

# ÉS FÍSICA LA MÚSICA?



Anàlisi  
d'instruments  
musicals

**Autors:** Ferran de Palol Coma  
i Martí Tarradas Bonany

**Curs:** 2013-2014

**Grup:** 2n Batxillerat A

**Tutor:** Rafel Juanola

**Data:** 7 d'octubre de 2013

*Music is music, that's it.*

DUKE ELLINGTON

# ÍNDEX

<b>INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS .....</b>	<b>4</b>
<b>1.- LES ONES .....</b>	<b>5</b>
1.1.- ONES HARMÒNIQUES .....	5
1.2.- ONES SONORES .....	9
1.3.- ONES ESTACIONÀRIES .....	9
1.4.- CARACTERÍSTIQUES DEL SO.....	12
<b>2.- TÈCNIQUES I EINES INFORMÀTIQUES PER ANALITZAR EL SO.....</b>	<b>13</b>
2.1.- TÈCNIQUES .....	13
2.2.- EINES INFORMÀTIQUES.....	15
<b>3.- OPTIMITZACIÓ DE LES MOSTRES SONORES.....</b>	<b>17</b>
3.1.- FORMATS DE SO .....	17
3.2.- INTENSITAT.....	18
3.3.- TO .....	20
<b>4.- PIANOS.....</b>	<b>22</b>
4.1.- PIANOS OBJECTES D'ESTUDI.....	22
4.2.- COMPARATIVA ENTRE PIANOS.....	25
<b>5.- GUITARRES.....</b>	<b>30</b>
5.1.- GUITARRA ESPANYOLA.....	30
5.2.- GUITARRA ACÚSTICA.....	31
5.3.- GUITARRES ELÈCTRIQUES.....	32
5.4.- COMPARATIVA ENTRE GUITARRES .....	35
<b>6.- COMPARATIVA ENTRE PIANOS I GUITARRES.....</b>	<b>37</b>
6.1.- GUITARRA ESPANYOLA I KAWAI RX-2 .....	37
6.2.- FENDER TELECASTER I YAMAHA YUS3 .....	38
<b>CONCLUSIÓ .....</b>	<b>40</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>42</b>

## INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

L'objecte d'estudi d'aquest treball són les ones produïdes per pianos i guitarres. Hem escollit aquest tema perquè relaciona dos mons que són del nostre interès, la física i la música. Molts dels grans físics de la història com ara Richard Feynman o Albert Einstein eren músics i fins i tot Einstein va confessar que sinó hagués sigut físic s'hauria dedicat a la música. Curiós fet, ja que les dues temàtiques semblen oposades. La física és la ciència experimental més lògica i matemàtica, en canvi, la música és una disciplina artística que provoca emocions. Malgrat això, veurem en el treball que tenen més punts de contacte del que pot semblar a primera vista.

En una botiga s'hi poden trobar diferents guitarres. Algunes d'elles no arribaran als 200 euros, per altra banda, n'hi hauran que sobrepassaran els 2.000. Són realment més bons els instruments més cars? A què és deguda aquesta diferència de preu? És causada únicament per l'estètica? Pel prestigi de la marca? Preguntes tant vulgars com aquestes són les que intenta respondre aquest treball. Volem trobar diferències en termes físics entre un instrument bo, dolent, car o barat. Tanmateix també es compara el so de guitarres i de pianos per tal d'entendre quina dissemblança en els sons produïts per un i l'altre podem trobar-hi.

Per realitzar correctament l'estudi s'han dut a terme diferents passos. Primerament hi ha hagut un procés de documentació sobre les ones, el so i les seves característiques. Cada instrument té un timbre, una manera de sonar diferent, i aquest timbre està determinat per les ones que el formen, el que anomenarem harmònics. Seguidament, s'ha realitzat una recerca d'eines informàtiques i tecnològiques per poder gravar i processar degudament el so. Amb l'evolució dels aparells informàtics, fer una anàlisi d'aquestes característiques és més senzill que mai, perquè els aparells són pràcticament d'ús quotidià. El darrer pas abans de comparar els instruments musicals ha estat establir uns paràmetres de gravació.

I ja estem a punt per respondre a la pregunta: és física la música?

## 1.- LES ONES

Una ona és la propagació d'una pertorbació d'alguna propietat d'un medi que es propaga a través de l'espai transportant energia.

Una de les classificacions de les ones és segons el tipus de medi que necessitin per propagar-se:

- Ones mecàniques: propagació d'una pertorbació de tipus mecànic a través d'algun medi material elàstic pel qual es transmet l'energia mecànica de l'ona. El medi físic és necessari per l'existència de l'ona.
- Ones electromagnètiques: transmissió d'energia electromagnètica mitjançant la propagació de dos camps oscil·latoris (l'elèctric i el magnètic). El medi físic no és necessari per l'existència de l'ona, per tant, també es propaguen en el buit.

