La freqüència de ressonància teòrica també és propera a la resultant per experiments.

## 5.2. Mesures dinàmiques de massa.

A continuació es mostren alguns experiments realitzats amb diferents líquids per tal de veure com actua el nostre sistema sensor de massa, quan es diposita una gota d'un líquid i aquest s'evapora amb el temps. Els líquids emprats per fer els experiments son: etanol, aigua destil·lada, acetona i alcohol. També s'ha comprovat l'efecte piroelèctric del sensor, tal com s'explicava al apartat 3.1.2. S'han intentat posar les gotes d'una massa aproximada, i això ho hem fet mirant la caiguda de la freqüència de ressonància, procurant que la variació sigui aproximadament 1 Hz.

### o Etanol.

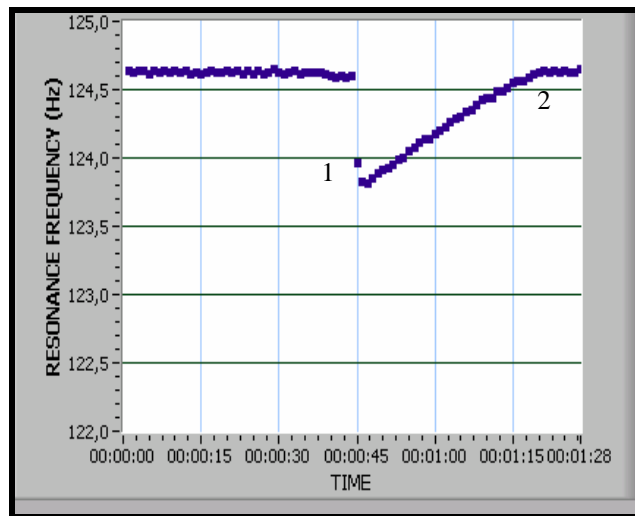


**Figura 5.8.** Transitori d'evaporació d'una gota d'etanol.

La gràfica mostra el transitori de la freqüència de ressonància des de quan està ressonant lliure de pes <1>, en aquest cas, a  $F_r=124.4\text{Hz}$ , fins que, aproximadament al 40 segons, s'ha dipositat una gota d'etanol <2>, amb una massa proporcional a la diferència de freqüència que ha causat com s'ha vist als apartats anteriors, i a partir d'aquest instant, amb temperatura ambient, la gota s'anirà evaporant ràpidament com mostra la gràfica <3>, fins que desaparegui per complet, com es pot apreciar aproximadament als 2 minuts.

A les següents gràfiques es contemplarà el mateix efecte per diferents líquids, apreciand la velocitat d'evaporació dels líquids.

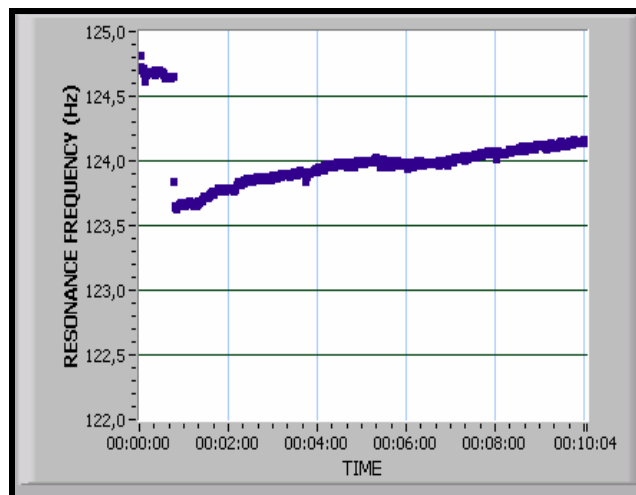
○ **Acetona.**



**Figura 5.9.** Transitori d'evaporació d'una gota d'acetona.

Com es pot observar, l'acetona s'ha evaporat més ràpidament que l'etanol, un cop s'ha dipositat la gota en el piezoelèctric, per culpa de les petites vibracions del sensor, la gota s'ha escampat homogèniament i ha produït que es vegi aquest petit transitori <1>, que significa un petit increment de massa. L'evaporació per aquest cas ha durat un minut i mig <2>.

○ **Aigua destil·lada.**

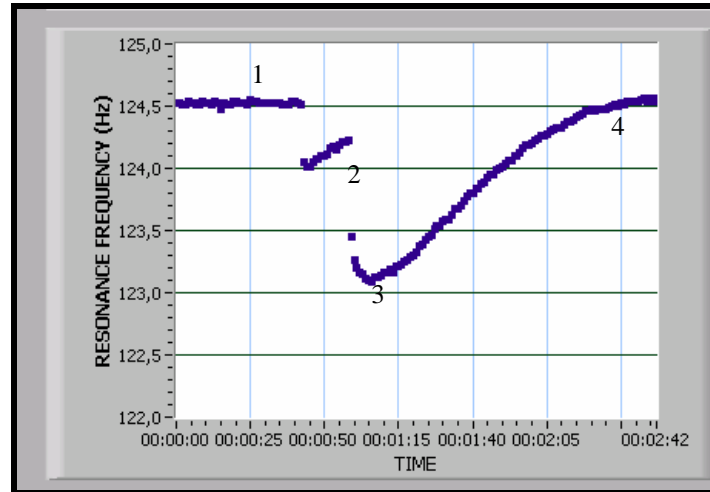


**Figura 5.10.** Transitori d'evaporació d'una gota d'aigua destil·lada.



L'evaporació de l'aigua destil·lada és molt lenta i no es pot apreciar a la imatge ja que en els 10 minuts encara li queda molt per evaporar-se del tot, no obstant, es veu que s'ha evaporat un poc.

