

## ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ .....	2
1.1. INTRODUCCIÓ.....	2
1.2. PER QUÈ HEM TRIAT AQUEST TREBALL .....	2
1.3. HIPÒTESIS .....	3
1.4. OBJECTIUS .....	3
1.5. METODOLOGIA.....	3
2. PART TEÒRICA .....	5
2.1. CONÈIXER LA GUITARRA .....	5
2.1.1. QUÈ ÉS LA GUITARRA? .....	5
2.1.2. PARTS DE LA GUITARRA.....	6
2.2. CONÈIXER ELS EFECTES.....	13
2.2.1. QUÈ SÒN I TIPUS .....	13
2.2.2. PEDALS I EL SEU FUNCIONAMENT .....	14
2.3. L'ONA.....	24
2.4. EL MOVIMENT DE LES ONES .....	27
3. TREBALL DE CAMP .....	29
3.1. DISSENY DE L'EXPERIMENT .....	29
3.2. DADES.....	31
3.3. RESULTAT .....	36
4. CONCLUSIONS .....	43
4.1. CONCLUSIÓ.....	43
4.2. VALORACIÓ PERSONAL .....	44
5. BIBLIOGRAFIA.....	45
6.AGRAÏMENTS:.....	47

# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1. INTRODUCCIÓ

El treball que hem fet és una mescla entre música i ciència, ja que d'una banda, una gran part tracta sobre el funcionament dels corresponents aparells musicals, per als quals convé tenir coneixements de física bàsica, o fins i tot d'electrònica i, d'altra banda, també té una gran importància la part musical, ja que configura el material usat i el temari en general. Tot i que el treball no requereix un nivell elevat de música o de física, hem intentat utilitzar un vocabulari que no contingui gaires paraules de l'argot propi musical, tot fent-lo més entenedor.

Aquest és un treball amb el qual pretenem descobrir i aprendre nous conceptes sobre la guitarra elèctrica i els seus accessoris, alhora que volem conèixer la seva vessant més científica, aspectes que donen a la memòria que presentem un tractament més tècnic. D'altra banda, aquest doble tractament pretén interessar un públic més ampli, per fer adonar els instrumentistes de guitarra dels efectes físics que hi ha darrere d'una activitat lúdica.

Per poder dur a terme aquest estudi hem necessitat el material següent: la guitarra i el seu corresponent pedal multiefectes, així com el cablejat necessari i els adaptadors adients. A part d'això també hem treballat amb un software especial, per poder detectar i observar correctament les ones emeses per la guitarra.

El software utilitzat, ens ha estat recomanat per Enric Guaus, membre del grup d'investigació de tecnologia musical (MTG) de la Universitat Pompeu Fabra i del departament de sonologia de l'ESMUC.

2

## 1.2. PER QUÈ HEM TRIAT AQUEST TREBALL

Les raons per les quals hem triat aquest treball són moltes i diverses, però les principals són les següents:

- La passió per la guitarra elèctrica, el nostre instrument, i el desig de saber i conèixer més sobre com funciona.
- La nostra gran afició a la ciència i la física, i la intenció de relacionar-les amb la guitarra.
- Poder dur a terme un treball amb una part pràctica d'observació important, on no importi tant el resultat com les observacions que es puguin obtenir durant el procés.
- Poder tenir més informació sobre els efectes que es poden aconseguir amb la guitarra, com funcionen, com es treballen i quins canvis en el so produeixen.
- El desig d'ampliar coneixements ens general i, en especial, els que suposin una millora sobre la nostra competència amb l'instrument que toquem amb el grup del qual formem part.

- Perquè, encara que el treball ja s'hagi fet altres cops, volem encarar-lo des d'un punt de vista diferent, on la física estigui dintre del món musical.
- Perquè és un repte aconseguir informació adequada i que s'entengui sobre aquest tema.

### 1.3. HIPÒTESIS

Ens plantegem el treball i, en especial, la pràctica amb el mètode científic. Després de pensar-ho bé hem decidit que les nostres dues hipòtesis són les següents:

- Podem aconseguir una ona de so (modulada) digital amb un pedal convencional d'una qualitat similar a la que produeix un efecte de software.
- Podem, amb mètodes bàsics, aconseguir un esquema complet de les ones dels sons de la guitarra i relacionar-les.

### 1.4. OBJECTIUS

Els objectius que pretenem assolir en la confecció d'aquest treball són els següents:

- Contactar amb algun expert en guitarra elèctrica i coneixement científic perquè ens assessori.
- Idear una pràctica per resoldre les hipòtesis formulades.
- Investigar en temes desconeguts per a nosaltres en el camp d'aquest instrument i de la seva acció física i aconseguir entendre'ls.
- Aprendre més sobre la relació entre l'ona del so i la guitarra elèctrica.
- Conèixer amb més exactitud l'ampli ventall d'efectes que ofereix la tecnologia avui dia.
- Practicar la coordinació i organització del treball en parella.
- Elaborar una memòria entenedora i a la vegada interessant per al lector.
- Realitzar una exposició entretinguda per divulgar els coneixements adquirits d'una forma més divertida i amena.

### 1.5. METODOLOGIA

En aquest apartat repassarem els passos que hem seguit per elaborar el treball:

- Pluja d'idees sobre els possibles temes investigables que siguin del nostre interès.
- Tria i decisió del tema entre els proposats.
- Pensar des d'on podem abordar el tema i com el podem presentar.
- Confecció d'un esbós de l'índex que reuneixi els apartats generals que volem explicar.

- Plantejament dels objectius que volem assolir.
- Recerca d'informació per Internet.
- Redacció d'un petit esquema de la part teòrica.
- Redacció metòdica d'un primer esborrany de la part teòrica; en aquest cas: descripció de la guitarra i descripció dels efectes.
- Plantejament d'una o més hipòtesis.
- Contactar amb un expert que ens ajudi a idear una pràctica que pugui contestar les nostres hipòtesis amb claredat.
- Idear la pràctica en qüestió i fer un esquema del disseny que tindrà l'experiment, el material utilitzat i el procediment seguit.
- Expansió de la part teòrica i l'índex.
- Recerca exhaustiva d'informació mitjançant tots els mètodes possibles.
- Síntesi de la informació i ampliació de la part teòrica i l'índex.
- Realització de la pràctica, recull i interpretació de dades.
- Selecció de les dades més significatives.
- Redacció de la part pràctica.
- Redacció de la introducció i tots els seus punts, menys la metodologia.
- Tercera recerca d'informació i redacció de l'esborrany final de la part teòrica del treball.
- Confecció de l'apartat "Conclusions" amb tots els seus subapartats.
- Realització de l'esborrany final de l'índex.
- Correcció lingüística del treball i confecció de l'apartat "metodologia".
- Supervisió de la part tècnica del treball pel professor Gaus, de la Universitat Pompeu Fabra.

## 2. PART TEÒRICA

### 2.1. CONÈIXER LA GUITARRA

Aquest apartat pretén familiaritzar el lector amb l'instrument. Considerem important conèixer-lo per entendre certs conceptes que es presenten en el treball. Fins i tot creiem que pot ser un al·licient interessant.

#### 2.1.1. QUÈ ÉS LA GUITARRA?

La guitarra elèctrica és un instrument de cordes de metall. Va ser inventada als Estats Units als anys trenta del segle XX a partir dels models de guitarres acústiques amplificades<sup>1</sup>, amb el principal objectiu de superar el problema de potència de so que tenien aquests instruments.

En un primer moment, la guitarra elèctrica era com una guitarra convencional, però amb més potència de so. Amb el temps aquest instrument s'ha anat modificant fins a aconseguir una gran varietat en forma, color, so i utilitats.

Tot i que la primera guitarra elèctrica va ser de la marca Rickenbacker, la guitarra elèctrica tal com la coneixem avui dia, la va dissenyar Leo Fender, cognom que va posar a la marca que acabava de néixer. Ell primer model de guitarra que va fer aquesta empresa va ser la Fender telecaster. La seva principal característica era que es tractava d'una guitarra fàcilment desmuntable, per tal que si al músic se li espatllava una peça, la pogués desmuntar i substituir per una de nova amb facilitat.

Al principi la guitarra elèctrica només va ser utilitzada en les operetes<sup>2</sup>, tot i que de seguida va ser introduïda en el jazz i el blues. Ràpidament va permetre la creació de nous estils de música, com per exemple el rock i tots els seus derivats, en els quals la guitarra elèctrica va passar a ser un dels instruments principals de les composicions musicals, com podem apreciar per l'abundància de *solos*<sup>3</sup> de guitarra en aquests estils de música.

A hores d'ara podem dir que la guitarra elèctrica és un dels instruments més populars entre la població en general. La seva diversitat i constant evolució fa que mai quedi enrere.

<sup>1</sup>: Instrument de corda pinsada o rasgada, de fusta i amb una caixa de ressonància per amplificar el so. Posseeix un sistema de cablejat que permet la connexió a un amplificador.

<sup>2</sup>: Obres teatrals musicades en directe que es duïen a terme en grans sales.

<sup>3</sup>: Part d'una composició musical en la qual un dels instruments pren importància sobre els altres.

### 2.1.2. PARTS DE LA GUITARRA

Podem dividir la guitarra elèctrica en tres grans sectors: el cos, el mànec i el claviller. Dins de cada sector hi ha molts elements per estudiar, cadascun dels quals té la seva funció.



Figura 1: Parts de la guitarra.

#### El cos

El cos de la guitarra elèctrica podríem dir que no només és la part més complexa, sinó també la més característica. Les seves parts més importants de què consta són les pastilles i el seu selector, les cordes, tot i que passen per tota la longitud de la guitarra i la palanca de *vibrato*.

Per començar podem observar que la guitarra elèctrica, a diferència de tots els instruments de corda, no té caixa de ressonància, que és un espai buit amb una entrada d'aire que serveix per fer que el so que entra dins la caixa reboti contra les seves parets i surti per la mateixa entrada multiplicat. Així doncs, la guitarra elèctrica normalment no té caixa de ressonància i, si en té, és molt petita. El motiu d'aquesta diferència ve donat precisament pel fet que és elèctrica. En aquest instrument el so es transforma en energia elèctrica i després en so novament, gràcies a uns elements que també es troben al cos i que s'anomenen pastilles.



Figures 2 i 3: Cossos de guitarra

## ESTUDI DE LA GUITARRA ELÈCTRICA I ELS SEUS EFECTES

### · Les pastilles

Una pastilla de guitarra elèctrica no és res més que el conjunt d'una peça de plàstic, sis imants i una bobina<sup>4</sup>. Funciona com un transductor, ja que la vibració de les cordes, que són de metall, produeixen fluctuacions en el camp magnètic produït per les pastilles. Aquest camp magnètic converteix les fluctuacions en un senyal elèctric.

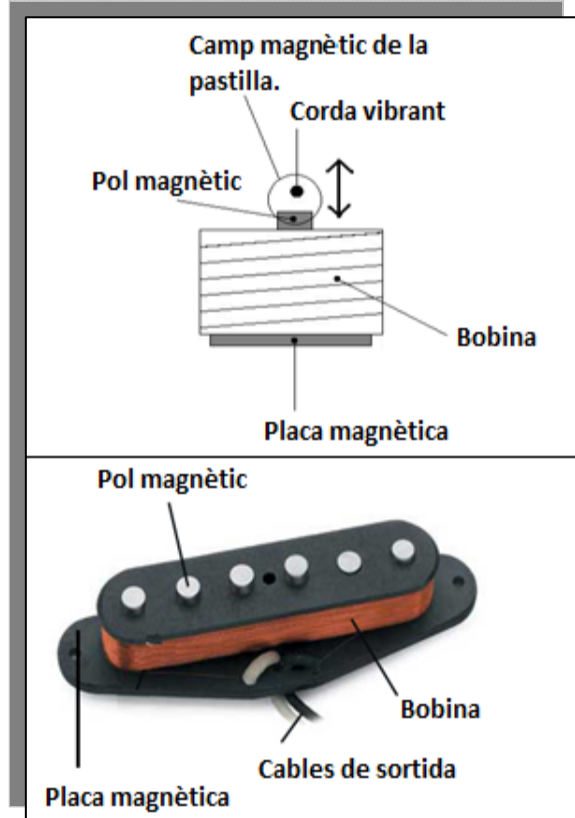
Les guitarres no tenen només un pastilla transductora, sinó que en tenen tres o quatre, normalment: una que capta els aguts, una altra que capta les vibracions de freqüència mitjana i una altra per als sons greus. Per tal de controlar quin so donem a la nota que toquem amb la guitarra fem servir el selector de pastilles, que ens serveix per accentuar els aguts o els greus, o bé deixar-los igual.

Un selector per a tres pastilles té cinc posicions (vegeu figura 6). Cada posició l'hem reflectida amb un color diferent. La posició de color vermell és la posició que accentua més els greus, la de color verd també els accentua però d'una forma més subtil. Aquestes dues pastilles són les que, normalment, s'utilitzen per fer puntejos i solos. La posició de color marró engloba totes les pastilles; per tant, el so serà completament neutre i no destacaran ni aguts ni greus, i amb la posició blava i taronja s'accentuen cada cop més els aguts, respectivament; aquestes pastilles s'utilitzen normalment per teixir les melodies.

### Les cordes

Les cordes són un altre dels elements imprescindibles per al funcionament de la guitarra elèctrica. N'hi ha de molts tipus, mides i textures, però nosaltres parlarem de les més comunes, que són les que farem servir per a la pràctica. L'afinació de la nota produïda per una corda de guitarra depèn de tres factors:

· La tensió a què està sotmesa la corda: estarà controlada per les clavilles i haurà de tenir la tensió per a la qual la corda ha estat fabricada, si la tensem massa podria trencar-se.



Figures 4 i 5: Parts d'una pastilla.

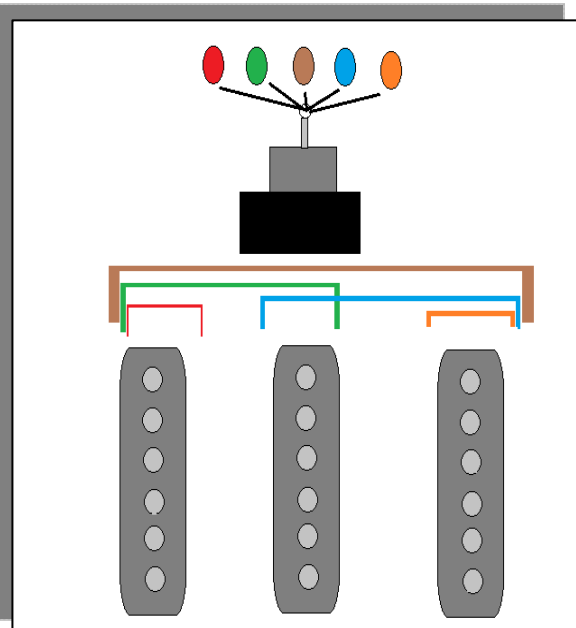


Figura 6: Esquema del selector de pastilles.

<sup>4</sup>: Fil de coure enrotllat que serveix per a emmagatzemar energia en forma de camp magnètic

·La longitud vibratòria de la corda: vindrà determinada per la distància entre la celleta i el pont, i en qualsevol guitarra mínimament bona, hauria de ser la mateixa.

·La massa de la corda: si augmentem la longitud o el diàmetre de la corda, per lògica, tindrà més massa. Una corda amb una massa més gran vibrarà més lentament i, per tant, emetrà un so més greu que una altra sotmesa a la mateixa tensió i amb la mateixa longitud, però amb una massa més petita.

Les cordes greus són *mi*, *la* i *re* en afinació normal<sub>5</sub> i de greu a agut respectivament. La major característica d'aquestes tres cordes és que tècnicament no són una corda, sinó dues cordes, una que va en línia recta i perpendicular al mànec de la guitarra i una altra que fa un entorxat al voltant de la guitarra, és a dir que s'hi enrotlla en forma d'espiral cobrint-la completament i la fa més gruixuda.

També n'existeix un segon tipus nomenat entorxat pla. Es diferencia pel fet que la corda d'entorxat no és una corda, sinó una petita placa allargada que s'enrotlla al voltant de la corda però fent-la llisa en comptes de rugosa com en el cas de l'entorxat normal.

Les tres cordes agudes, són: *sol*, *si* i *mi*, respectivament, de greu a agut. A diferència de les cordes greus, són cordes senzilles: un fil d'acer prim i de més o menys 120 centímetres.