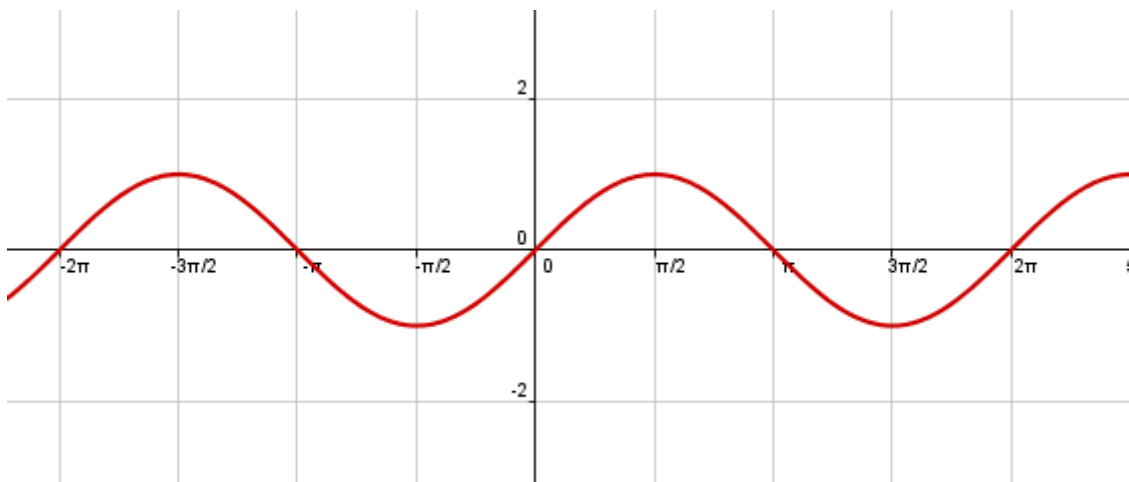
### 1.1.- ONES HARMÒNIQUES

Les ones harmòniques són les que tenen el seu origen en les pertorbacions periòdiques produïdes per un medi elàstic per un moviment harmònic simple.

Les ones harmòniques es descriuen matemàticament amb la funció sinus:

$$y = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Així que la representació gràfica d'una ona harmònica (tal com la de la funció sinus) és:



**Figura 1.1** Funció sinus

Les ones harmòniques tenen quatre característiques:

- Amplitud d'ona,  $A$ : valor màxim de l'elongació,  $y$ . La seva unitat en el SI és el metre, m.
- Longitud d'ona,  $\lambda$ : distància mínima entre dos punts consecutius que es troben en el mateix estat de vibració. La seva unitat en el SI és el metre, m.
- Període,  $T$ : temps que empra el moviment ondulatori a avançar una longitud d'ona. La seva unitat en el SI és el segon, s.
- Freqüència,  $f$ : nombre d'ones que passen per un punt del medi per unitat de temps. La seva unitat en el SI és l'hertz, Hz.

Si es considera la propagació d'una ona com un MRU (Moviment rectilini uniforme), es pot expressar la velocitat de propagació com a:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

On  $\Delta s$  és l'espai recorregut;  $\Delta t$  és l'increment de temps i,  $v$  és la velocitat.

Tenint en compte que l'espai recorregut en una ona és la longitud d'ona i l'increment de temps és el període es conclou:

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

Considerant, també, que el període és l'invers de la freqüència ( $f = \frac{1}{T}$ ) trobem que:

$$v = \lambda f$$

Per tant:

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

La velocitat de propagació de les ones transversals en una corda s'expressa matemàticament com:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

On  $T$  és la tensió de la corda i,  $\mu$  la massa per unitat de longitud.

Finalment, trobem que la freqüència d'una ona en una corda s'expressa mitjançant:

$$f = \frac{\sqrt{\frac{T}{\mu}}}{\lambda}$$

### 1.1.1.- ENERGIA, POTÈNCIA I INTENSITAT D'UNA ONA HARMÒNICA

L'energia transmesa per una ona harmònica és proporcional al quadrat de l'amplitud de l'ona i al quadrat de la freqüència:

$$E = 2\pi^2 mA^2 f^2$$

Com que  $f = \frac{\omega}{2\pi}$ , es pot expressar l'energia com:

$$E = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2$$

La potència es defineix com:

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

On E és el treball, expressat en joules, J; i,  $\Delta t$  és el temps. Les unitats de la potència en SI són el watts, W.

Quan es produeix una pertorbació s'origina un front d'ona. Després d'un temps t, el moviment ondulatori ha assolit tots els punts d'una circumferència de radi R. Tots aquests punts, que constitueixen un front d'ona, presenten el mateix estat de vibració, vibren en concordança de fase.

La direcció de propagació de les ones és perpendicular al front d'ona, i la seva velocitat és la mateixa en totes les direccions radicals.

La intensitat, I, d'una ona és l'energia que travessa per unitat de temps una superfície unitat perpendicular en la direcció de propagació de l'ona:

$$I = \frac{\frac{E}{\Delta t}}{S}$$

Així doncs:  $I = \frac{P}{S}$

Les unitats en SI de la intensitat són el  $\text{Js}^{-1}\text{m}^{-2}$ , o bé, el  $\text{Wm}^{-2}$ .

Com que la superfície d'una esfera és  $S = 4\pi r^2$  trobem que:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Així doncs, es pot observar com la intensitat disminueix en augmentar la distància del focus emissor.

