

TÍTOL: Música en clau d'Ohm

Centre: IES Joan Fuster

Curs i Cicle: 2 BAT

Tutor/a: Eva Maria Pérez Gómez

Categoria de concurs: FÍSICA

Alumnat: Carlos Bravo Palacios, Jordi Guillem Mompó, Tomàs Sinarcas Campanario, Llorenç Vèrnia Garcia

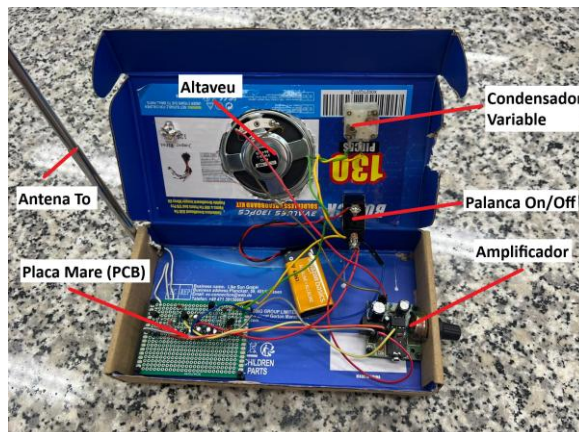
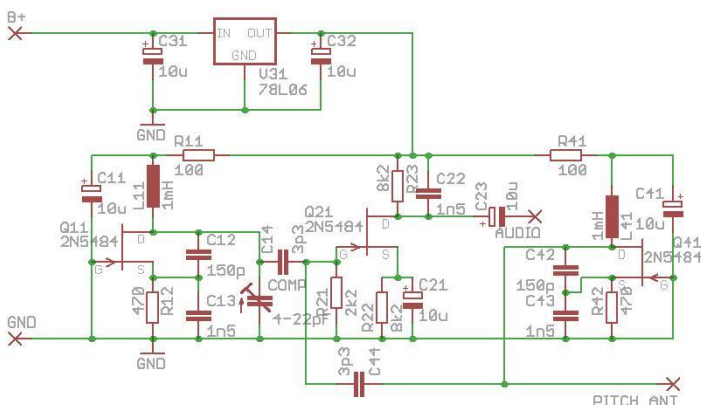
1. Resum breu del projecte i objectiu

Anem a estudiar el theremin, un instrument musical electrònic creat l'any 1919 per Lev Sergeyevich Termen, també conegut a occident per León Theremin, el qual fou un gran músic i inventor soviètic, també creador de l'endovibrador o el Buran. En relació a aquest aparell ens hem proposat els següents propòsits:

1. Adquirir coneixements sobre el funcionament del theremin, l'estudi de les seues ones electromagnètiques a nivell pràctic i la seua creació amb materials casolans, elements reciclats i reutilitzats.
2. Realitzar l'estudi de diferents variables físiques que ens pot proporcionar aquest aparell, com: la capacitat, el batiment, la freqüència d'oscil·lació i la propagació d'ones sonores, l'atenuació, a més del fenomen de la ressonància.
3. Fer xerrades i divulgar sobre el nostre projecte i les diferents magnituds que hem investigat als alumnes del nostre centre i altres de cursos anteriors, perquè aquests s'interessen per la física i altres branques científiques.
4. Completar el projecte amb materials completament reciclables i econòmics, sempre complint els ODS i seguint els objectius de l'Agenda 2030, per demostrar que la investigació científica no depèn de l'exhauriment dels materials i de la destrucció del nostre planeta, establint així les bases per una investigació científica més sostenible.
5. Aprendre a utilitzar aquest instrument musical per a poder tocar-lo i comprendre diverses ones musicals, i introduir els fonaments físics al món filharmònic.