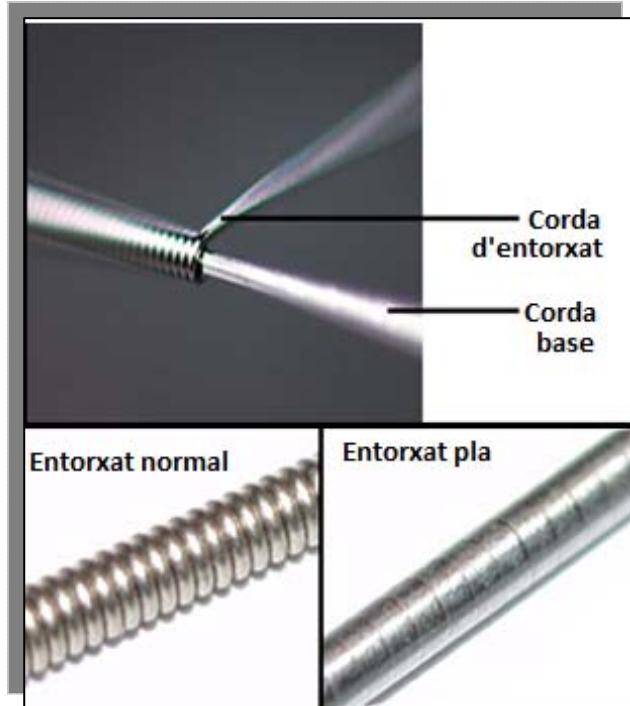


Figura 7: Entorxat de les cordes.



### La palanca de vibrato

Alguns models de guitarra inclouen un pont diferent al fix i original; s'anomenen ponts flotants i es diferencien dels altres pel fet que permeten, amb un mètode molt rudimentari, variar la tensió i la longitud de la corda i canviar, d'aquesta manera, la nota que emet.

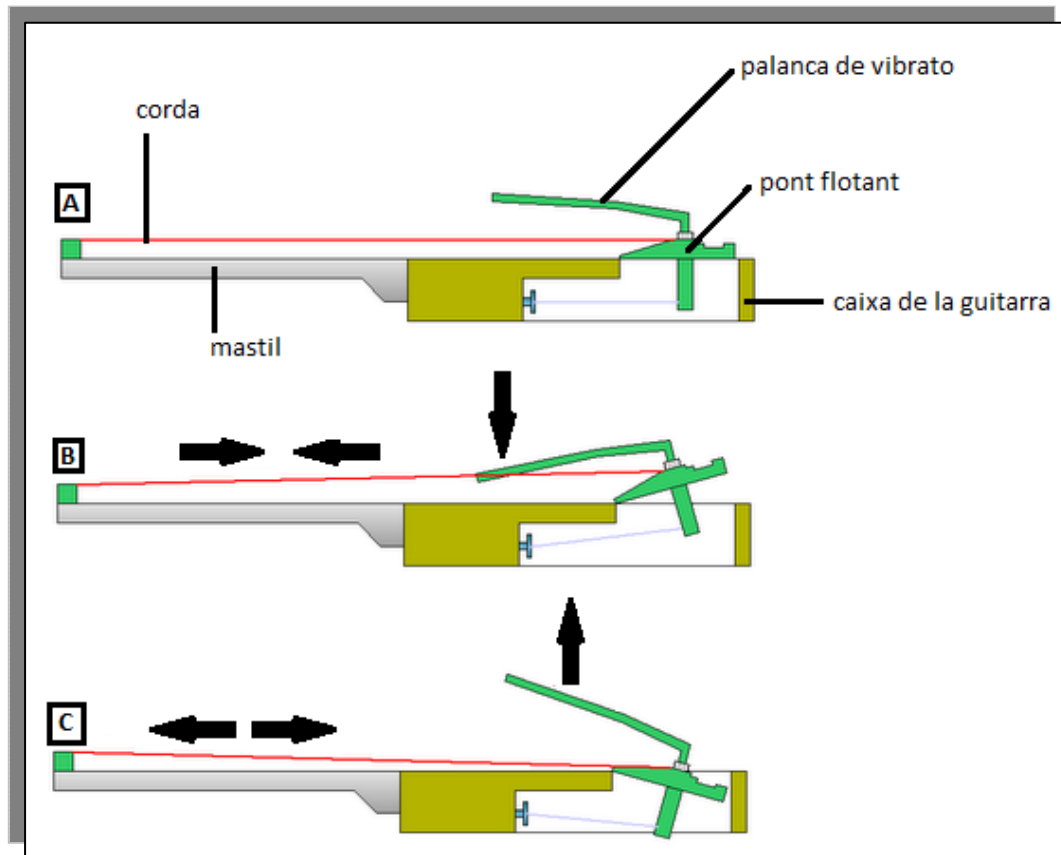


Figura 8: Funcionament de la palanca de vibrato.

**A:** La corda està sotmesa a la tensió normal, la nota emesa serà la de la seva afinació.

**B:** La palanca de vibrato, si s'empeny cap a baix, que significaria acostar-la cap al cos del guitarrista en la vida real, la corda alliberarà tensió i disminuirà la seva longitud, tot acostant els dos extrems de la corda: emetrà un so més greu.

**C:** La palanca de vibrato, si s'estira cap a amunt, que significaria allunyar-la del guitarrista en la vida real, els extrems de la corda s'allunyan, i n'augmentarà la tensió i la longitud: la corda emetrà un so més agut.

Els tipus de pont que permeten l'acoblament d'una palanqueta de vibrato s'anomenen "ponts flotants". A grans trets, n'hi ha de dos tipus, distingits principalment pel preu: semiflotant i flotant. El primer és propi de les guitarres de gamma baixa. Només es pot reduir la tensió de les cordes estirant de la palanqueta cap al guitarrista. Això genera una desafinació cap a greu.

L'altre tipus és més adient per a instruments de qualitat mitjana-alta: és possible moure la palanqueta cap al músic i cap a l'exterior, de manera que la desafinació es pot alternar cap a greu i cap a més agut.

De totes maneres, i com és lògic, el pont flotant també comporta problemes, i és que un mal ús o un ús excessiu pot comportar que les cordes es desafinin per culpa de tants canvis de tensió. Aquest problema, però, el va resoldre Floyd Rose, en idear un dels primers ponts flotants que permetien que la guitarra seguís afinada malgrat fer-ne un gran ús. La solució consistia en col·locar el pont flotant sospès en l'aire per mitjà d'unes petites molles, cosa que feia que la tensió que havien de suportar les cordes fos menor i es dilatessin o contraguessin menys.

### El mànec:

Ens aquest apartat parlarem del mànec, la part per on circulen els dits del guitarrista, i dels trasts, que determinen la nota que es toca.

#### ·El mànec

Tot i semblar un senzill “pal de fusta”, el mànec és un element tan imprescindible com complex per a la guitarra.

El mànec d'una guitarra elèctrica és l'extensió de fusta que subjecta les cordes, que està unida al claviller i que segueix l'eix del cos de la guitarra.

Incrustats en el mànec s'hi troben els trasts. Les cordes passen per sobre dels trasts de manera perpendicular seguint la forma del mànec, però sense tocar-lo.



Figura 9: Mànec i ànima

El mànec té una característica molt especial i és que, tot i que no ho sembli, està aguantant tota la tensió de les sis cordes de metall, que en una guitarra clàssica (i estem parlant de la guitarra que rep menys tensió), arriba als 40 kg, la qual, com que és de fusta, amb el temps s'acabarà deformant inevitablement. Per resoldre aquest problema, el que es va fer va ser, senzillament, col·locar una vara de metall que exerceix la mateixa tensió que les cordes; es tracta de l'ànima, que va per l'interior de la fusta. Així, si amb el temps el mànec es deformés, es podria tensar per tal de recuperar la forma original.

### ·Els trasts

En una guitarra elèctrica acostumen a haver-hi de mitjana uns 22 trasts. Els trasts no són res més que unes petites peces de ferro allargades perpendiculars al mànec que apareixen per tota la seva longitud. La distància entre ells es va fent més petita a mesura que s'acosten al cos de la guitarra. Serveixen per delimitar la longitud de vibració d'una corda, és a dir, si premem una corda al trast set, la corda vibrarà des del trast set fins al pont, d'aquesta manera estem canviant la seva longitud i, per tant, el seu so.

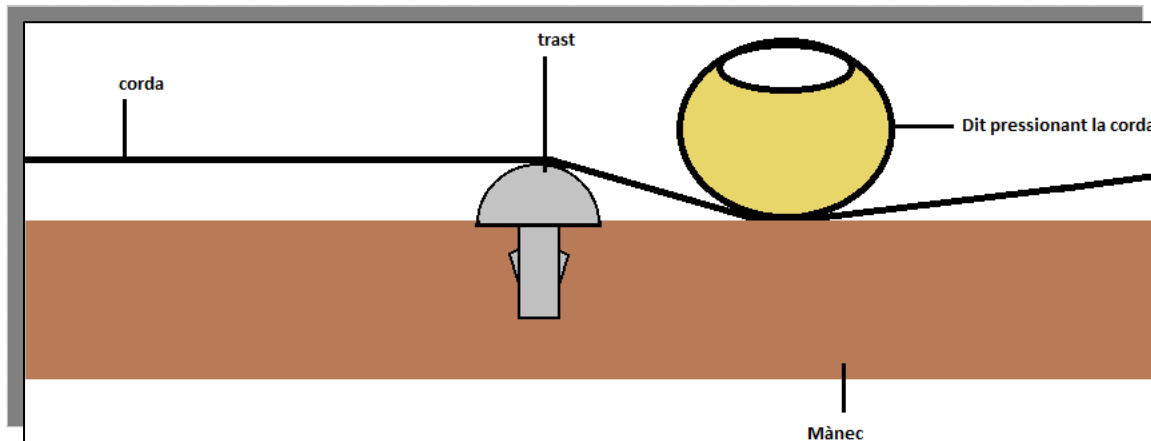


Figura 10: Esquema de la pulsació d'una corda

El trast delimita un espai on es pugui posar el dit sense preocupar-se de fer notes diferents (vegeu imatge 11). Això és perquè funciona com a muralla per a la vibració, i ja estan col·locats especialment perquè les notes siguin perfectes. Aquesta necessitat de perfecció de la nota fa que la feina de col·locar els trasts al mànec en la fabricació de la guitarra sigui una de les més precises i importants.

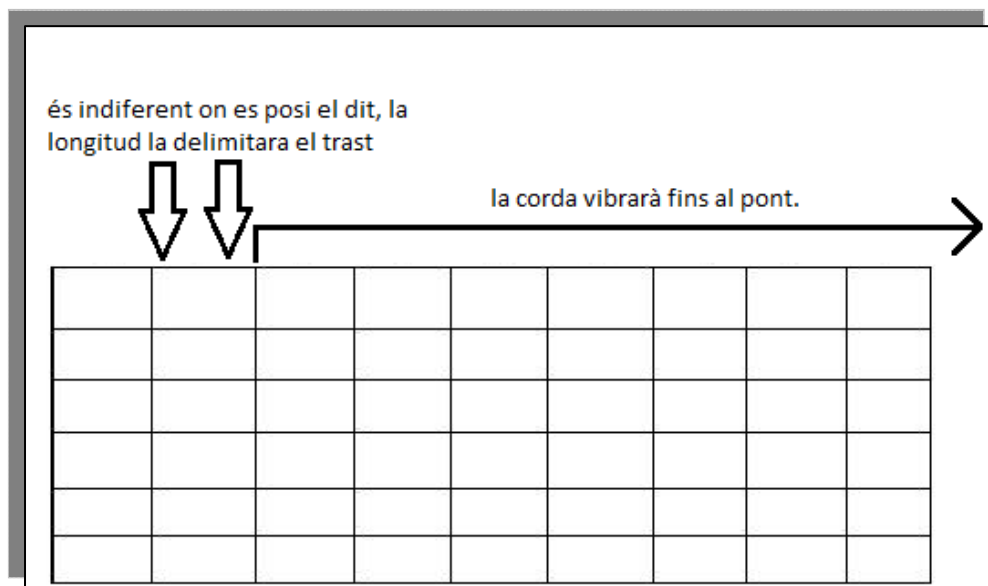
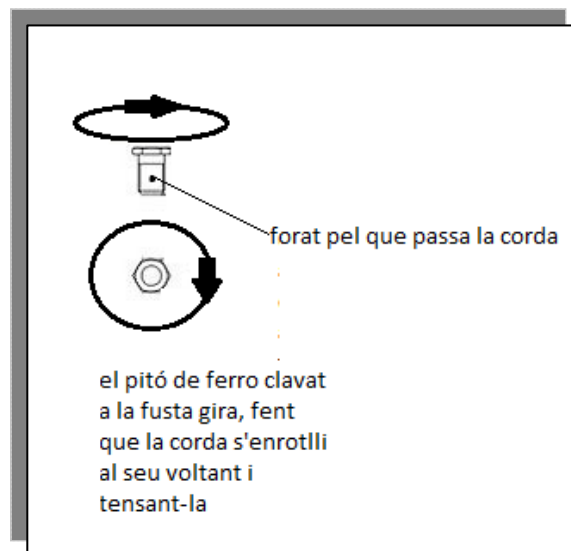
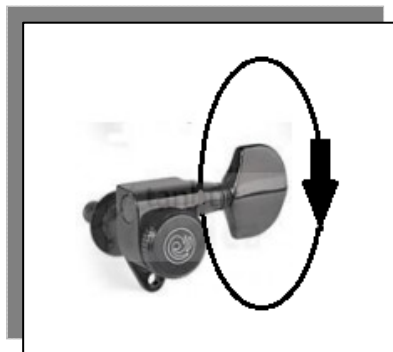


Figura 11: Esquema vibració de la corda.

**El claviller:**·Les clavilles

A la punta del mànec, hi podem trobar el claviller, un element imprescindible per a la guitarra, ja que no només subjecta l'altre extrem de les cordes, sinó que també serveix per determinar-hi la tensió gràcies a uns petits mecanismes anomenats clavilles. Amb els dits es fa girar la peça que, amb l'ajuda d'un engranatge, fa girar sobre si mateix el pitó de ferro que està clavat a la fusta.



Figures 12 i 13: Moviment de les clavilles

## 2.2. CONÈIXER ELS EFECTES

Els efectes, tothom els sabria distingir, però costaria una mica més que poguessin explicar com funcionen. L'important per aquest treball és que el funcionament dels efectes estan molt a prop de la física i de l'electrònica.

### 2.2.1. QUÈ SÓN I TIPUS

Tothom ha sentit més d'una vegada el so d'una guitarra elèctrica, doncs segur que més d'un 70 per cent de les vegades aquest so estava modulat per un efecte. Els efectes o processadors de senyal són un tipus de dispositiu de base analògica, digital o acústica que modifiquen o alteren el to o el so que prové d'una guitarra. Estan formats per un circuit elèctric que modula el senyal i produeix les variacions sonores.

Existeixen tres grups de efectes: pedals, multiefectes i *software*.

#### Pedals:

Els pedals són petites caixes metàl·liques amb un circuit integrat a dins, tenen una pestanya per encendre i apagar amb el peu, i diferents rodets per variar-ne l'equalització, el processament del senyal, etc. Es perfecte per tocar en directe.



Figura 14: Pedal simple

#### Multiefectes:

Els multiefectes són la unió de més d'un efecte, habitualment més de set, en una sola unitat compacta, ja sigui en un pedal (pensat per tocar en directe) o en un *rack*, menys versàtil però més professional (per estudi). Són totalment equalitzables i molt maniobrables; els seus efectes es poden editar i són digitals.



Figura 15: Multiefectes

#### Software:

Els efectes de *software* han agafat terreny en poc temps gràcies a les innovacions tecnològiques que incorporen. Alguns programes ja tenen efectes determinats editables per poder retocar el so de les pistes a gust de l'usuari.



Figura 16: Pantalla d'un software

També podríem afegir-hi els efectes incorporats als amplificadors, que ja tenen el circuit corresponent incorporat dins la carcassa, estarien dins del grup d'efectes digitals o analògics (vegeu figura 17).

1. Volum i guany, augmenten la intensitat del senyal; encara que siguin molt bàsics, es poden considerar efectes.
2. Diferents tipus de modulacions simples, entre elles la distorsió.
3. Diferents efectes de modulació de l'ona com ho són el *flanger*, el *phaser*, el *chorus* o el *delay*.
4. El to, que remarca les tonalitats més agudes o més greus segons el que es vulgui.