Si es consideren dues superfícies esfèriques a distàncies  $R_1$  i  $R_2$  del focus emissor, la intensitat en cada superfície serà:

$$I_1 = \frac{P}{4\pi R_1^2} \text{ i } I_2 = \frac{P}{4\pi R_2^2}$$

D'aquí es dedueix:  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$

A més, com que l'energia és proporcional al quadrat de l'amplitud, també ho ha de ser de la intensitat. Per tant, l'amplitud de la vibració és inversament proporcional a la distància al focus emissor:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1^2}{A_2^2}, \frac{A_1}{A_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Com s'ha mencionat anteriorment, a mesura que l'ona s'allunya del focus emissor disminueix la seva energia. Això és degut a:

- L'atenuació: l'energia propagada es distribueix en una superfície major.
- L'absorció: el fregament de partícules del medi fan que disminueixi l'energia.

Es pot demostrar que la intensitat d'una ona decreix exponencialment amb la distància del focus emissor. Això s'expressa amb l'expressió següent:

$$I = I_0 e^{-\beta R}$$

On  $I$  és la intensitat de l'ona a la distància  $R$  del focus emissor;  $I_0$  és la intensitat inicial;  $\beta$  és el coeficient d'absorció del medi i,  $R$  és la distància del focus emissor.



## 1.2.- ONES SONORES

El so és una vibració o pertorbació mecànica d'algun cos que es propaga en forma d'ones a través de qualsevol medi material elàstic. L'ona mitjançant la qual es propaga el so a través d'un medi material s'anomena ona sonora.

Una altra característica important del so és que és una ona harmònica i, per tant, periòdica. En canvi, si la ona no és harmònica i, per tant, no és periòdica no es tracta de so sinó de soroll.

Les ones sonores són ones longitudinals. Són successives compressions i dilatacions del medi de propagació produïdes per un focus de moviment vibratori.

Els humans tenim limitacions pel que fa a la percepció del so. Aquestes limitacions són en la intensitat i en el to.

Pel que fa la intensitat podem percebre a partir de  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup> i percebem una sensació dolorosa a partir de 1 W/m<sup>2</sup>. Hi ha molts ordres de magnitud en aquestes dues xifres, és per aquest motiu que el nivell d'intensitat sonora en comptes de mesurar-se en W/m<sup>2</sup> es mesura en decibels (dB). Matemàticament s'expressa:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Essent I la intensitat del so en W/m<sup>2</sup> i, I<sub>0</sub> la intensitat mínima ( $10^{-12}$ W/m<sup>2</sup>).

### 1.2.1.- SONS COMPOSTOS

Un so compost és una superposició de diversos sons purs a diferents freqüències. Joseph Fourier va proposar un teorema el qual assegura que qualsevol funció periòdica es pot expressar com la suma de funcions sinusoidals:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos nx + b_n \sin nx$$

Per tant, qualsevol ona composta es pot descompondre en ones simples.

## 1.3.- ONES ESTACIONÀRIES

Una ona estacionària és aquella ona produïda per interferència de dues ones harmòniques de la mateixa amplitud i la mateixa freqüència, que es propaguen en la mateixa direcció i en sentit contrari.

Les ones estacionàries es produeixen, per exemple, quan una corda es veu afectada per un moviment ondulatori. En aquest cas, les ones estacionàries són provocades per les reflexions que aquest moviment experimenta en els extrems de la corda.

Matemàticament, una ona estacionària s'expressa amb la següent expressió:

$$y_r = 2 \cdot A \cdot \cos kx \cdot \sin \omega t = A_r \cdot \sin \omega t$$

### 1.3.1.- VENTRES I NODES EN LES ONES ESTACIONÀRIES

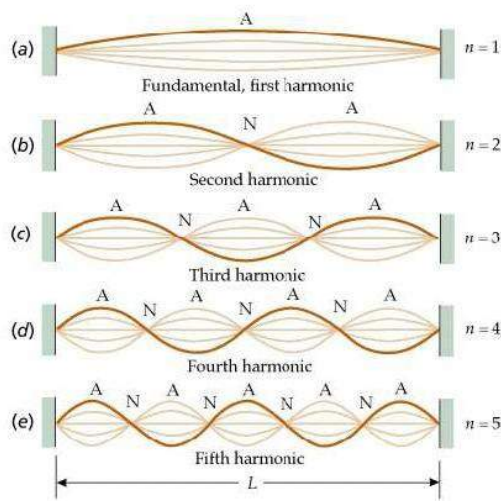
Els ventres són punts d'amplitud màxima en valor absolut. Matemàticament, la posició dels ventres es calcula amb l'expressió:  $x = 2 \cdot n \frac{\lambda}{4}$

Els nodes són punts d'amplitud nul·la. La posició dels nodes es calcula amb l'expressió:  $x = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{4}$

### 1.3.2.- ONES ESTACIONÀRIES EN UNA CORDA

Considerant una corda de longitud L fixa pels seus extrems:

- En apartar-la de la seva posició d'equilibri, les forces elàstiques de recuperació la fan vibrar.
- Les ones que es propaguen en sentits contraris, a causa de les reflexions en els extrems de la corda, originen diverses ones estacionàries.
- Cadascuna de les ones estacionàries components del moviment resultat que pot adoptar la corda en la seva vibració té una freqüència característica i s'anomena mode normal de vibració.



**Figura 1.2** Modes de vibració

- Els extrems de la corda, d'abscisses 0 i L, són nodes ja que no hi ha vibració en aquests punts.
- Les longituds d'ona de cadascun dels modes normals de vibració es calculen segons la següent expressió:

$$\lambda = \frac{2L}{n}$$

Així doncs, tan sols són possibles les ones estacionàries la longitud d'ona de les quals és un submúltiple del doble de la longitud de la corda.