○ **Alcohol.**

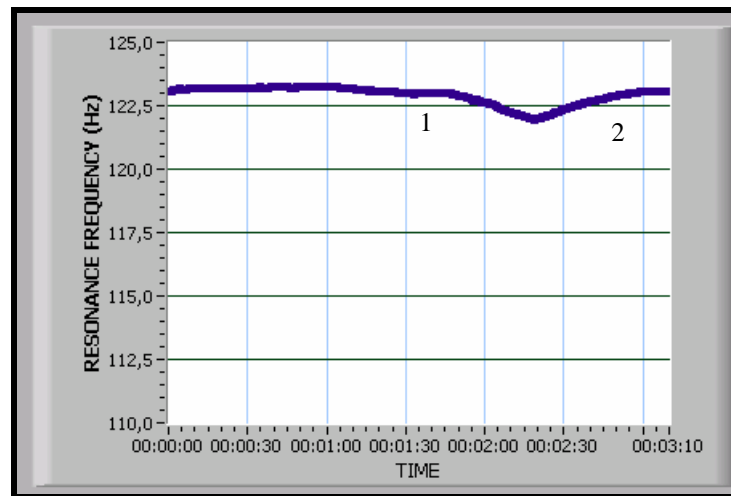


**Figura 5.11.** Transitori d'evaporació d'una gota d'alcohol.

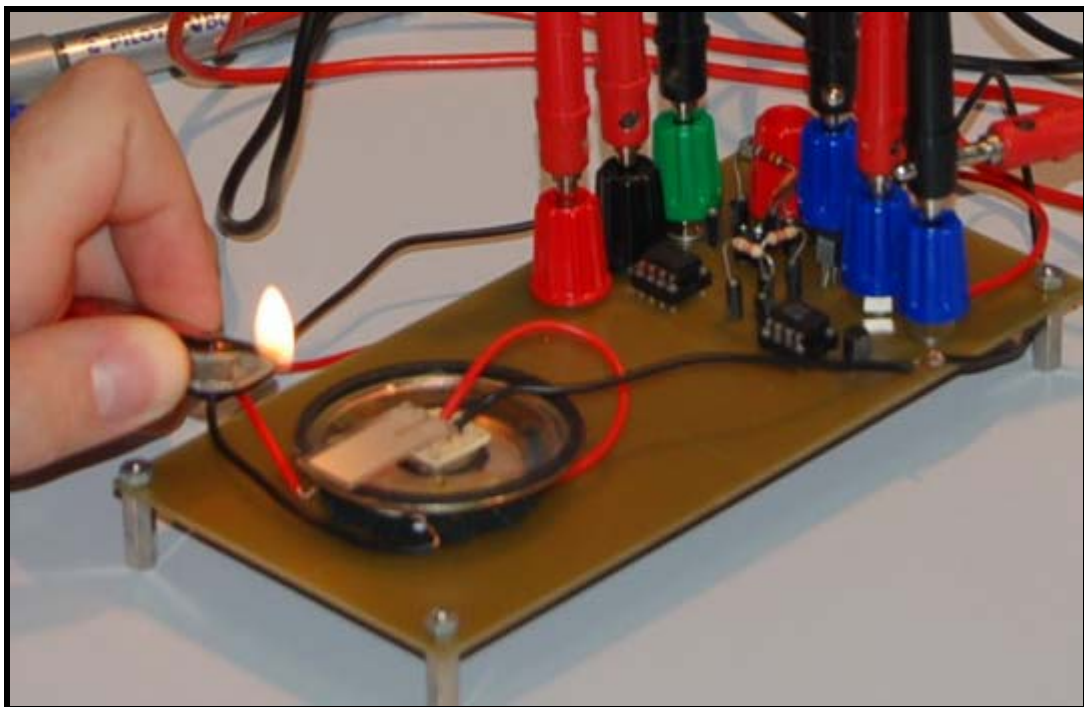
Al cas de l'alcohol, hem mesurat la freqüència de ressonància lliure de pes <1>, per després dipositar una gota d'alcohol, però no ha estat suficient per decrementar aproximadament 1Hz, així que li hem vessat un poquet més <2>, i llavors, la petita gota s'ha escampat <3>, el que ha provocat un decrement a la freqüència de ressonància, fins que final i ràpidament la gota de alcohol s'ha evaporat <4>.

• **Efecte piroelèctric.**

A l'apartat 3.1.3. del capítol 3 es comentava que els sensors piezoelèctrics podien tenir efectes piroelèctrics, el qual no és una avantatge, però volíem comprovar si el nostre també era sensible al efectes calorífics i en quina mesura li afectava. A continuació es mostra una gràfica que representa el moment on s'atraca un encenedor bastant proper i lo que li afecta a la freqüència de ressonància <1>, i després es torna a retirar <2>. Com es pot veure si que ens afecta encara que molt poc, ja que el calor afegit es considerable, com es pot veure a la figura 5.13., per tant, el nostre sensor no es massa sensible als increments de temperatura.



**Figura 5.12.** Transitori d'encaloriment del piezoelèctric. Efecte piroelèctric.



**Figura 5.13.** Comprovant els efectes piroelèctrics del nostre sistema amb un encenedor.