Figura 17: Amplificador amb efectes incorporats

## 2.2.2. PEDALS I EL SEU FUNCIONAMENT

Analitzarem a continuació els sistemes interns dels pedals i els seus diferents tipus.

### El *through by-pass*:

El *through by-pass* és un sistema de control i millora del so que permet al senyal no haver de realitzar tota la longitud del circuit quan el pedal està apagat. Aquest és un sistema del qual no disposen tots els pedals. Els que en tenen es consideren de més qualitat.

El senyal que passa pel circuit del pedal es pot modular o no, depèn de si el pedal en qüestió està encès o apagat respectivament. En els pedals sense aquest sistema que es troben apagats, el senyal passa pel circuit sencer del pedal però sense ser modulats, però si es posseeix el *through by-pass* i el pedal es troba apagat, el senyal usa una espècie de "drecera" que fa que millori el so produït ja que el senyal no rep les possibles distorsions de la llarga distància que recorre en els pedals convencionals.

Quan el senyal elèctric passa per un pedal, té tres opcions (vegeu figura 18):

- Pedal encès: si el pedal està encès, el senyal elèctric recorrerà el circuit intern i serà modulats.
- Pedal apagat (sense sistema *through by-pass*): si el pedal està apagat, el senyal recorrerà tot el circuit intern del pedal en qüestió, però no serà modulats, tot i que es poden presentar certes anomalies en el so que els músics professionals rebutgen bastant.
- Pedal apagat (amb sistema *through by-pass*): el sistema "through by-pass" és simplement un interruptor situat dins del pedal que, quan el pedal està apagat, envia el senyal a un circuit molt més curt que permet que el senyal no es deteriori. És el sistema més utilitzat pels músics.

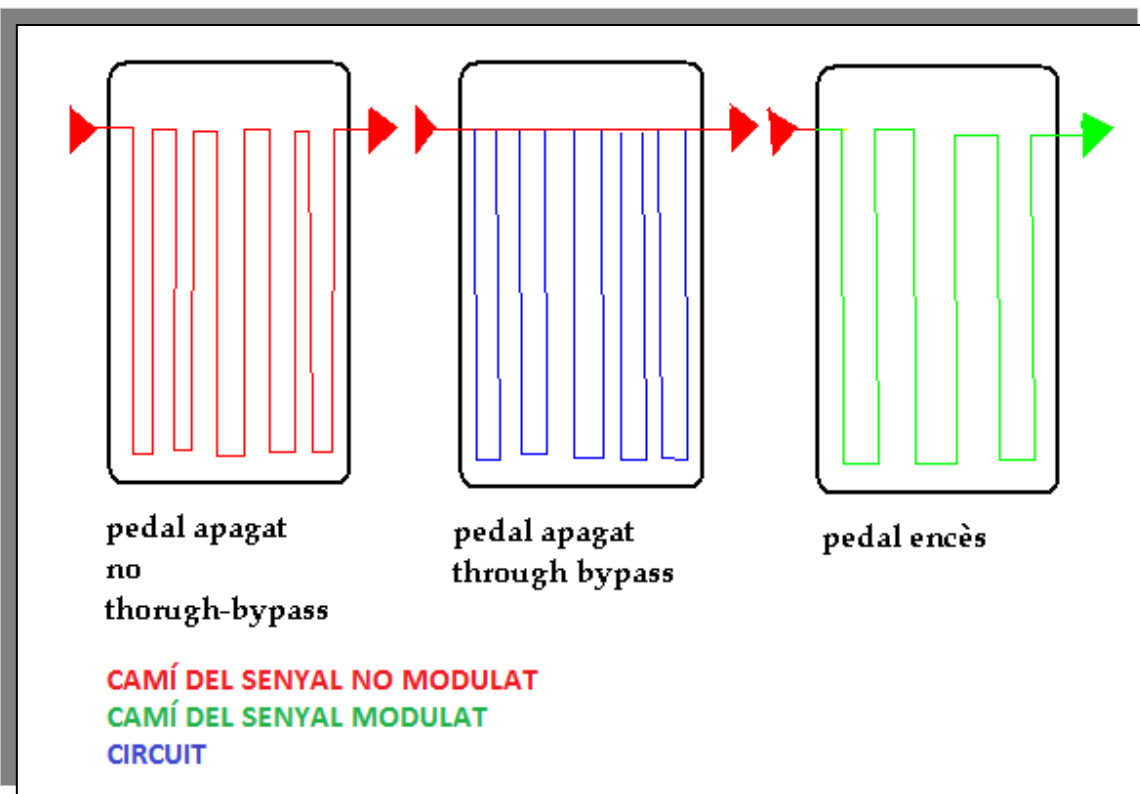


Figura 18: Possibles camins del senyal elèctric dins d'un pedal

### L'electrònica complexa dels pedals:

El circuit intern d'un pedal pot arribar a ser molt complicat, i es necessiten coneixements d'electrònica per entendre'l bé. Com que no tenim els coneixements suficients per interpretar circuits tan complexos, simplement ens limitarem a mostrar un exemple per veure la riquesa i complexitat dels circuits interns dels pedals o modificadors de senyal.

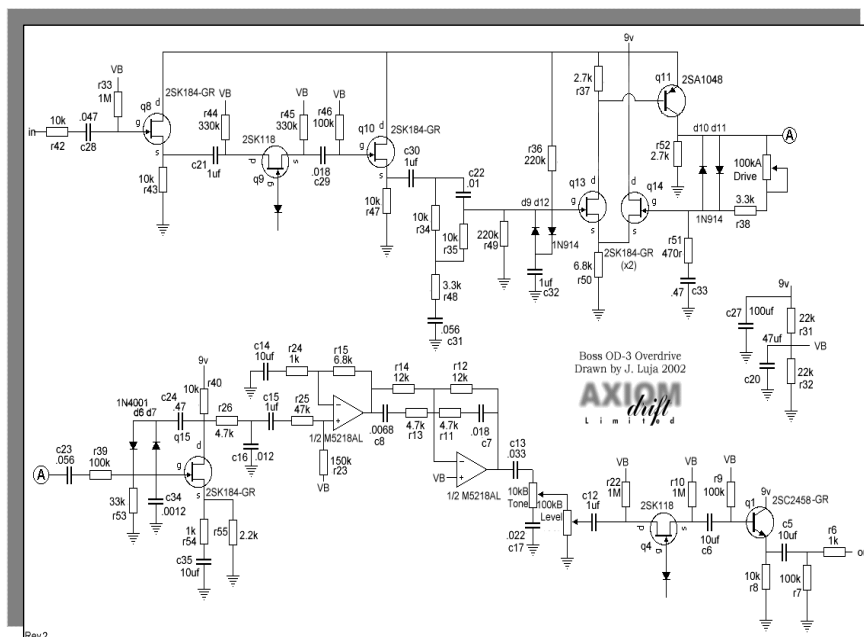


Figura 19: Circuit d'overdrive



Aquest és un exemple d'una distorsió (*overdrive*) (vegeu figura 19), un dels molts efectes que existeixen. Com es pot interpretar? Hi ha una entrada a l'extrem superior esquerre del circuit, a partir del qual el senyal es divideix per diferents apartats amb certs obstacles –com ara resistències, transistors o potenciómetres– que aconseguixen el senyal desitjat.

Tot seguit presentem un altre exemple, un dels efectes més complicats, la reverberació. Més endavant ja n'explicarem el funcionament, ara només volem deixar constància visual de com és un pedal internament.

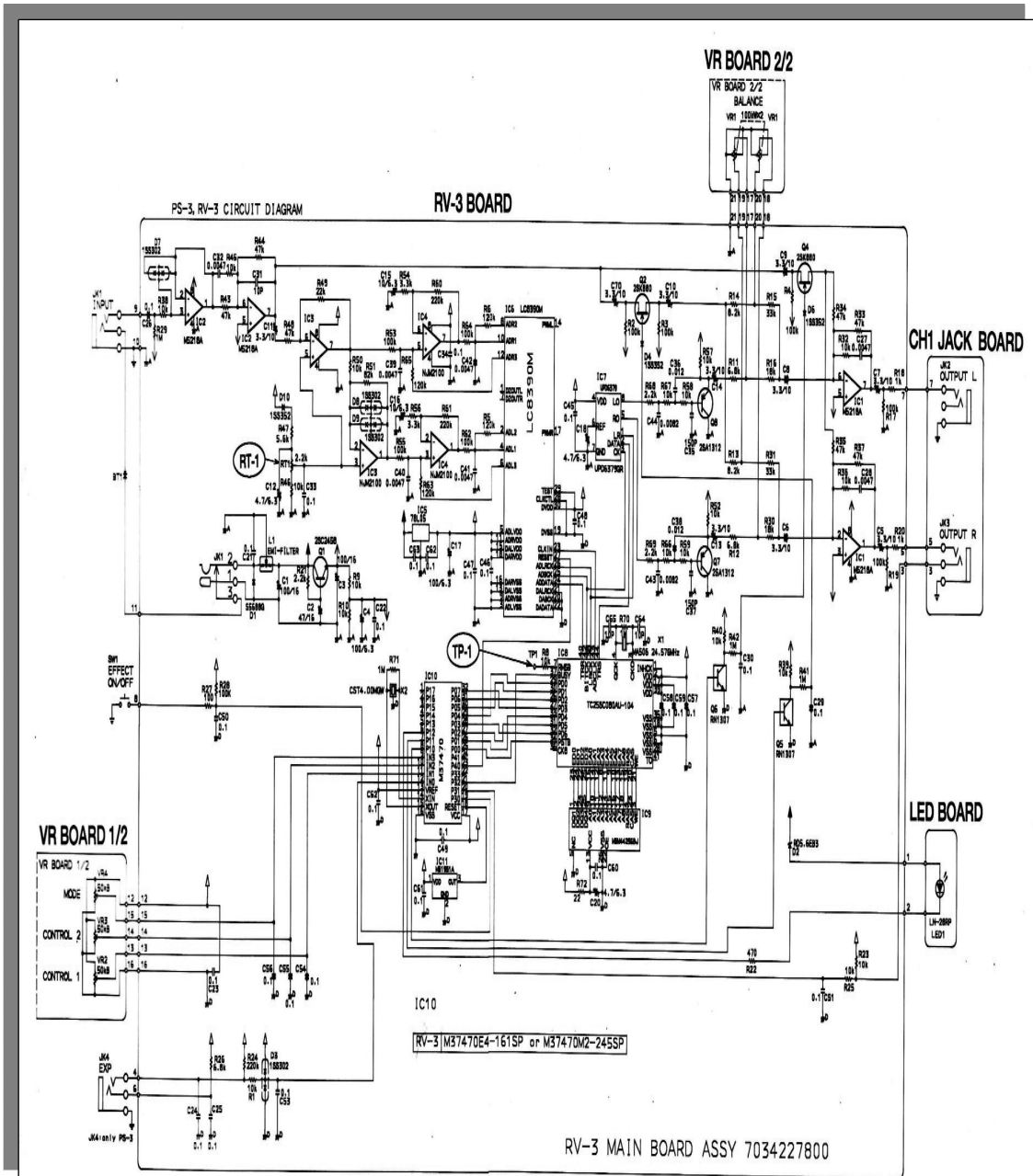


Figura 20: Circuit d'un reverb



### Tipus de pedals:

Hi ha molts tipus de pedals, cadascun produeix un efecte i un senyal particulars. En aquest apartat indicarem quins són els més importants:

- **DISTORSIÓ / OVERDRIVE**: aquest efecte té el seu naixement en els amplificadors de vàlvules, que funcionaven amb tubs de buit. A vegades aquells amplificadors produïen unes sobrecàrregues, amb la conseqüència que el so que sortia era brut i "trencat". De seguida es va buscar la manera de plasmar-lo i usar-lo amb pedals.

La distorsió produeix uns talls al senyal sinoidal que en deformen el pic. El so que produeix és un so generalment sec i brut, tot i que hi ha una gran varietat de matisos. Es va començar a usar en estils com el rock o el metal rock.

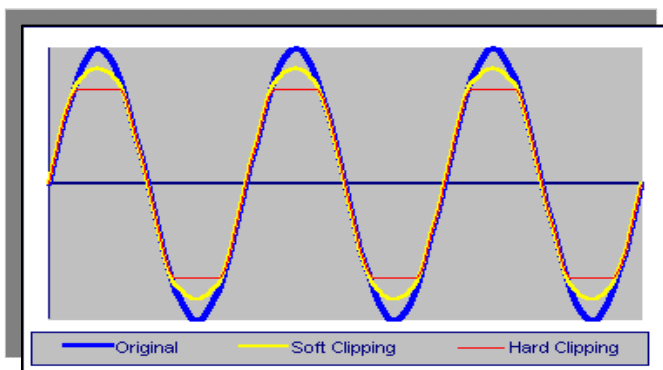


Figura 22: Ona del so de l'overdrive

- **WAH-WAH**: el nom d'aquest efecte prové del so que provoca, semblant a una veu humana pronunciant la paraula "wah". Consisteix en un filtre que deixa passar sons alts, la freqüència de tall dels quals és variable. Quan la freqüència varia d'un valor baix a un d'alt, produeix el so característic. Normalment es fa servir amb un pedal de modulació, és a dir, un pedal semblant al que podria ser l'accelerador d'un cotxe, que permet donar més d'un valor a l'efecte, ja sigui variant-ne la intensitat o augmentant la freqüència dels sons baixos que es tallen, tot produint l'efecte desitjat. El pedal wah-wah més conegut i valorat és el "cry-baby", que va donar a conèixer el mític Jimmy Hendrix<sub>6</sub>.

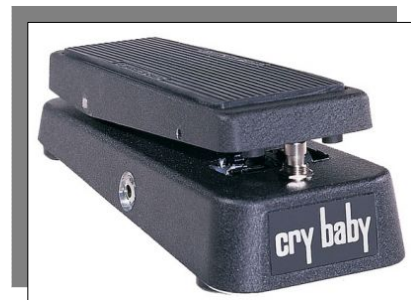


Figura 23: Pedal de wah-wah

- **REVERBERACIÓ ("reverb")**: aquest efecte aconsegueix que el so es produeixi com en una sala amb una acústica important o ressonant, tot mantenint-lo després d'executar-lo, però d'una manera molt subtil, molt natural. És important diferenciar-lo de l'eco. L'eco és el mateix fenomen però, en comptes de detectar-lo com un mateix so, com el reverb, el sentim clarament diferenciat del so original. (Pensem en l'eco de les muntanyes.)



Figura 24: Pedal de reverberació

6: Important guitarrista de funk-rock experimental de la dècada dels seixanta considerat el millor guitarrista de la història.

- **DELAY**: aquest és l'eco a què ens referíem en l'apartat anterior. Es tracta d'un mateix so que es va repetint cada cop amb una intensitat més baixa periòdicament. És molt editable, ja que se li pot canviar tant el temps entre emissió com la durada del recordatori del so, i fins i tot la durada de l'eco en si (tres repeticions, cinc repeticions). És un efecte molt utilitzat, ja que dona un toc modern al so i proporciona un interessant espectre caòtic de sons.



Figura 25: Pedal de delay

- **OCTAVITZACIÓ**: aquest és un efecte característic dels solos o els riffs<sup>7</sup>. El que fa és que produeix i emula el so que està tocant la guitarra però una octava més alta o més baixa, és a dir, si la guitarra fa un *do*, el pedal farà el següent *do* de l'escala musical. El punt interessant del pedal és que, a part de simular el so octavitzat, també deixa sonar el so original, d'aquesta manera sembla que estiguin sonant dues guitarres en comptes d'una.



Figura 26: Pedal octavitzador

18

- **SATURACIÓ**: és molt semblant a la distorsió, però el so és més càlid i suau normalment, cosa que fa que es noti molt més el senyal original de la guitarra.

- **FLANGER**: dona un so metàl·lic de freqüències mitjanes i altes. S'obté duplicant l'ona sonora original; així, mentre que una es deixa neta, la segona es desfasa una mica. Es pot controlar per tres àmbits diferents. El primer és el retard, el lílindar màxim de desfasament de l'ona respecte de l'original, en mil·lisegons. El segon és la freqüència de l'oscil·lació del desfasament de l'ona duplicada. I el tercer és la profunditat, la quantitat d'ona duplicada que es barreja amb l'original.