- Cada mode normal té associada una freqüència que depèn de la velocitat de propagació de les ones en la corda. La freqüència associada a cada mode normal ve donada segons:

$$f = n \frac{v}{2L}$$

La freqüència menor s'anomena freqüència fonamental o primer harmònic; la següent, segon harmònic; i, així, successivament.

La relació entre dels 10 primers harmònics i el grau que representa en l'escala musical ve donada per la relació següent:

Nombre de l'harmònic	Interval
1r harmònic	Tònica
2n harmònic	Octava
3r harmònic	Quinta
4t harmònic	Octava
5è harmònic	Tercera
6è harmònic	Quinta
7è harmònic	Sèptima menor
8è harmònic	Octava
9è harmònic	Segona
10è harmònic	Tercera

## 1.4.- CARACTERÍSTIQUES DEL SO

El so té quatre propietats bàsiques: altura o to, duració, intensitat o volum i timbre.

### 1.4.1.- ALTURA O TO

L'altura depèn de la freqüència. Com més freqüència més agut és el so, pel contrari, com menys freqüència més greu. El rang d'audició de l'oïda humana va dels 20 als 20000 Hz. Els instruments musicals només poden produir una part del rang d'audició humà. Així doncs hi ha instruments que produeixen sons greus i d'altres que produeixen sons aguts. El rang de freqüències que produeix un instrument musical s'anomena tessitura.

### 1.4.2.- DURACIÓ

La duració és la relació amb el temps que té la vibració. Tanmateix, la música no utilitza duració absoluta sinó que utilitza la duració respecte els altres sons.

### 1.4.3.- INTENSITAT O VOLUM

La intensitat, com ja s'ha definit anteriorment, es la quantitat d'energia acústica que conté el so. Per tant, aquesta depèn de l'amplitud. Així doncs, la intensitat és la característica que ens permet dir si un so és fort o fluix.

### 1.4.4.- TIMBRE

El timbre és la qualitat del so que ens permet distingir diferents sons encara que tinguin la mateixa altura, duració i intensitat. El que produeix els diferents timbres són els diferents harmònics que continguin el so. Així doncs, els instruments musicals se senten diferents perquè produeixen diferents harmònics.

## 2.- TÈCNiques I EINES INFORMÀTIQUES PER ANALITZAR EL SO

### 2.1.- TÈCNiques

Per aconseguir les gràfiques, que posteriorment s'utilitzaran per a la comparació dels diferents sons, s'ha utilitzat una sèrie d'eines i un cert procés.

Aquestes eines utilitzades són: els instruments a analitzar, una gravadora, un ordinador i programes informàtics: Audacity, Spek i un programa d'edició d'imatge

El primer pas del procés és realitzar un so amb un determinat to i un timbre específic. Cal destacar que el fons ha de ser mínim per a aconseguir un so acceptable.



**Figura 2.1** Gravació d'un so produït per un piano

Aquest so és captat per la gravadora, la qual grava en format WAV. Llavors es passa l'arxiu a l'ordinador on serà ordenat, en carpetes, entre totes les altres mostres de so.

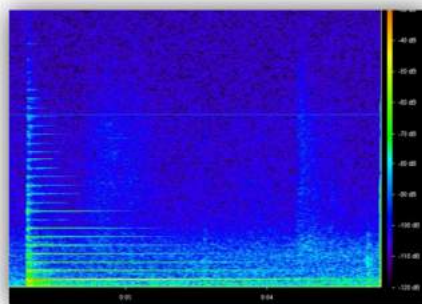


**Figura 2.2** Introducció de les mostres en un ordinador



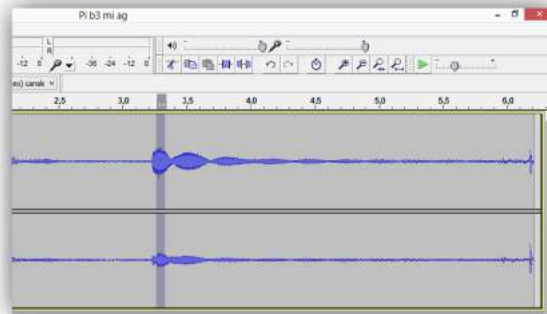
**Figura 2.3** Carpeta on s'emmagatzemen les mostres obtingudes

Una vegada realitzat això, el primer que s'ha de fer és obrir la gravació amb l'Spek. Aquest s'utilitza per comprovar que no hi hagi un excés de fons i per seleccionar la porció del so més adequada per a aconseguir una gràfica idònia.



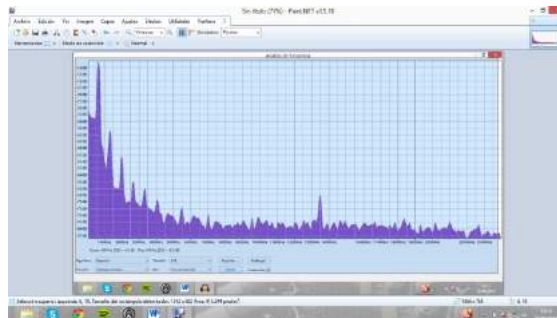
**Figura 2.4** Gràfica amb Spek

Seguidament, amb el programa Audacity, s'obre l'arxiu i es selecciona la porció del so que s'ha escollit anteriorment. Llavors es fa clic a l'opció "Analitzar" i s'escull "Anàlisi d'espectre".