2. Material i muntatge

Aquest projecte està format per dos tipus de theremins, un analògic i un analògic-digital. Aquests estan basats en dos projectes open-source que hem utilitzat com a inspiració per al muntatge i els seus components, sent un l'*Open Theremin V3* i el projecte de *Theremin* de *Thierry Frenkel* (publicat als posts de *Theremin World*). Per al de *T. Frenkel*, hem muntat nosaltres totes les peces, ja que el projecte venia amb un llistat d'aquestes i un esquema de muntatge, per tant simplement vam haver de comprar els components per tal de muntar-los a una placa PCB. En canvi, deguda la complicació de l'*Open Theremin V3*, la placa principal (els components principals en la placa PCB) l'encomanàrem prèviament muntada, amb la intenció de simplificar el procés.



3. Fonamentació : Principis físics involucrats i la seua relació amb aplicacions tecnològiques

El principi físic més important en el funcionament del theremin és el batiment d'ones, responsable del so produït per aquest instrument. Aquest fenomen és causat per la interferència entre les diferents ones sinusoidals amb freqüències distintes provocades per dos circuits oscil·ladors, un fixe i altre variable, les quals es resten adins del barrejador heterodí (mixer) i s'obté la freqüència final. La mà funciona com la paret d'un condensador, per tant, es produeix un efecte capacitiu amb la mà. Açò es deu al fet que l'antena del nostre theremin funciona com una antena de ràdio, la qual rep ones electromagnètiques i genera un camp electromagnètic. Al variar la distància de la mà, degut a la variació de la diferència de potencial, es genera una variació de la freqüència al circuit oscil·lador variable. L'altre circuit oscil·lador, el fixe, soles varia amb un condensador variable, per tal d'ajustar-lo abans de funcionar. Com bé hem dit abans, aquestes dues ones arriben fins al mixer i s'obté el so final. El mecanisme permet crear les transicions contínues de to característiques del Theremin, que és regulable perquè la nostra antena no és de longitud indefinida ni perfectament cilíndrica, conseqüentment, el camp electromagnètic és irregular i el so produït varia segons la posició de la mà.

Capacitat: propietat dels cossos elèctrics per mantindre una càrrega elèctrica.

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

Aquesta se li atribueix als condensadors.

Batiment: fenomen que es dona a l'interferir dos ones sinusoidals amb freqüències diferents, que resulten en la resta d'aquestes dos.

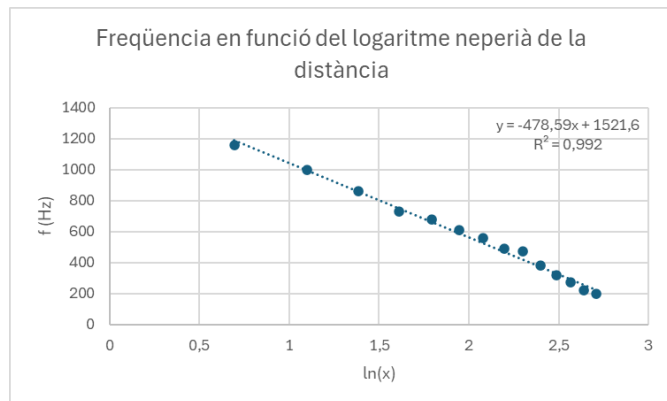
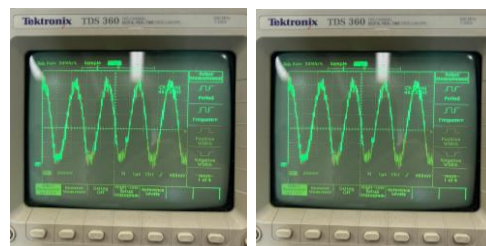
Amb l'objectiu de justificar les nostres suposicions, hem realitzat un treball de cerca i hem obtingut les següents expressions que justifiquen el nostre model teòric:

Expressió	Descripció
$C(x) = C_0 + C_A(x)$	Capacitància total del theremin
$C_A(x) \approx \frac{2\pi\epsilon_0 h}{10 \ln\left(\frac{4x}{D}\right)}$	Capacitància de l'oscil·lador variable. Aquesta expressió serveix per a una antena de longitud h i diàmetre D , distanciada x de la mà. A més, l'ample de la mà ha de ser de l'ordre de $h/10$. Finalment ϵ , és una constant electromagnètica i s'ha d'assumir que $D \ll x$.
$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_0}}$	Freqüència constant del nostre oscil·lador fixe
$f(x) = \frac{1}{2\pi\sqrt{L[C_0 + C_A(x)]}}$	La freqüència del circuit oscil·lador a mesura que s'apropa la mà a l'antena
$f_2 - f_1 = \Delta f \approx f_2 \frac{C_A(x)}{2C_0}$	Resta entre ambdues freqüències. Aquesta diferència de freqüències es troba en el rang audible (20 Hz - 20000 Hz). Amb la variació de C_A i en conseqüència de f_1 , s'ens proporcionen unes variacions de to que recorren quasi tot el rang musical.
$\Delta f = A - B \ln(x)$	Després d'operar amb aquestes relacions, es pot obtenir la següent expressió, on A i B són dues constants. La representació gràfica és una recta.

4. Funcionament i Resultats: observacions i mesures.

El funcionament bàsic del circuit del Theremin tracta de dos circuits oscil·ladors que generen dues ones sinusoidals a freqüències diferents. Un d'aquests és fix (tot i que es pot variar amb el condensador variable, per tal de regular-lo), mentre que l'altre varia gràcies a l'antena, la capacitància de la qual varia segons s'aproxima o allunya la mà (o qualsevol objecte conductor). D'aquesta manera (sent la freqüència del circuit variable quan no hi ha la mà igual a la del fix), de la resta de les dues ones (que són de magnitud 300-500KHz, i es resten mitjançant un barrejador heterodí), s'obté una ona sinusoidal de freqüència 0-20 KHz, la qual ja és audible, i en passar per l'amplificador, arriba a l'altaveu.

Les primeres dades experimentals obtinguts amb el nostre theremin ens han permès realitzar un estudi inicial, els resultats del qual auguren que el nostre model teòric sí funciona. A continuació presentem els resultats obtinguts:



$\ln(x)$	f (Hz)
2,7080502	200
2,6390573	220
2,5649494	270
2,4849066	320
2,3978953	380
2,3025851	470
2,1972246	490
2,0794415	560
1,9459101	610
1,7917595	680
1,6094379	730
1,3862944	860
1,0986123	1000
0,6931472	1160



5. Conclusions

S'ha aconseguit obtenir el so de la resta de les ones dels circuits oscil·ladors, regulant el to segons arribem la mà o qualsevol material conductor a l'antena. De la mateixa manera, hem comprovat que, en aproximar un objecte no conductor al theremin, no s'emet cap so degut a l'efecte capacitiu, que sols afecta els conductors. En addició, hem pogut verificar la freqüència d'aquestes ones en l'oscil·loscopi per tal de poder fer la resta tant real (connectant l'oscil·loscopi a l'eixida de so) com a mà (connectant els dos circuits oscil·ladors a l'oscil·loscopi). No obstant, no hem tingut l'oportunitat de realitzar totes les mesures proposades, encara estem immersos en el procés experimental d'estudiar aquests fenòmens físics i prendre dades d'aquests.

6. Bibliografia

Tipler, P. A.; Mosca, G. (1989). *Física para la Ciencia y la Tecnología Volum 2*. Reverté SA.
Kenneth D. Skeldon, Lindsay M. Reid, Vivienne McNally, Brendan Dougan, Craig Fulton. (1998) Physics of the Theremin. *Am. J. Phys.* <https://doi.org/10.1119/1.19004>
Frenkel, T. (2011) <http://www.thereminworld.com/user/details/Thierry>;
Open.Theremin V3 https://www.gaudi.ch/OpenTheremin/index.php?option=com_content&view=article&id=180&Itemid=115 Así funciona el Theremin Instrumento Musical <https://theremin.es/como-funciona-un-theremin/>
Bond, E (2021). What is a Theremin and How Does it Work? <https://emastered.com/blog/how-the-theremin-works>
Núñez, I. (2021). La física detrás del theremin clásico; <https://revistas.udelar.edu.uy/OJS/index.php/ecos/article/download/588/563/>