Figura 27: Pedal de flanger

- **PHRASER**: és similar al flanger, ja que també tracta de duplicar el senyal i desfasar-lo per produir l'efecte. La diferència principal és que, en el phraser la fase es cancel·la exponencialment (1, 2, 4, 8, 16, 32...) i en el flanger no (1, 2, 3, 4...). Això significa que el phraser produeix unes fluctuacions del so més ràpides que el flanger, semblants a les del vent.



Figura 28: Pedal de phraser

7: Frase musical que es va repetint continuament al llarg d'una cançó i la caracteritza.

- **TRÈMOLO**: prové de la paraula italiana *tremolo*, que significa tremolós. Ofereix la fluctuació periòdica d'un so en relació amb el seu volum o amplitud, que puja o baixa, mentre que la freqüència es manté constant. Això permet distingir com varia la intensitat de la nota, no la seva tonalitat.



Figura 29: Pedal d'efecte tremolo

Aquí hi ha una explicació gràfica i senzilla de com funciona el trèmol: la primera ona és el senyal original, la segona és la variació de l'amplitud del senyal, la tercera és el senyal combinat, és a dir, el trèmol. Si ens hi fixem, varia l'amplitud, no la freqüència, que es manté constant (vegeu figura 30).

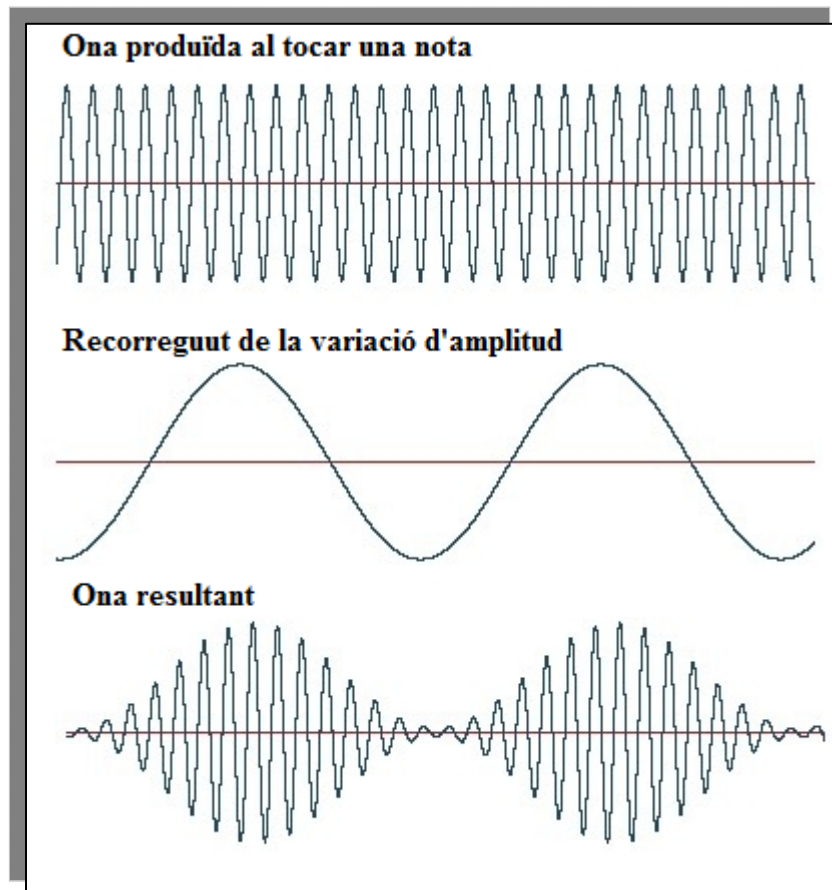


Figura 30: Ona produïda per un efecte de tremolo

- **VIBRATO**: és habitual confondre el trèmol amb aquest efecte, ja que són inversos l'un de l'altre. Recordem que el trèmol és la fluctuació de l'amplitud del senyal sense variar-ne la freqüència. Doncs el *vibrato* és la fluctuació de la freqüència del senyal sense variar-ne l'amplitud. Normalment les guitarres incorporen un pont flotant, és a dir, un pont amb molles i una palanca per poder fer el *vibrato* manualment i així donar més riquesa al so

Aquí podem apreciar la diferència entre el senyal anterior (trèmolo) i aquest (*vibrato*). El primer senyal és el senyal habitual en tocar una nota, el segon és la variació de la freqüència en tensar i treure tensió d'una corda. El tercer, que és el *vibrato*, varia la freqüència però l'amplitud es manté constant.

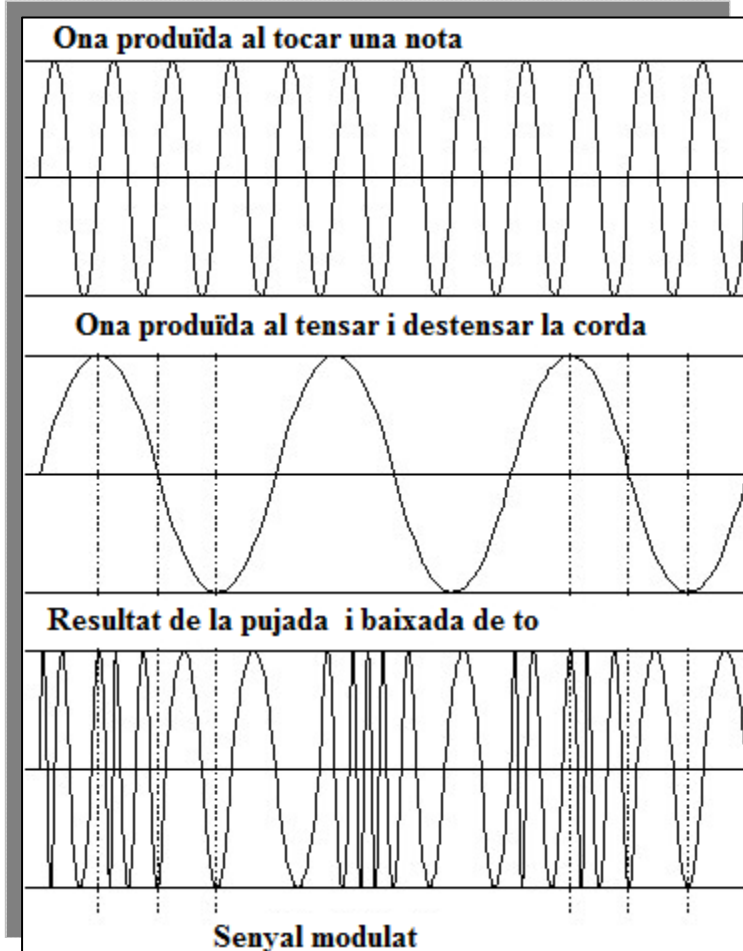


Figura 31: Ona produïda per un efecte de vibrato

- **CHORUS**: prové de la paraula anglesa que significa cors. S'obté barrejant el senyal original net amb el mateix senyal amb *vibrato*. El resultat es podria comparar amb dos instruments que toquen a la vegada, però de manera que un desafina lleument, això ve donat perquè el *vibrato* varia la freqüència de la nota, és a dir, produeix una nota una mica diferent de l'original, per això sembla que un dels dos instruments desafini (vegeu figura 32).



Figura 32: Pedal de chorus

- **EQUALITZADOR**: aquest és un pedal bastant important però molt tècnic. Això vol dir que no fa una gran variació al so, ni espectacular ni estranya, sinó que simplement hi causa petits canvis molt perfeccionistes. El que fa és variar l'amplitud dels tons base del so, amb la qual cosa permet obtenir el so amb uns tons més aguts (una freqüència més alta) o més greus (una freqüència més baixa). Un pedal d'aquest efecte normal té més o menys unes 10 bandes de freqüència: 31, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 i 16000 Hz. Es pot augmentar o reduir el volum 12 dB (decibels) o fins i tot més.

- **COMPRESSOR**: aquest és un pedal destinat a reduir el marge dinàmic d'un senyal. El que fa és atenuar el senyal elèctric, normalment en decibels, per protegir certs sistemes dels pics de senyal o per amagar els errors dels sons saturats, per exemple als diàlegs de les pel·lícules, o a les gravacions de veu. Però en el camp de la música sobretot s'usa per donar un so més trencat i dens i per amagar possibles errors de l'artista.

### **Algunes bases matemàtiques**

En aquest apartat analitzarem les bases matemàtiques dels efectes més senzills per poder arribar a entendre com són les lleis físiques que els acompanyen, per quines equacions es regeixen i quin sentit tenen.

- **DELAY**: el *delay* sincronitzat és aquell en què el retard correspon a una fracció sencera del temps, és a dir, una blanca, una negra, una corxera<sub>8</sub>, etc. Amb aquesta afirmació es pot escriure aquesta equació:



$$D = \frac{240 * 10^3}{n * T}$$

D = retard en mil·lisegons

n = denominador de la unitat de duració relatiu a la rodona (4 per negra, 2 per blanca, 8 per corxera...

T = tempo expressat en negres/minut

Amb aquesta equació senzilla podem formular problemes bàsics com per exemple:

Quin és el *tempo* d'un *delay* a corxeres que té un retard de 720 mil·lisegons?

$$D = (240 \times 10^3) / (n \times T) \rightarrow T = (240 \times 10^3) / (n \times D) = (240 \times 10^3) / (8 \times 720) = 41,6$$

Aquest *delay* de corxeres fluctua a un ritme de 41,6 negres/minut.

- REVERBERACIÓ: per estudiar aquest concepte hem de conèixer la magnitud (R60). Aquesta magnitud, mesurada en segons, és en realitat un temps. En concret és el temps que triga una ona secundària del so, que ha rebotat a les parets d'una habitació o un recinte, a reduir la seva intensitat (amplitud) 60 dB respecte de l'ona mare o principal. Estudiant aquest concepte, Sabine<sup>9</sup>, va desenvolupar l'equació que permetia mesurar aquesta magnitud:

$$RT_{60} = \frac{4 * \ln 10^6}{c} * \frac{V}{Sa} \approx 0,1611 m^{-1} \frac{V}{Sa}$$

c = velocitat del so a l'habitació

S = superfície total de l'àrea de l'habitació

A = coeficient d'absorció del so de les parets

V = volum de l'habitació

Com es pot veure, s'ha fet una aproximació del primer quocient suposant que el so es mou per l'aire, traient així una constant per facilitar l'equació.

Amb aquesta equació ens podríem plantejar un problema senzill, per exemple:

Calcula el volum d'una habitació per obtenir una reverberació RT60 = 3, si sabem que el producte entre la seva superfície i el quocient d'absorció és 65.

$$RT_{60} = 0,1611 \times (V / S \times A) \rightarrow V = (RT_{60} \times S \times A) / 0,1611 = 3 \times 65 / 0,1611 = \mathbf{1210,4 \text{ m}^3}$$

L'habitació té un volum de 1.210,4 metres cúbics.

8: Són símbols musicals que expressen la durada de les notes. Una semicorxera equival a una corxera, dos corxeres a una negra, dos negres a una blanca i dos blanques a una rodona.

9: Físic americà que fundà el camp de l'acústica arquitectònica.

- **FLANGER / PHASER**: el *flanger* i el *phaser* no tenen una equació específica com a efecte, sinó que s'estudien mitjançant el càlcul de les propietats de l'ona que produeixen. En aquest cas, el fenomen més lligat a l'efecte és el de les interferències. En realitat, el *flanger* és un canvi de fase, en què el senyal secundari passa a través d'un o més filtres i s'uneix de nou al senyal principal. Això es tradueix en una sèrie d'interferències constructives i destructives que provoquen una petita variació a la freqüència del sistema; per tant, varien la nota d'una forma subtil i progressiva. El *phaser* és el mateix efecte, però les interferències estan més separades entre si; per tant, els canvis de freqüència es donen en intervals més amplis.

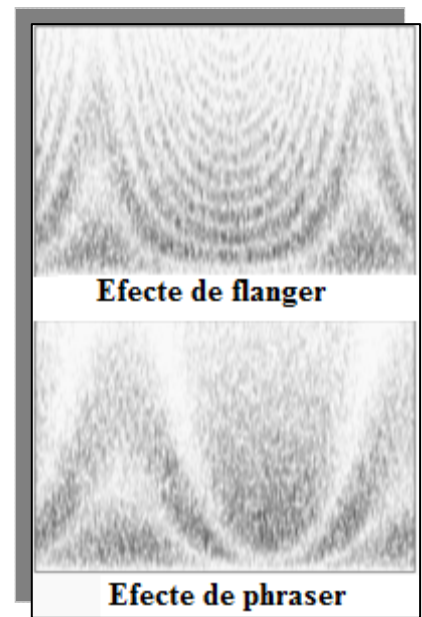


Figura 34: Ona resultant de l'efecte de tremolo

- **TRÈMOLO**: podem estudiar el trèmo de moltes maneres, només cal recordar que és la variació de l'amplitud de l'ona sense variar-ne la freqüència. Hi ha una equació que compara les freqüències de les dues ones que es sumen. Una de les ones determina amb el seu recorregut l'amplitud que tindrà l'ona variada, i l'altra en determina la freqüència. El gràfic següent és el mateix que el de l'apartat anterior referent al *vibrato*, però en aquest cas s'hi pot observar molt més l'adaptació de l'ona de freqüència més curta a l'altra, que adapta la seva freqüència amb la variació de l'amplitud de l'ona número 1, és a dir, l'original.

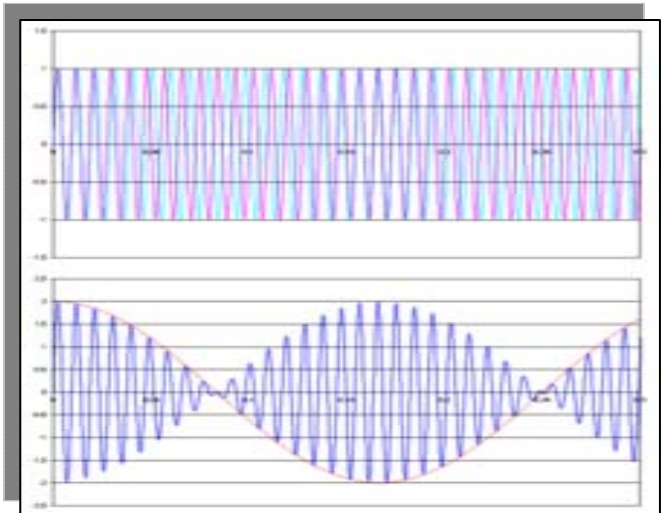


Figura 33: Efectes de flanger i phaser

F1 = freqüència de l'ona variada. F2 = freqüència de l'ona variadora

$$\sin(2\pi f_1 t) + \sin(2\pi f_2 t) = 2 \cos\left(2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} t\right) \sin\left(2\pi \frac{f_1 + f_2}{2} t\right)$$

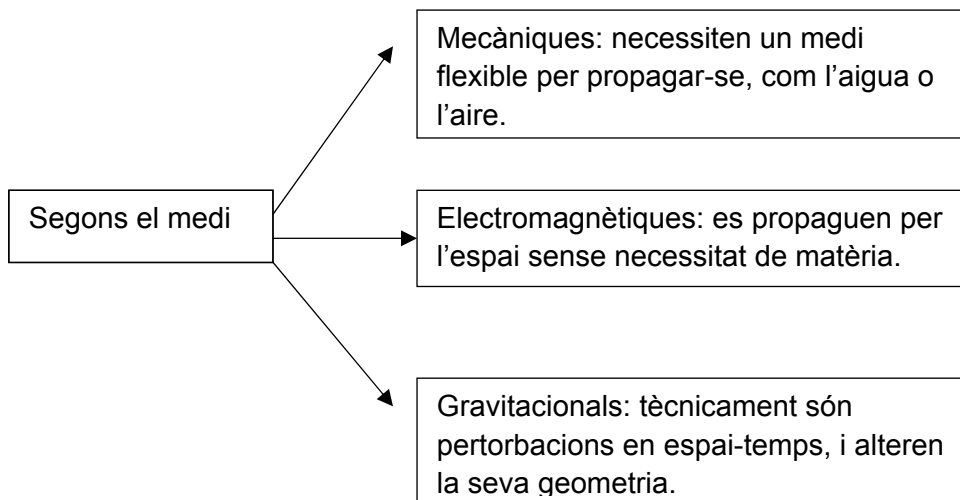
Sobre l'explicació matemàtica dels altres efectes explicats anteriorment, hem de dir que correspon a un nivell de coneixements d'electrònica o física dels quals nosaltres no disposem.