**Figura 2.5** Mostra en l'Audacity

Aquest programa proporciona la gràfica dels harmònics a partir del so introduït. Finalment es prem la tecla “ImpPt” per ajustar la gràfica a la mida que es prefereixi. Per aquest últim procés s’usa un programa d’edició d’imatge.



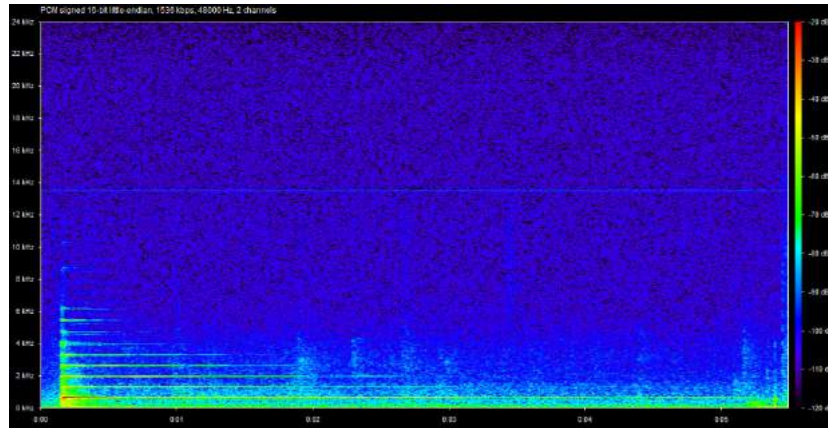
**Figura 2.6** Espectre de freqüències en el programa d’edició d’imatge

Aquest procés s’ha de repetir amb totes les mostres per, posteriorment, poder-les comparar.

## 2.2.- EINES INFORMÀTIQUES

### 2.2.1.- SPEK

L’Spek és un programa que s’utilitza per analitzar mostres d’àudio. Tal com es pot observar en la figura 2.7 en l’eix d’ordenades estan representades les freqüències; en l’eix d’abscisses hi ha representat el temps per tant, s’hi pot observar la durada dels harmònics, característica que no es pot observar en l’Audacity. A més, la gràfica està representada amb diferents colors per tal d’observar amb quina intensitat està cada freqüència en cada moment. El color que pertany a cada intensitat està regit per la llegenda situada a la dreta del gràfic.

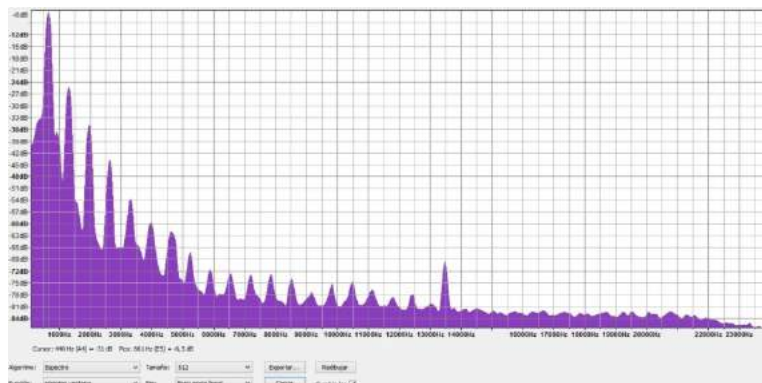


**Figura 2.7** Gràfica produïda en l'Spek

Així doncs, amb l'Spek es poden analitzar diferents aspectes. El principal és el valor de la mostra ja que es pot observar el fons i, per tant, si els harmònics es diferencien i la gràfica produïda amb l'Audacity és representativa. A més, és útil per mirar el nombre d'harmònics produïts i la duració d'aquests. Ja que només s'han d'observar el número de "línies" que hi ha en l'inici de la nota.

### 2.2.2.- AUDACITY

L'Audacity és un programa de gravació i edició d'àudio però s'ha usat per analitzar les mostres. Aquest programa pot produir una gràfica com la figura 2.8. En l'eix d'ordenades hi ha representada la intensitat en decibels i, en l'eix d'abscisses hi ha representada la freqüència. Els harmònics són els "pics" que s'observen ja que són els punts de més intensitat. Les gràfiques produïdes estan en freqüència lineal per tant, totes les freqüències estan a la mateixa escala. L'Audacity també permet produir gràfiques amb freqüència logarítmica per tal d'analitzar millor les baixes freqüències.



**Figura 2.8** Gràfica produïda amb Audacity



### 3.- OPTIMITZACIÓ DE LES MOSTRES SONORES

A l'inici de l'estudi, es va fer evident que era molt important establir un criteri de les gravacions que s'utilitzarien com a mostres. Ja que aquestes són el pilar bàsic de l'estudi i, hauria suposat un gran problema perquè no s'haurien trobat patrons lògics que es poguessin establir a les investigacions.

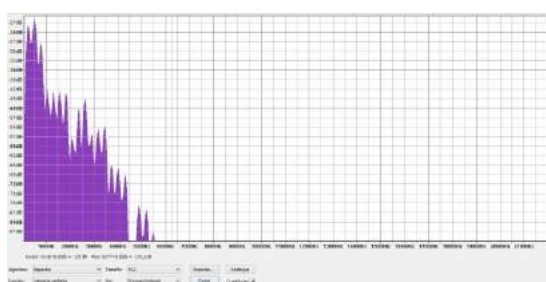
Així doncs, es van acordar els paràmetres bàsics que podien influir dràsticament en l'anàlisi. Aquests són:

- Format de so: hi ha formats que eliminen freqüències perquè la gravació no ocupi tant d'espai.
- Intensitat: la gravadora té limitacions pel que fa a les intensitats, per tant, s'ha de trobar la intensitat òptima.
- To: els harmònics es produeixen a partir de la suma de 'n' vegades l'harmònic fonamental, per tant, hi ha d'haver diferències en la distribució dels harmònics sobre l'eix de les freqüències.

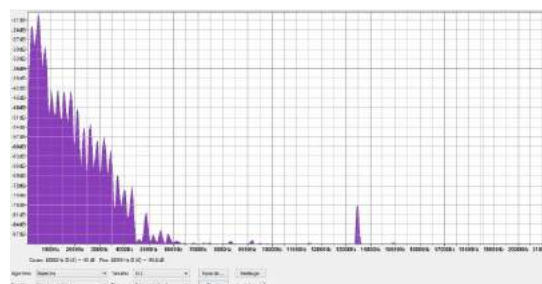
#### 3.1.- FORMATS DE SO

S'han estudiat els formats de so perquè aquests modifiquen l'ona original. Hi ha una gran quantitat de formats de so però els principals són: WAV (Waveform Audio Format), MP3 (MPEG-1 Audio Layer III), WMA (Windows Media Audio) i OGG. El format WAV no comprimeix la senyal inicial, això causa un gran pes d'arxiu i, a conseqüència d'això, un poc ús. L'MP3 comprimeix molt l'arxiu, gràcies això és un dels més utilitzats i útils per Internet. L'WMA és un format creat per Microsoft que comprimeix les dades. Finalment, l'OGG és un format que comprimeix el so però amb una millor relació compressió-pes que l'MP3.

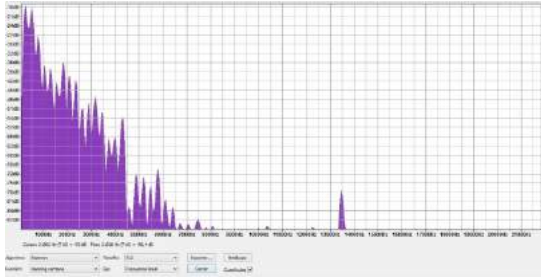
A nivell pràctic s'ha realitzat un petit estudi per comprovar quin format de so era el més adient per gravar totes les mostres. Els formats de so analitzats són MP3 (64 Kbps i 320 Kbps), WAV 44,1 KHz (16 bits i 24 bits) i WAV 48KHz (24 bits).