### 2.3. L'ONA

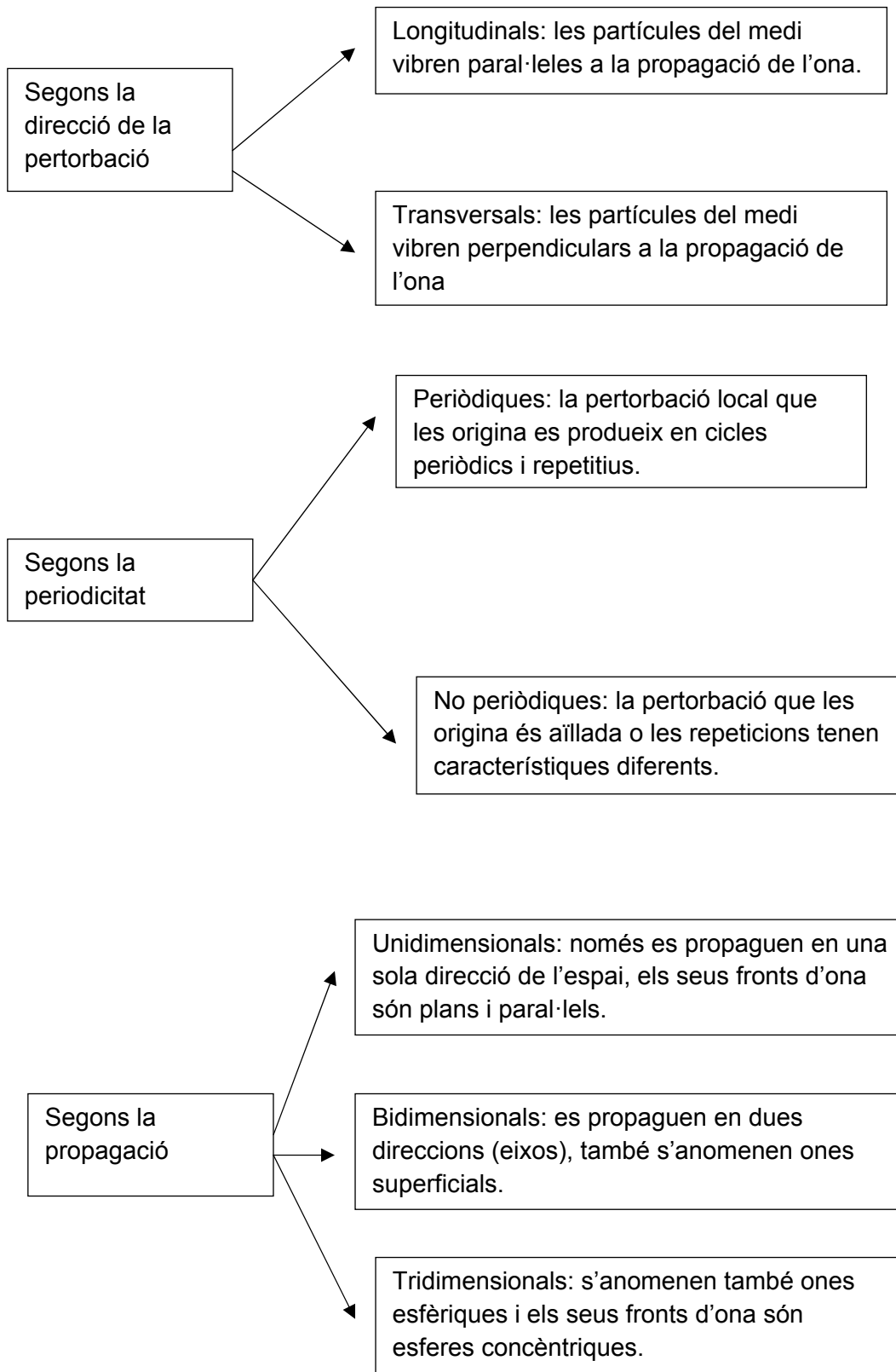
Per entendre del tot una ona s'han de tenir coneixements bàsics del seu moviment, el moviment ondulatori. Gràcies a aquests termes i explicacions podrem explicar posteriorment les ones que obtindrem amb més facilitat.

Les ones es poden entendre com el transport de pertorbacions en el temps. N'hi ha de molts tipus i es poden classificar en:

#### Classificació de les ones:







Amb això podem dir que l'ona que nosaltres estudiarem, la del so, és una ona transversal, tridimensional i mecànica.

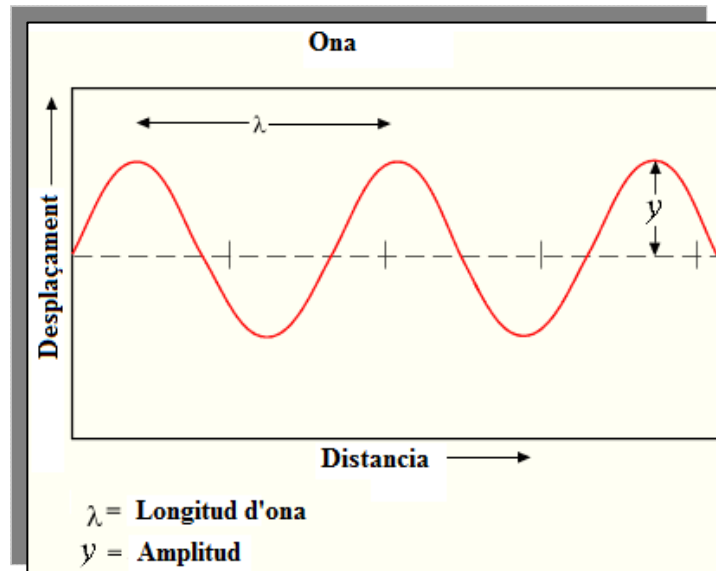
**Elements i característiques de l'ona:**

Els elements que permeten estudiar una ona són els següents:

- Cresta: és el punt màxim de l'amplitud.
- Amplitud (A): l'amplitud és la distància mesurada en metres entre la cresta de l'ona i el seu punt mitjà o eix.
- Període (T): el període és el temps, mesurat en segons, que triga l'ona a anar des d'una cresta fins a la següent.
- Freqüència (f): mesurada en Hertz (Hz), és el nombre de distàncies, de cresta a cresta o equivalents, que fa l'ona en un segon.
- Vall: és el contrari de la cresta, és a dir, el punt mínim de l'ona.
- Longitud d'ona ( $\lambda$ ): mesurada en metres, és la distància que hi ha entre dos punts màxims consecutius de l'ona.

Les ones tenen diverses característiques i són les protagonistes de molts fenòmens interessants. Tot i que no ens centrarem en els fenòmens en **Figura 35: Característiques de l'ona** farem una petita explicació:

- Difracció: quan l'ona passa per un obstacle més petit que la seva longitud d'ona, envolta l'obstacle negligint la seva presència sense patir cap modificació. De la mateixa manera, si l'ona passa per un forat més petit que la seva longitud d'ona, es propaga en totes les direccions a partir d'aquell punt com si no hagués estat obstaculitzada i el forat es converteix en un nou focus de l'ona<sup>10</sup>.
- Refracció: és el canvi de direcció de l'ona quan canvia d'un medi a un altre, un clar exemple és la llum sota l'aigua.
- Reflexió: va molt acompanyada de la refracció; es dona quan l'ona intenta passar d'un medi a un altre però rebot. Depèn dels medis i de l'angle en què impacti l'ona.
- Interferència: es produeix quan dues ones es combinen o xoquen en un mateix punt de l'espai.



<sup>10</sup>: Punt en el que es crea l'ona. En el cas del so, es propaga tridimensionalment

## 2.4. EL MOVIMENT DE LES ONES

El moviment ondulatori és el moviment que usa l'ona per desplaçar-se i ens ajuda a estudiar-ne els paràmetres.

### El moviment harmònic:

El moviment harmònic és el moviment més simple d'una ona, i es representa per l'equació:

$$x(t) = A \cos(\omega t - \varphi_0)$$

On es representa la funció de la posició respecte del temps. A l'equació apareix l'amplitud (A), així com la freqüència angular ( $\omega$ ), que és la velocitat angular en el moviment circular.  $\varphi$  és l'angle d'inici representat en radians,

Derivant aquesta equació podem aconseguir l'equació de la velocitat, i amb la segona derivada, l'equació de l'acceleració:

$$v(t) = A\omega \sin(\omega t - \varphi_0)$$

$$a(t) = -A\omega^2 \cos(\omega t - \varphi_0)$$

Amb això ja podem determinar bastants aspectes de l'ona, però per estudiar-la més a fons necessitem altres instruments.

Podem determinar aleshores equacions com aquestes sabent que el període és l'invers de la freqüència.

$$f = \frac{1}{T} \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

### El moviment ondulatori

Hi ha dos tipus de velocitat d'ona. En aquest treball només farem servir la primera d'elles, que rep el nom de velocitat de fase i ve regida per la norma següent:

$$V_p = \frac{\omega}{k} = \lambda f$$

Aquesta equació ens va molt bé perquè ens relaciona la longitud d'ona i la freqüència, dos termes molt usats en l'estudi i el càlcul del moviment d'una ona. En aquest cas (k) és el nombre d'ona.

Hi ha una equació de diferencials que descriu el moviment d'una ona harmònica simple amb una posició = x una velocitat = v i una amplitud = u. Depèn del medi per on es propagui l'ona, aquesta equació presentarà diverses variants lleument diferents.

$$\frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

Ara, suposant que la distància és ( $z$ ), hi ha el moviment ondulatori simple, que està descrit per l'equació següent:

$$y(z, t) = A(z, t) \sin(kz - \omega t + \phi)$$

On ( $k$ )=nombre d'ona i  $\phi$ =fase (angle de sortida). Amb aquests coneixements ja estem preparats per poder afrontar l'estudi de les ones del so.

### 3. TREBALL DE CAMP

#### 3.1. DISSENY DE L'EXPERIMENT

En aquest apartat comentarem i explicarem el treball de camp realitzat.

##### Objectius:

- Aconseguir ones sonores digitals d'una qualitat suficient com per poder comparar-les amb les ones creades pel software Audacity i demostrar que amb mitjans casolans es poden fabricar ones de qualitat semblant a l'ona "perfecta" del *software*.
- Comparar i estudiar les ones del *clean* (sense efecte) amb les de tres efectes més: *wahwah*, *overdrive* i octavitzador per conèixer les diferències entre els quatre efectes.
- Aplicar-hi el mètode científic amb rigor.
- Aconseguir respostes a les hipòtesis formulades:

"Podem aconseguir una ona de so (modulada) digital amb un pedal convencional d'una qualitat similar a la que produeix un efecte de *software*".

"Podem, amb mètodes bàsics, aconseguir un esquema complet de les ones dels sons de la guitarra i relacionar-les".

29

##### Material:

- Guitarra Stagg stratocaster
- Pedal multiefectes BOSS model m.e-25x
- 2 x Cable jack-jack<sup>11</sup>
- Programa Audacity
- Adaptador jack-minijack<sup>12</sup>
- Efectes desitjats prèviament creats al pedal multiefectes

11: Cable utilitzat en l'aspecte musical que posseeix els dos extrems igual en punta, poden ser mono o estèreo.

12: Cable igual que el jack-jack, però un dels extrems del qual és el típic extrem dels auriculars per l'ipod.

**Procediment:**

- Construir el circuit i encendre l'Audacity.
- Editar i crear els efectes al pedal multiefectes, s'ha de tenir en compte que no s'han de superposar i han de ser el més nítids possible, ja que l'ona variarà en funció d'això.
- Repassar totes les variables i els factors constants, com el volum, el to i la pastilla. En el nostre cas, hem posat el volum de la guitarra al punt màxim, el to també i el selector de pastilles estava al punt mitjà, de manera que les dues pastilles rebien el so.
- Realitzar l'experiment amb cada efecte. Per tenir una bona quantitat analitzable d'ones, és recomanable fer-ho en trasts i cordes diferents; en concret, nosaltres hem utilitzat per a cada efecte les sis cordes a l'aire, així com els trasts 3, 5, 7 i 12 de totes les cordes per tenir un ventall ampli de 120 ones. És important deixar sonar la nota de forma continuada per poder observar la disminució de l'amplitud fins al final.
- Crear a partir de les ones del *clean* ones de software dels efectes desitjats.
- Comparar les ones de *software* i les digitals visualment i físicament per poder respondre a la primera hipòtesi.
- Estudiar les característiques generals de les ones creades.
- Comparar les ones digitals entre sí i extreure'n les conclusions.

Esquema del circuit que hem usat per a la pràctica. És important seguir l'ordre dels elements, perquè altrament el senyal no arribarà a l'ordinador. L'adaptador es connecta a l'entrada de micròfon de l'ordinador.

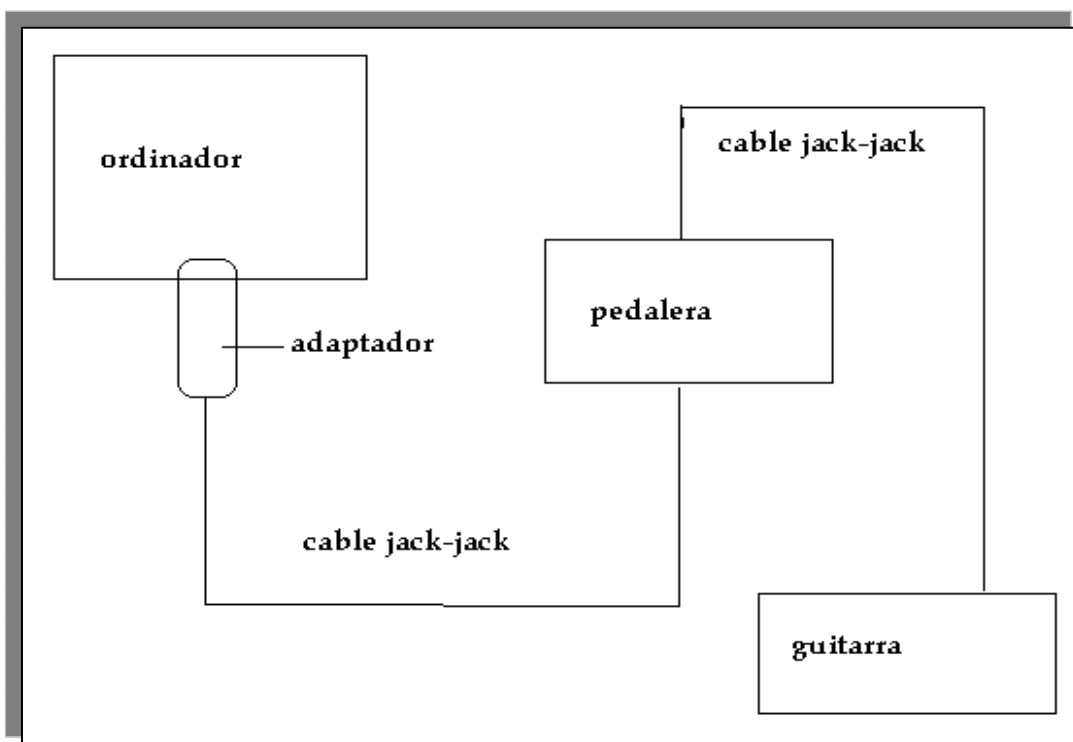


Figura 36 esquema del muntatge de la pràctica

### 3.2. DADES

Per dur a terme l'experiment, cal dir que hem aconseguit un nombre aproximat de 120 ones de so. Les ones que introduïm en aquest apartat són les que exposen d'una forma més clara les variacions que provoca el pedal, en aquest cas són de la corda 2, el *la*. Els trasts que farem servir per a l'estudi seran el 0, 3, 5, 7 i 12, és a dir, les notes *la*, *do*, *re*, *mi*, i *la* de l'octava alta, respectivament. Val a dir que l'estudi ha estat realitzat amb cada una de les ones per tal que el resultat sigui molt més real i ajustat. La resta de dades es troben l'annex del treball "dades experimentals".

Primer efecte, el *clean*:

El *clean*, de l'anglès, significa net, i fa referència a l'absència d'efectes; és el so amplificat que surt de la guitarra. Aquest és l'exemple de la seva ona.

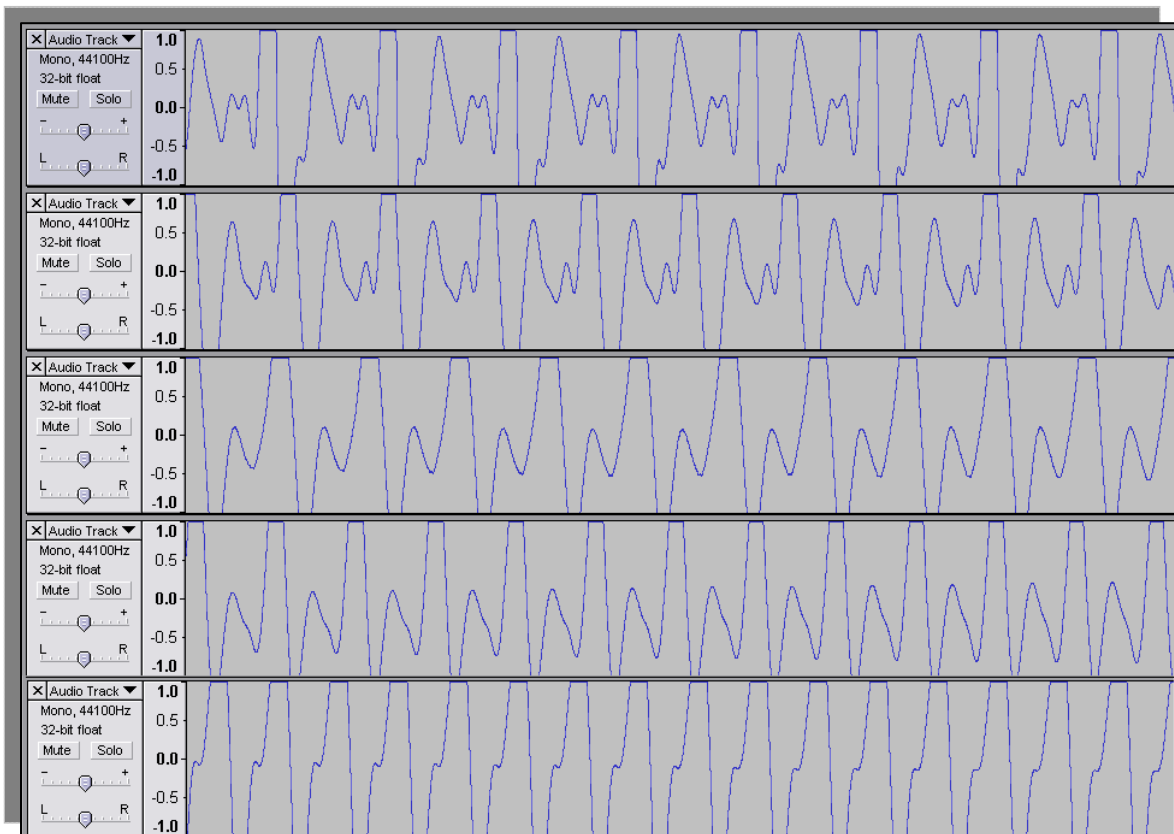


Figura 37: Ona sense efecte aplicat

Segon efecte, l'*overdrive*:

L'*overdrive*, com s'explica en apartats anteriors, és un efecte que produeix un tall a l'ona original que fa que soni més brut.

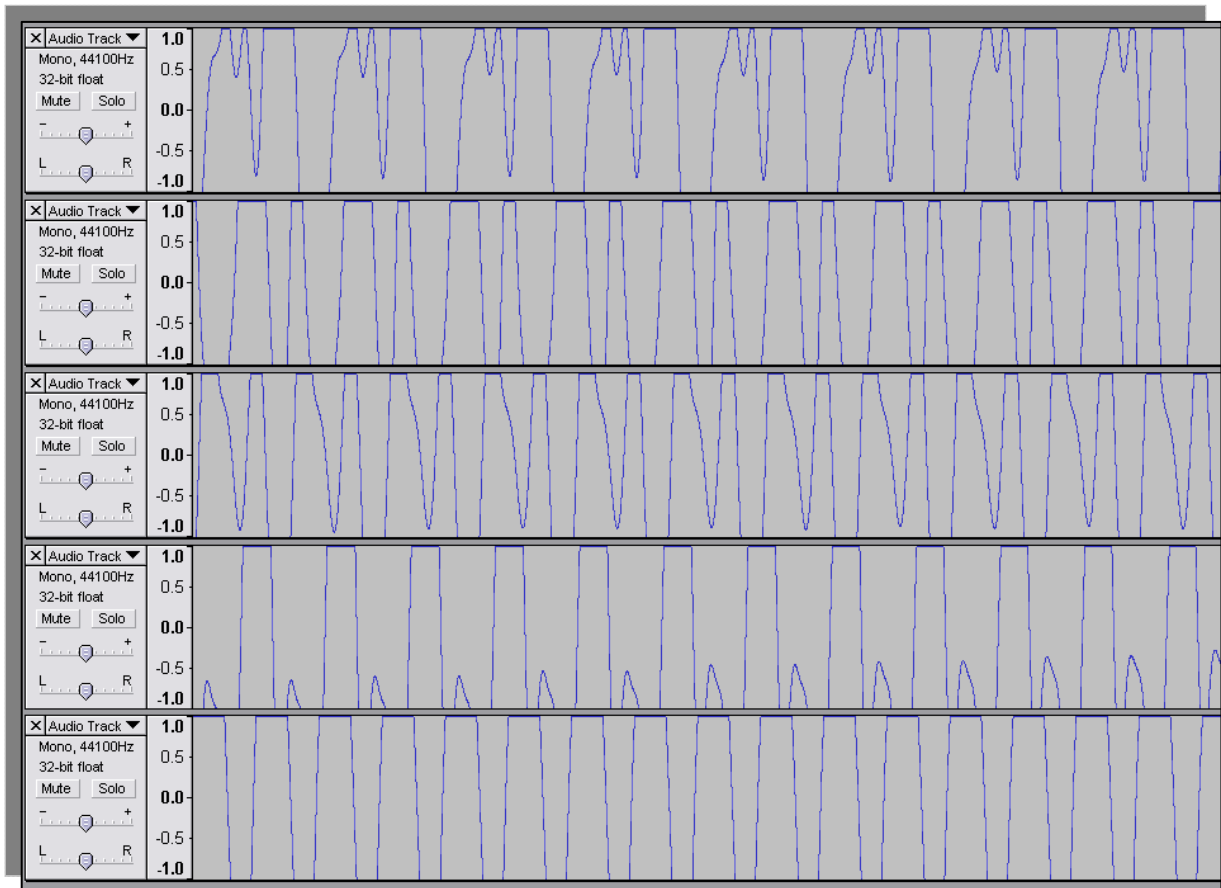


Figura 38: Ona amb efecte overdrive



## ESTUDI DE LA GUITARRA ELÈCTRICA I ELS SEUS EFECTES

Tercer efecte, l'octavitzador:

Aquest efecte en realitat és un *vibrato*, és a dir, varia la freqüència de l'ona a voluntat sense variar-ne l'amplitud, però amb la peculiaritat que l'augmenta concretament per tal que la nota artificial produïda sigui la mateixa que l'original però pujada una octava. Per plasmar-ho en un paper hem fet una foto de l'ona en dos instants diferents, quan la freqüència no està modulada, i quan sí que ho està.

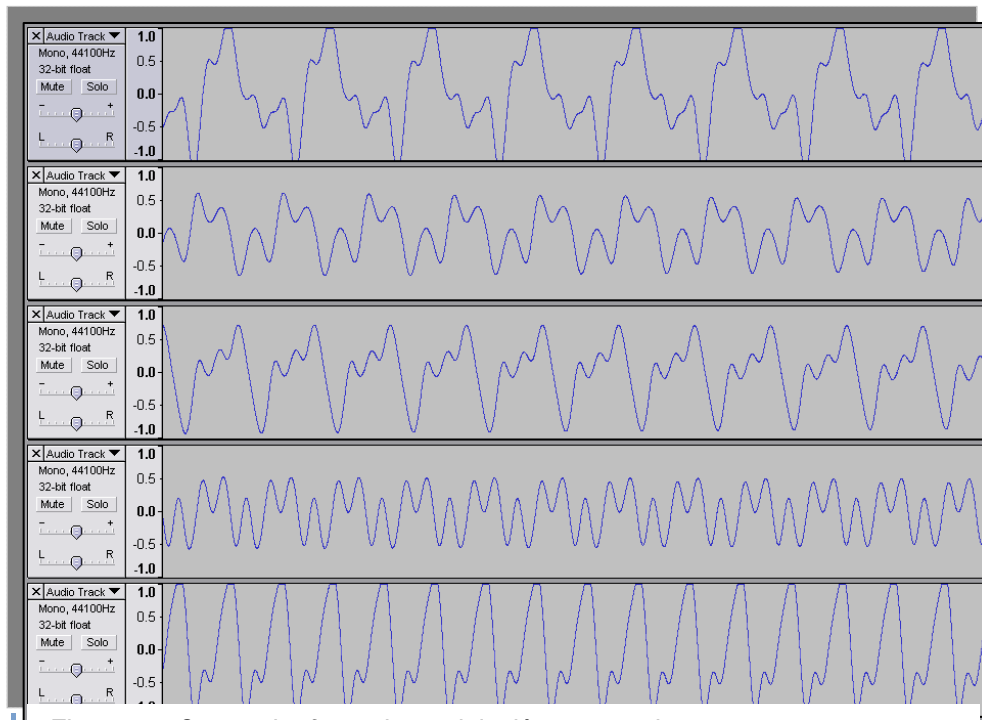


Figura 39: Ona amb efecte de modulació sense activar

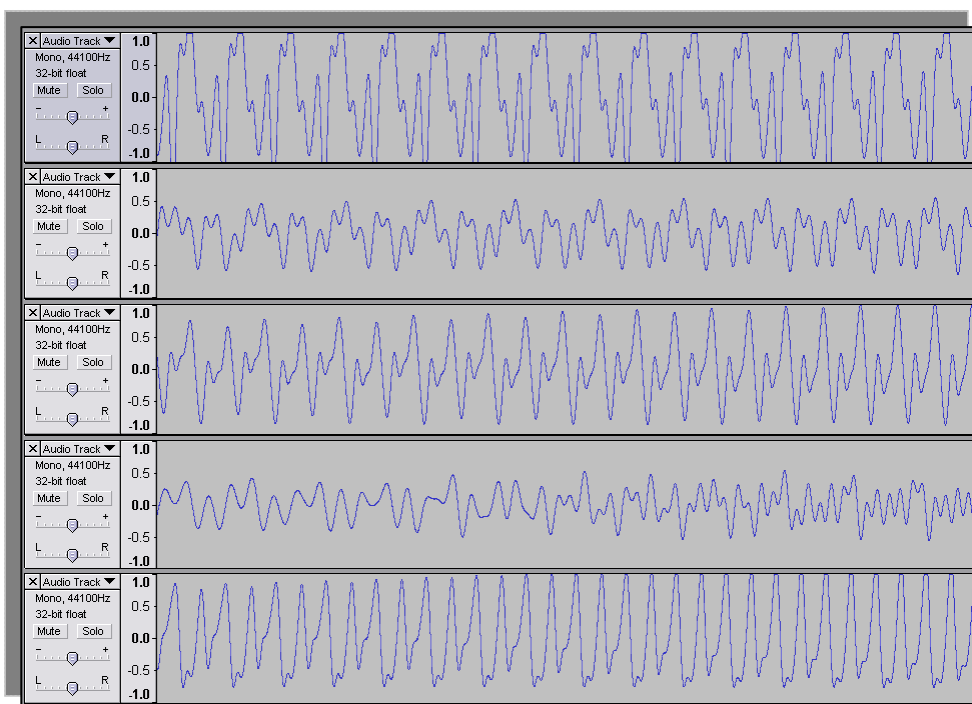


Figura 40: Ona amb efecte d'octavitzador activat

Quart efecte, el *wah-wah*:

El *wah-wah* és un efecte particular amb un funcionament que ja s'ha explicat en apartats anteriors. En aquest exemple es pot observar millor el que es produeix si es mira l'ona sense zoom.

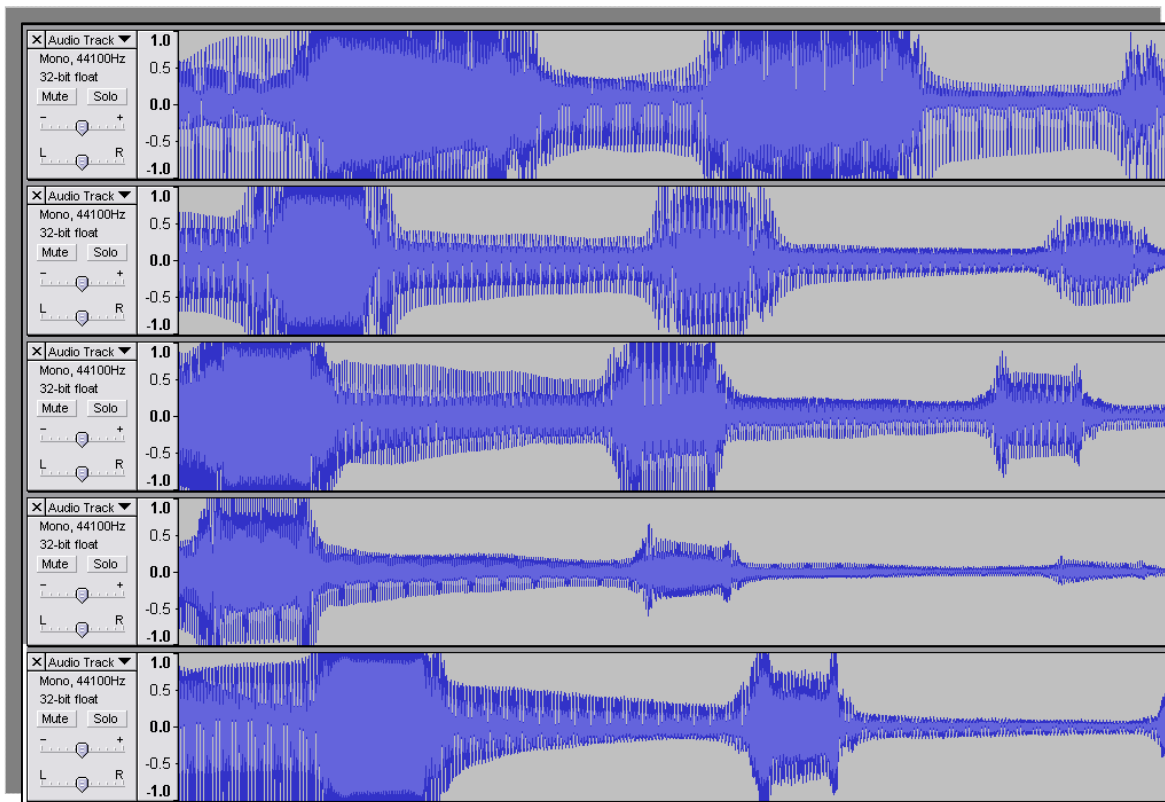


Figura 41: Ona amb efecte de wah-wah digital

Efecte de *software*, el *wah-wah*:

Hem escollit el *wah-wah* com a efecte de software per comparar-lo amb el *wah-wah* digital. Hem escollit aquest efecte perquè és molt visual.

El *wah-wah* escollit té una freqüència de 30 Hz i la fase inicial és de 0 graus; és l'efecte de *wah-wah* predeterminat de l'Audacity.

Aquest és el *wah-wah* de software fet per l'Audacity a partir de l'ona del *clean* que prèviament hem creat digitalment.