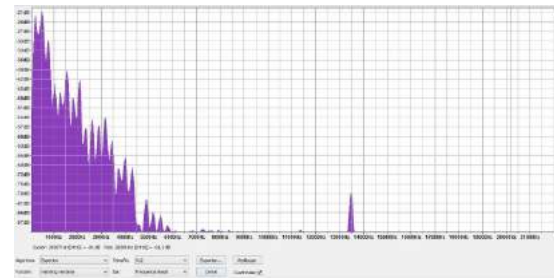
Gràfica 3.1 MP3 64 Kbps



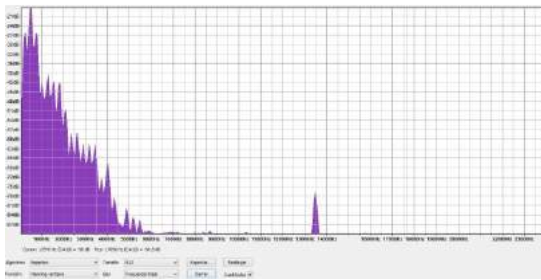
Gràfica 3.2 MP3 320 Kbps



**Gràfica 3.3** WAV 44,1 KHz 16 bits



**Gràfica 3.4** WAV 44,1 KHz 24 bits

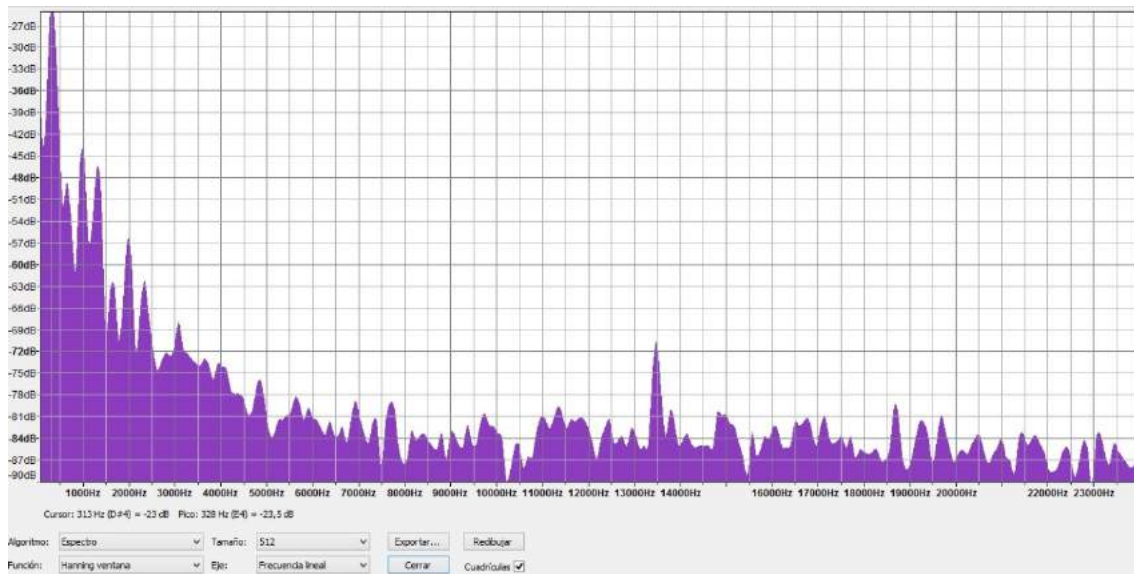


**Gràfica 3.5** WAV 48 KHz 24 bits

Observant les gràfiques es pot concloure que les mostres gravades amb MP3 no s'aprecien tants harmònics com a les gravades amb WAV. Això es deu a la pèrdua d'informació que causa compactar el so. Així doncs, el millor format per realitzar l'estudi és el WAV. Entre els diferents formats de WAV, el que aconseguix més harmònics és el de 48 KHz i 24 bits; per tant, totes les mostres que siguin objecte d'estudi seran gravades amb aquest format.

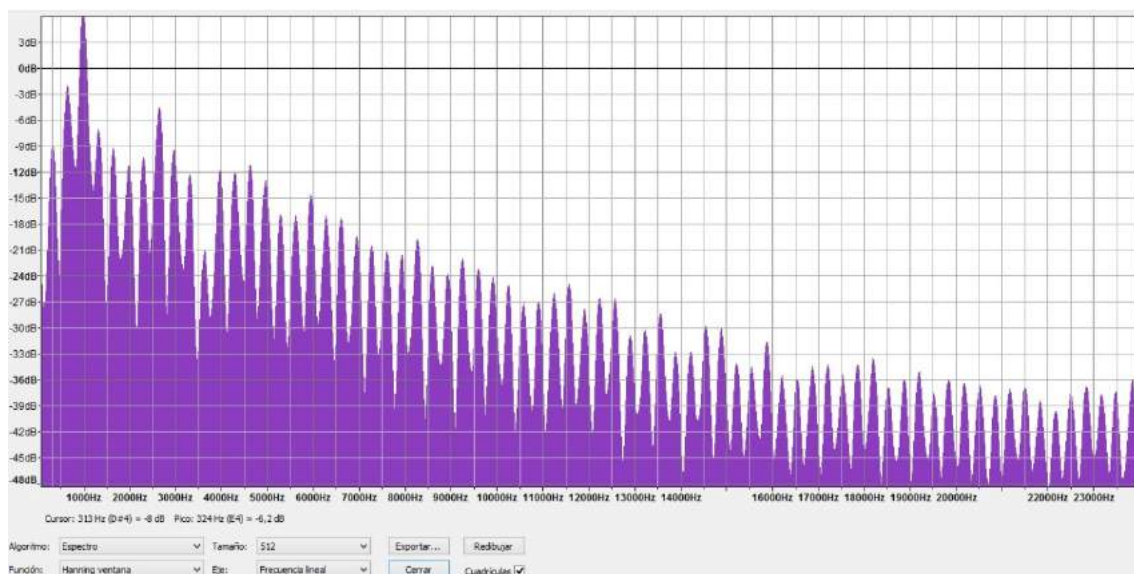
### 3.2.- INTENSITAT

Després d'examinar les gràfiques de les gravacions s'ha pogut concloure el següent, que quan la mostra està gravada amb poca intensitat es pot confondre amb el soroll de fons, per tant, no es pot estudiar quins harmònics estan implicats en el so de l'instrument. Aquest problema es pot observar en la gràfica 3.6 . S'hi veu com l'harmònic fonamental està situat als 313 Hz i els següents són múltiples d'aquest fonamental però, els harmònics secundaris es difonen amb el soroll de fons a partir dels 2500 Hz.



**Gràfica 3.6** Baixa intensitat

Per altra banda, quan la mostra està gravada amb una intensitat elevada queda saturada per limitacions de l'aparell emprat per la gravació. Aquest efecte de saturació implica una addició d'harmònics que no existeixen. Per tant, l'anàlisi d'una mostra saturada és invàlida ja que no representa correctament l'objecte d'estudi. Aquest efecte es pot observar clarament en la gràfica 3.7. Es pot apreciar com l'escala d'intensitat està variada respecte a les gràfiques usuals ja que l'harmònic fonamental, situat a 324 Hz, supera els 0 dB; això mostra l'alta intensitat de la gravació. A més, s'observa com els harmònics són constants a tots els múltiples de l'harmònic fonamental, això és a causa de la saturació de la senyal.