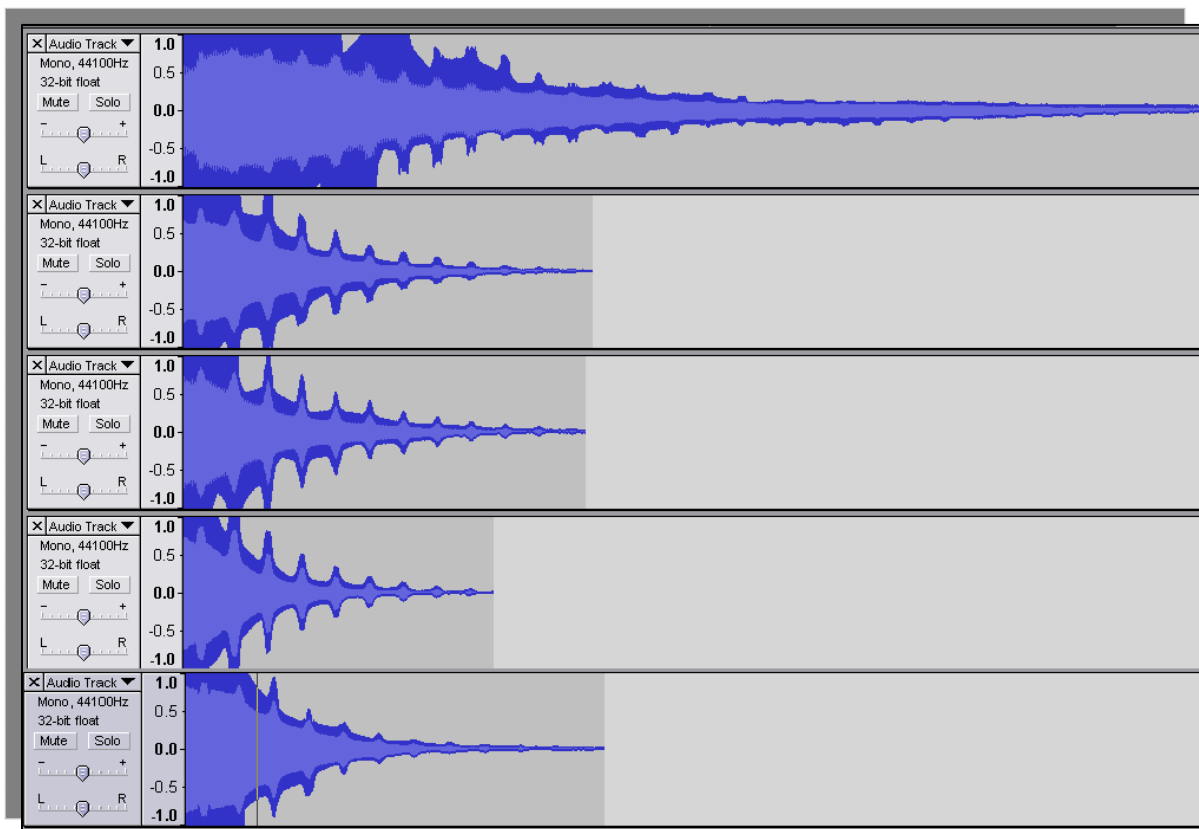


Figura 42: Ona amb efecte de wah-wah de software

### 3.3. RESULTATS

Primer de tot cal destacar quin és el mètode que fem servir per comparar ones.

Les nostres variables d'estudi són l'aspecte visual i sonor, el període d'ona, la freqüència d'ona, la longitud d'ona i l'amplitud en alguns casos.

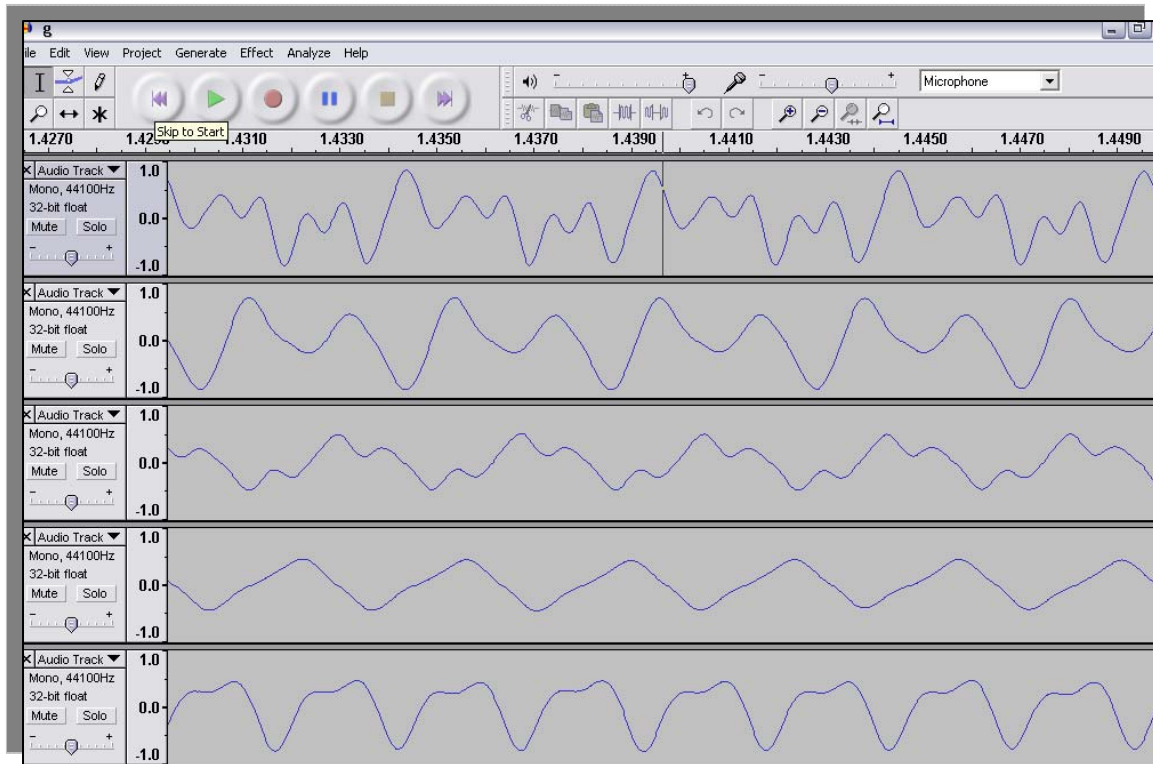
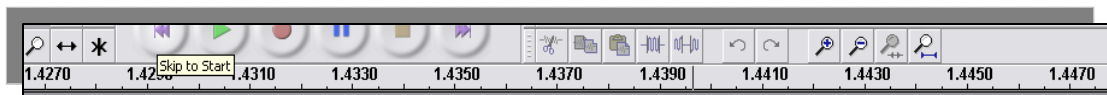


Figura 43: Pantalla estàndard del software audacity

Aquest és l'aspecte de la nostra eina de treball, l'Audacity. Com es pot observar, hi apareixen les ones que hem creat amb una sèrie d'opcions i taules per estudiar-les i modificar-les. Per estudiar les variables que hem esmentat fem servir el mètode següent:

- Aspecte visual i sonor: l'aspecte visual es veu perfectament al programa, ja que hi ha una opció de zoom que permet veure l'ona tal com vulgui l'observador. Pel que fa a l'aspecte sonor, l'Audacity també pot reproduir les ones sonores amb què s'està treballant.
- Període: gràcies a la barra que apareix a la part superior de la pantalla de la imatge (vegeu figura 44) podem determinar el període de l'ona. La barra és una progressió lineal del temps en segons. Sabent que el període són els segons que triga l'ona a definir un cicle, podem calcular el període mirant on comença i on acaba el cicle de l'ona i mirant l'interval de temps.



Freqüència: amb l'equació ( $f=1/T$ ) calculem la freqüència de l'ona.

- Longitud d'ona: amb l'equació ( $\lambda = V/f$ ) i sabent que la velocitat del so són aproximadament uns 360 m/s, calculem la longitud d'ona.
- Amplitud: la taula que apareix a la banda esquerra de la pantalla indica en metres l'amplitud de l'ona, observant-la podem descobrir l'amplitud (vegeu figura 45)

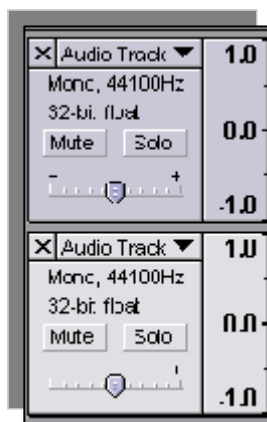


Figura 45: Senyalitzador d'amplitud d'ona del software alfasony

### Comparació d'efecte digital i del de software

A simple vista les modulacions d'una ona i una altra són pràcticament iguals, però si fem una observació més acurada, podem treure conclusions més clares.

Tot seguit es mostra un exemple de dues ones estretes fent un zoom a un mateix moment de l'ona, just quan comença a ésser afectada pel *wah-wah*.

La primera ona és del *wah-wah* del software i la segona és el digital.

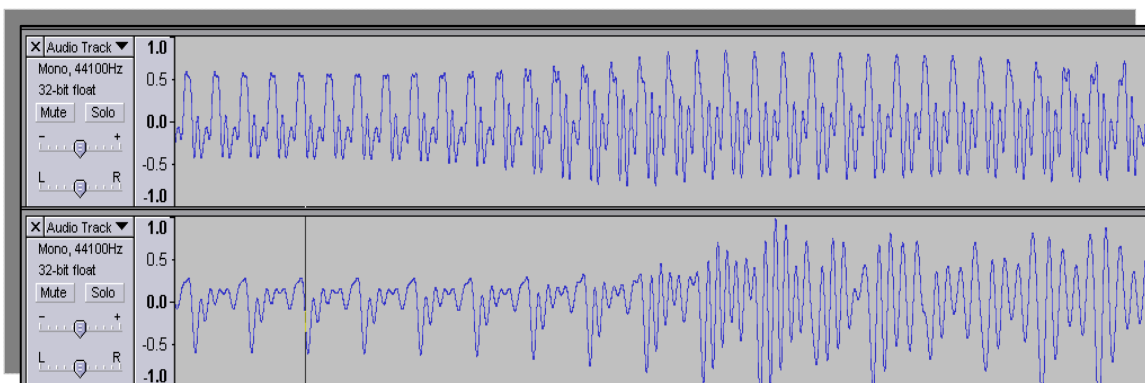


Figura 46: Comparació de l'efecte digital de wah-wah amb el de software

Per estudiar les freqüències d'aquests sons tan complexos, podem establir dos punts d'observació en les dues ones, abans del bloqueig dels aguts, i després del bloqueig dels aguts. Cal explicar que hem realitzat la comparació de les dues ones en més notes, però aquesta és la que ens ha semblat més rellevant.

- L'ona digital té un període inicial de 0,0085 s
- L'ona digital té una freqüència inicial de 117,6 Hz
- L'ona digital té un període final de 0,018 s
- L'ona digital té una freqüència final de 55,5 Hz
- Podem determinar que l'ona digital té un increment de longitud d'ona de  $6,18 - 2,9 = 3,28$  m
- L'ona de software té un període inicial de 0,0095s
- L'ona de software té una freqüència inicial de 105,2 Hz
- L'ona de software té un període final de 0,0195 s
- L'ona de software té una freqüència final de 51,3 Hz
- Podem determinar que l'ona de software té un increment de longitud d'ona  $6,7 - 3,2 = 3,5$  m

	Visualment	Període (s)	Freqüència (Hz)	Longitud d'ona (m)	Sonorament
<b>Ona digital</b>	Pics molt pronunciats	Increment de 0,0095	Increment de -62,1	Increment de 3,28	Molt exagerada, bastant bruta
<b>Ona de software</b>	Pics poc pronunciats	Increment de 0,01	Increment de -50,9	Increment de 3,5	Molt refinada, poc audible

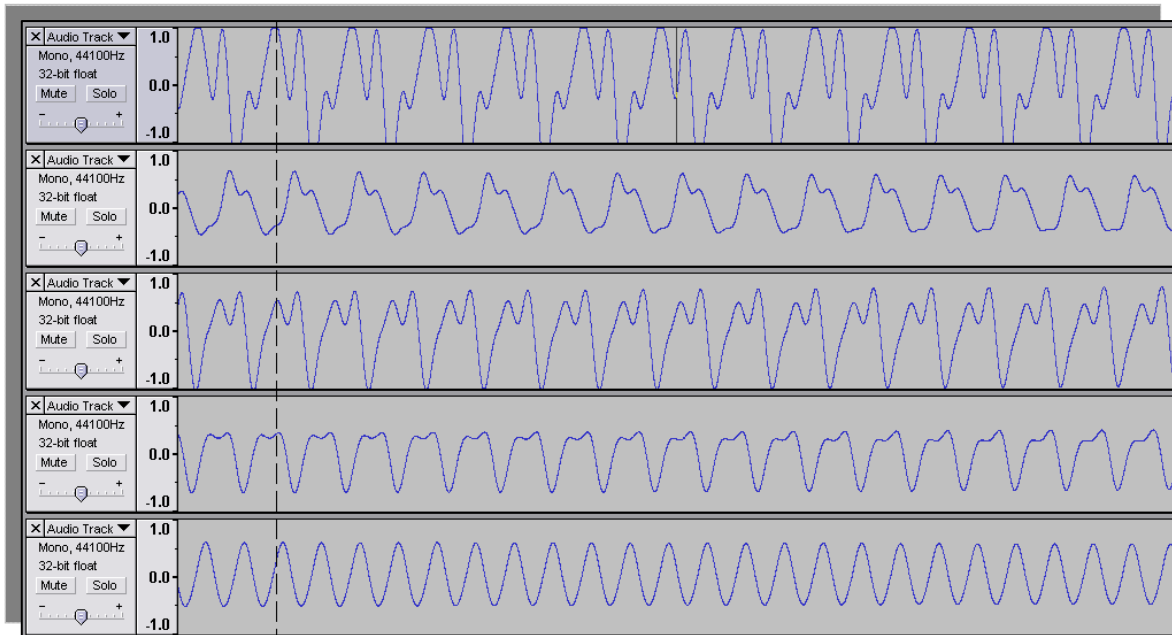
Figura 47: Comparació de l'efecte digital de wah-wah amb el de software

A partir dels estudis de les altres dades, podem dir que són bastant diferents les ones digitals de les que s'han creat automàticament amb el *software*. Els valors de període i freqüència difereixen conforme es va avançant de nota de greu a agut, a més a més l'ona digital és molt més irregular i bruta que la del *software*, més controlada i neta, ja que els seus pics són més suaus i periòdics (vegeu annex).

### Estudi d'una mateixa corda

En aquest apartat estudiarem les variacions de període freqüència i longitud d'ona quan es fan notes d'una mateixa corda en *clean*.

Cal repetir que l'estudi ha estat realitzat amb totes les cordes de l'efecte *clean*, que són sis. Aquí reflectim l'exemple de la primera corda, el *mi* greu.



39

Figura 48: Comparació de diferents notes d'una mateixa corda sense efecte aplicat

	Període (s)	Freqüència (Hz)	Longitud d'ona (m)
<b>Mi</b>	0,012	83,3	4,11
<b>Sol</b>	0,0105	95,23	3,6
<b>La</b>	0,009	111,11	3,08
<b>Si</b>	0,008	123	2,74
<b>Mi alt</b>	0,0055	181,8	1,88

Figura 49: Comparació de diferents notes d'una mateixa corda sense efecte aplicat

Podem demostrar la relació entre la nota i cadascun dels aspectes de l'ona. Així, quan la nota és més aguda:

- El període disminueix.
- La freqüència augmenta.
- La longitud d'ona disminueix.

Podem establir una relació entre cada semitò que augmenta la nota i els aspectes de l'ona, sabent que del *so*/al *la* hi ha un to i un semitò és igual a 1/2 to.

Per cada semitò que una nota augmenta:

- El període disminueix uns  $0,0007 \pm 0,00002$  s.
- La freqüència augmenta uns  $8 \pm 0,3$  s.
- La longitud d'ona disminueix uns  $0,26 \pm 0,04$  m.

Però això passa només a la primera corda, ja que observem en les altres que el període disminueix sempre el mateix per cada to (tot i que l'observació és tant difícil que costa trobar-li una raó), però la freqüència augmenta cada cop més, per exemple, si el període és 0,008 s, la freqüència serà 125 Hz, si el període disminueix a 0,006 s la freqüència augmenta a 166,66 Hz, cosa que ens diu que per cada 0,002 s que el període disminueix, la freqüència augmenta 41,66 Hz. Si seguim fent càlculs i reduïm el període a 0,004 s (baixant 0,002 s) hem de suposar que la freqüència serà 208,32 Hz, però si fem l'equació ens surt un resultat de 250 Hz, cosa que ens demostra que la freqüència creix cada cop més a mesura que ens acostem a notes més agudes, i que qualsevol intent de raó lineal que vulguem explicar és totalment FALS.

### Comparació dels efectes

Compararem els valors de l'amplitud, la freqüència i el període de cada efecte. També analitzarem, en l'ona, les conseqüències de l'aplicació de l'efecte.

Aquest estudi ha comportat llargues estones de càlculs senzills però repetitius a cadascuna de les ones estudiades. A l'exemple apareix el trast número 0 de la primera corda, el *mi* greu.

Com que analitzem l'amplitud, que és un valor que varia amb el temps, ens centrarem en l'ona a un temps aproximat de 3,7 segons.

Aquí apareixen els quatre efectes per ordre: *clean*, *overdrive*, octavitzador i *wah-wah*.

Visualment es pot observar molt bé la gran variació que produeixen els pedals d'efecte digitals, i es pot afirmar ràpidament que els pedals poden fer variar l'ona sonora que produeix la guitarra d'una forma considerable.



## ESTUDI DE LA GUITARRA ELÈCTRICA I ELS SEUS EFECTES

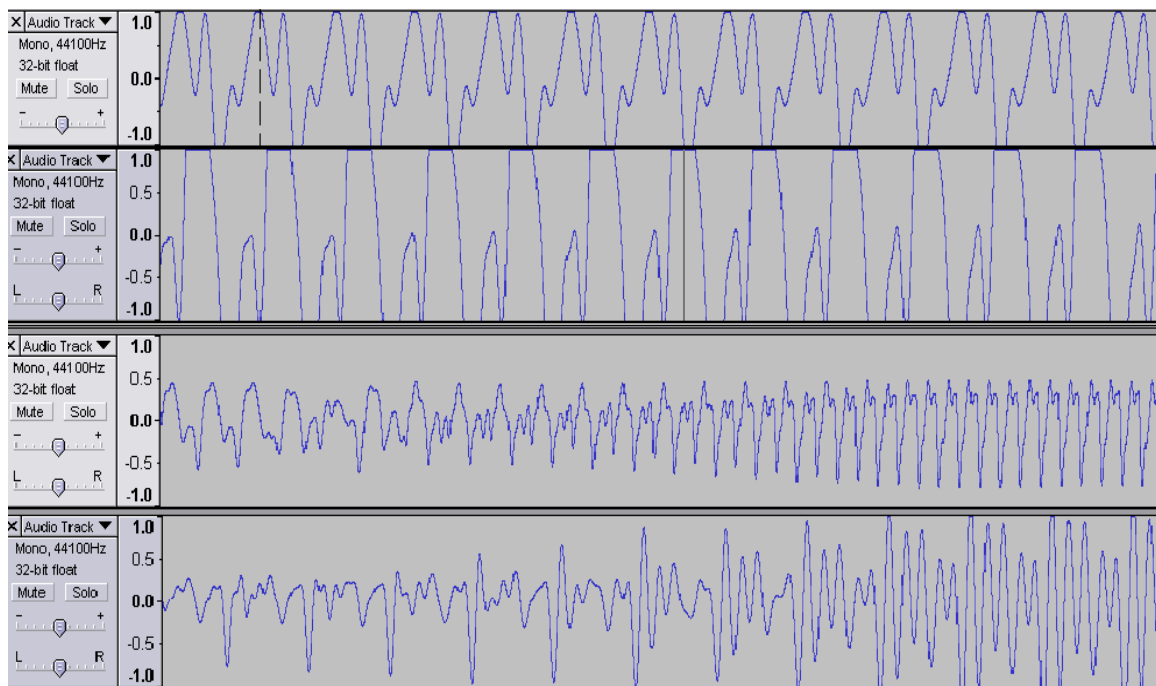


Figura 50: Comparació de les diferents modulacions d'ones aplicades

	Període (s)	Freqüència (Hz)	Amplitud (m)	Longitud d'ona (m)
<b>Clean</b>	0,012	83,3	1	4,11
<b>Overdrive</b>	0,013	76,9	>1	4,5
<b>Octavitzador</b>	De 0,014 a 0,005	De 71,4 a 200	0,5	De 4,8 a 1,7
<b>Wah-wah</b>	De 0,013 a 0,021	De 76,9 a 47,6	De 0,3 a 0,7	De 4,5 a 7,2

Figura 51: Comparació de les diferents modulacions d'ones aplicades

Cal remarcar que aquests són els resultats de la comparació només en aquest trast d'aquesta corda. També s'ha d'explicar que en l'octavitzador i el *wah-wah* apareix un interval, això és perquè l'ona passa d'estar modulada a no estar-hi; el primer estat és el no modulat i el segon és l'estat en què l'ona està afectada per l'efecte.

Hauríem de sobreentendre que les freqüències i els períodes haurien de ser els mateixos, ja que es tracta de la mateixa nota. Els possibles errors són provocats per l'aproximació a la taula de l'Audacity i són totalment humans.

*Clean*: no hi ha cap efecte que intervingui en l'ona. Per tant, només es donen les lleis esmentades a l'apartat anterior, tot i que l'inexacte càlcul del període fa les coses molt difícils. Almenys però, els resultats obtinguts no s'allunyen molt de la realitat, ja que l'ésser humà pot sentir sons de longituds d'ones de 0,02 m fins a 17 m.

*Overdrive*: aquest efecte, a part d'augmentar considerablement l'amplitud, cosa que fa que l'ona es mantingui molt més temps sense desaparèixer, talla els pics. Si ens hi fixem, l'ona té una forma força quadrada, a conseqüència dels talls, i és una forma específica de les ones distorsionades. Podem observar que ni la freqüència ni el període varien, cosa que ens confirma que la nota en si no resulta deformada sonorament. Estudiant totes les dades podem confirmar que l'estudi de l'*overdrive* ha estat bastant bo, ja que en totes les seves ones apareix la seva característica d'ona quadrada i no varia molt respecte a l'ona del *clean*.

Octavitzador: en realitat és un *vibrato*, és a dir, varia la freqüència sense variar-ne l'amplitud. L'ona dona fe de la teoria de l'efecte, i en totes les seves ones es pot veure perfectament, tot i així el nostre efecte és poc professional i quan augmenta la freqüència, l'amplitud també augmenta, cosa que no hauria de passar.

Podem determinar si la relació que hem descobert abans (per cada semitò augmentat la freqüència augmenta 8 Hz) s'acompleix en aquest apartat de la forma següent:

Una octava sencera són 12 semitons, per tant, la freqüència hauria d'augmentar uns 96 Hz. Estudiant la taula veiem que augmenta exactament 128,6 Hz. Això significa que o bé la llei és incorrecta i es comporta diferent (podríem entendre-la com una funció de segon grau), o bé que els errors que es poden cometre observant aquestes taules són molt grans, ja que podríem estar parlant d'un error absolut de  $\pm 30$  Hz. Ara ja sabem que la llei és incorrecta i podem descartar-la totalment després d'aquest altre exemple.

*Wah-wah*: aquest és l'efecte més difícil d'analitzar. Com es pot observar, el *wah-wah* varia la freqüència i augmenta l'amplitud. En realitat el que fa és bloquejar certes freqüències agudes del so periòdicament, i per això es donen aquests pics tan pronunciats a l'ona. Hem d'entendre que un so complex està format per la suma de molts sons simples, per això l'ona és tan irregular. És interessant com varia extraordinàriament la freqüència i el període de l'ona un cop és modulada per l'efecte. També és digne d'observar que, quan l'efecte no està modulant l'ona, aquesta no varia gaire respecte del *clean*, cosa que és una bona característica de l'efecte en qüestió. És interessant que en alguns pics, l'efecte sigui tan poc professional que és produeixin distorsions i es talli el pic com passa a l'*overdrive* (vegeu annex). La gran variabilitat d'aquest efecte ha fet difícils els càlculs de les seves característiques, creant alguna incongruència i fent les relacions entre període i freqüència una mica estranyes.

## 4. CONCLUSIONS

### 4.1. CONCLUSIÓ

Recordem les hipòtesis que ens havíem plantejat:

- Podem aconseguir una ona de so (modulada) digital amb un pedal convencional d'una qualitat similar a la que produeix un efecte de software.
- Podem, amb mètodes bàsics, aconseguir un esquema complet de les ones dels sons de la guitarra i relacionar-les.

Pel que fa a la primera hipòtesi, podem dir que tal com el treball de camp realitzat demostra, la qualitat del so de l'ona digital és comparable a la del software, però a nivell d'ona és bastant diferent. Creiem que sonorament es podrien confondre, però l'ona digital és molt poc professional, té pics trencats i és bruta, mentre que l'ona de *software* és molt més acurada i perfecta. Això ens fa pensar en dues coses: o bé el pedal és senzill i no ofereix grans matisos que li donin a la ona millors qualitats, o bé hi ha hagut alguna distorsió en el circuit o en la forma de tocar la guitarra, així com en la posició del selector de pastilles o el to. Tot i això, hi ha aspectes que s'assemblen molt entre una ona i l'altra pel fet que són la mateixa nota de guitarra. Amb això demostrem que la primera hipòtesis és FALSA.

Respecte de la segona hipòtesi, podem dir que ha estat molt difícil treballar amb tantes dades, però l'estudi de les ones ha estat un èxit i, gràcies als coneixements del moviment i les propietats de les ones, hem pogut estudiar ones fetes "a mà" i relacionar-les. La segona hipòtesis es pot considerar CERTA.

Creiem que la investigació hagués estat més precisa amb material professional de més alta gamma, tot i això era un repte aconseguir-ho amb mètodes "casolans".

Un punt negatiu del treball en general és que no hem pogut assolir tots els objectius que ens havíem proposat, tot i això la majoria han estat aconseguits amb èxit. El resum seria el següent:

- Hem après nous coneixements sobre el nostre instrument i hem assimilat la relació entre aquest i les ones del so. Així com el funcionament dels pedals, els tipus i la seva familiaritat amb l'ona que produeixen. Hem pogut plasmar la part teòrica mitjançant una investigació completa i hem analitzat ones de so mitjançant sistemes bàsics.
- Hem contactat amb un investigador de la Universitat Pompeu Fabra, especialista amb el tema, que ens ha ajudat a idear la pràctica i ens ha assessorat. L'experiència de treballar amb una persona que dominava la matèria tant dels del punt de vista científic com des del punt de vista musical ha estat molt enriquidor perquè ens ha ajudat a donar-li la visió d'amplitud i interdisciplinarietat que nosaltres volíem.
- Hem realitzat el treball de camp amb èxit i hem aconseguit respondre les nostres hipòtesis.
- La coordinació en parella no ha estat del tot satisfactòria per la dificultat de combinar horaris i la divisió exacta dels punts a realitzar per separat, però enriquidora des del punt de vista que tots dos som guitarristes del mateix grup de música i hem pogut aprendre conceptes que ens seran de molta utilitat en la nostra pràctica musical.

## 4.2. VALORACIÓ PERSONAL

Si bé en un principi pensàvem que seria un treball fàcil i interessant ha resultat ser un treball molt interessant i útil però també difícil i laboriós.

Creiem que aquest treball ha complert del tot les nostres expectatives, tot i que pensàvem que no ens suposaria una recerca tan exhaustiva i complicada de la informació. Estem satisfets, ja que malgrat no haver aconseguit la coordinació completa en la distribució de tasques, hem assolit tots els altres objectius i hem gaudit molt fent el treball, ja que ens hem divertit i hem après, i ho podem demostrar amb un document material que és el fruit d'hores i hores invertides encara que la dinàmica de treball hagi estat difícil en ser un tema poc conegut.

Un punt positiu d'aquest treball és la part pràctica, ja que t'adones que el teu treball produeix realment uns fruits i es veuen reflectits amb l'estudi de les ones i la seva relació.

Estem del tot satisfets amb la metodologia del treball.

Hem après molts conceptes nous sobre la guitarra i els efectes aplicables.

Creiem que al final el treball ha estat bastant teòric i sobretot ha derivat a l'àmbit musical més que al científic, cosa que no ens desagrada, tot i que en començar pensàvem que seria un treball totalment físic.

Creiem que ha estat decisiu el contacte que hem aconseguit amb l'investigador de la Universitat Pompeu Fabra, Enric Guaus, ja que ens ha assessorat d'una manera directa i ens ha ajudat a idear el treball de camp. El fet de disposar de coneixements tant musicals com matemàtics ens ha pogut donar aquell punt de confluència que nosaltres buscàvem entre les dues disciplines.

En resum, hem treballat de valent per aconseguir un bon treball i creiem que s'ha vist reflectit en el treball de camp i, per igual, a la memòria escrita, n'estem molt satisfets.

Com que abans de començar el treball ja coneixíem el tema mínimament, hem aconseguit realitzar la memòria utilitzant una bibliografia més aviat escassa, cosa que nosaltres valorem bastant, perquè és una manera de difondre els coneixements d'un mateix i no fer únicament de canal entre Internet i el lector.

## 5.BIBLIOGRAFIA

### **bibliografia**

- DENYER, Ralph. *Manual de guitarra*. Londres: Raices, 1985.
- SEGURET, Christian. *El mundo de las guitarras*. Espanya: Iberlibro, 1997.

### **webgrafia**

- bloguitar

“<<<http://bloguitar.es/equipo-2/equipo-otros/efectos-para-guitarra-parte-1>>>”

- freeinfosociety

“<<<http://www.freeinfosociety.com/electronics/schempage.php?cat=1>>>”

- teleformación

“<<[http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/Ondasbachillerato/ondasCaract/ondas-Caract\\_indice.htm](http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/Ondasbachillerato/ondasCaract/ondas-Caract_indice.htm)>>”

- angelfire

“<<<http://www.angelfire.com/empire/seigfrid/Movimientoondulatorio.html>>>”

- aula de física i química

“<<<http://fisica-quimica.blogspot.com/2006/05/ondas-y-propiedades-de-las-ondas.html>>>”

- tècnica audiovisual

“<<<http://tecnicaaudiovisual.kinoki.org/sonido/fisica.htm>>>”

- wikipèdia

“<<[http://es.wikipedia.org/wiki/Guitarra\\_electrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Guitarra_electrica)>>”

“<<[http://es.wikipedia.org/wiki/Efectos\\_de\\_guitarra](http://es.wikipedia.org/wiki/Efectos_de_guitarra)>>”

“<<<http://es.wikipedia.org/wiki/Onda>>>”

“<<<http://en.wikipedia.org/wiki/Reverberation>>>”

-estudio de grabación

“<<[<http://www.estudiodegrabacion.es/tecnico\\_de\\_sonido/equipos-en-estudio-de-grabacion/efectos-de-sonido/delay-flanger-chorus-distorsion-excitador-transpositor>](http://www.estudiodegrabacion.es/tecnico_de_sonido/equipos-en-estudio-de-grabacion/efectos-de-sonido/delay-flanger-chorus-distorsion-excitador-transpositor)>>”

-donreiman

“<<[<http://www.donreiman.com/Flanger/Flanger.htm>](http://www.donreiman.com/Flanger/Flanger.htm)>>”

-guitar FX

“<<<http://guitarfx.net/>>>”

-muzique

“<<<http://www.muzique.com/>>>”

## 6.AGRAÏMENTS:

Ens sentim molt satisfets d'haver aconseguit realitzar aquest treball amb èxit, per això volem agrair a les persones que ho han fet possible.

En primer lloc agraïm l'esforç del nostre tutor perquè malgrat no conèixer especialment la guitarra elèctrica i els conceptes musicals que nosaltres volíem investigar, ha valorat la nostra feina i l'interès que teníem per barrejar la música i la ciència. Fer-nos adonar que el treball era més difícil del que pensàvem i perseguir-nos per presentar a temps cadascuna de les parts per poder fer el seguiment han contribuït a sentir-nos satisfets de la feina feta.

Volem agrair especialment al senyor Enric Guaus, investigador de la Universitat Pompeu Fabra i especialista en el tema, que ens ha ajudat a idear la pràctica i ens ha aconsellat i informat en el progrés del nostre treball. Cal dir que un cop finalitzat, aquest treball s'entregarà al senyor Guaus per tal de que el faci públic a un *bloc* que està creant, on hi apareixen diversos treballs de recerca relacionats amb la guitarra elèctrica o les ones sonores.

Ens sentim profundament agraïts a les nostres famílies i amics (Elena Blaya, Francesc Navarro, Mireia Ruiz) pel suport moral que ens han proporcionat i per corregir la redacció del nostre treball i per proporcionar-nos informació important (Francesc Iñiguez, Elena Blaya i Xavier Garcés).

Agraïments secundaris a Ana Verdes per haver-nos aconsellat en diversos punts del treball, a Liliana Antoniucci per proporcionar-nos informació sobre altres treballs de recerca i agraïments al jurat que ha valorat la nostra exposició oral (Paco Sánchez, Miquel Vaillés i Ana Cervera) i al públic que ens ha vingut a veure.