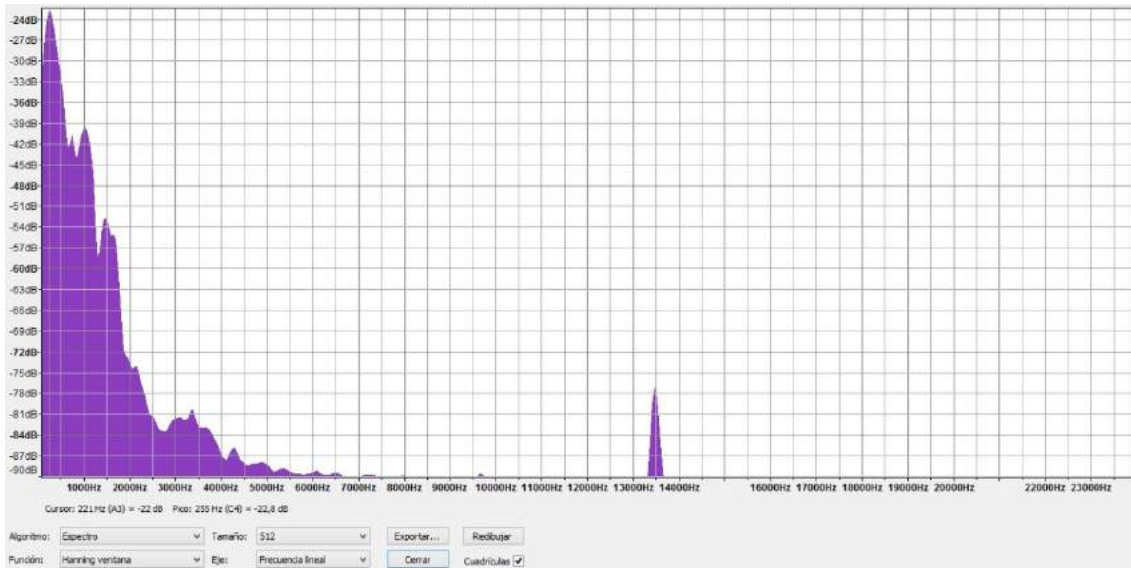


**Gràfica 3.7** Mostra saturada

### 3.3.- TO

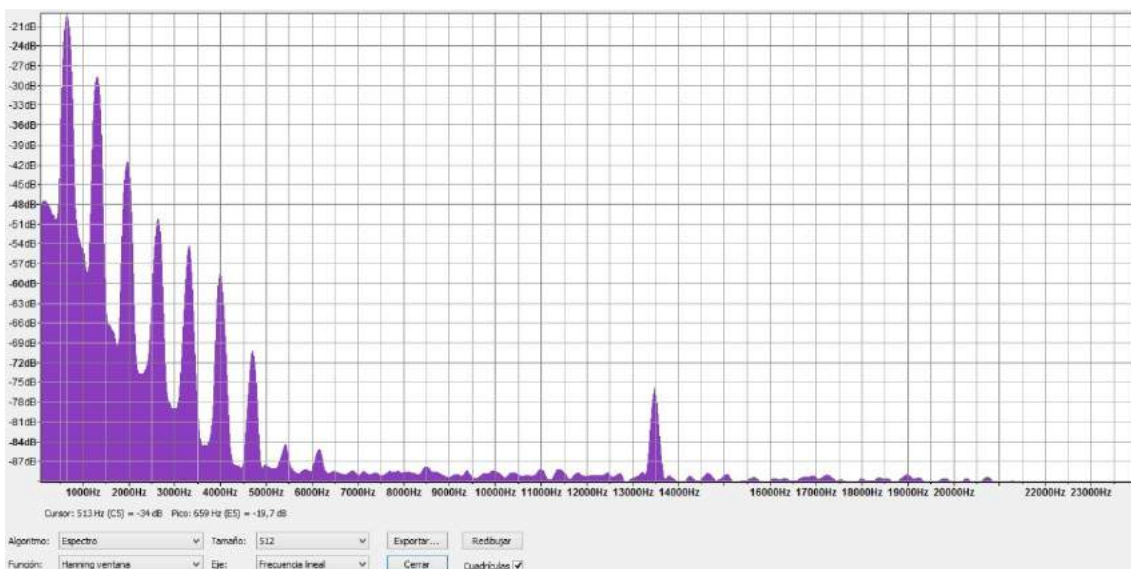
Observant les gràfiques es pot concloure el següent.

Quan la mostra gravada és de baixa freqüència no es poden observar bé els harmònics. Això és a causa que els harmònics són múltiples de la freqüència inicial, per tant, si aquesta és baixa els harmònics estaran molt junts. Això es pot observar a la gràfica 3.8 on el primer harmònic és a 255 Hz.



**Gràfica 3.8** Harmònic fonamental: 255 Hz

En canvi, quan la mostra és d'alta freqüència els harmònics estan ben definits. També a causa que els harmònics són els múltiples de la primera freqüència. Aquest efecte s'observa en la gràfica 3.9 on l'harmònic fonamental està situat als 659 Hz.



**Gràfica 3.9** Harmònic fonamental: 659 Hz

Així doncs, s'ha decidit que les mostres seran gravades en alta freqüència ja que els harmònics estan millor definits, per tant, es pot analitzar amb més objectivitat.

En conclusió, per aconseguir uns resultats òptims de les gravacions de les mostres sonores, s'ha optat per gravar en WAV a 48 KHz i 24 bits, amb una intensitat elevada però sense saturar les mostres i amb una freqüència elevada. Arbitràriament, s'ha decidit que la nota gravada és un mi de la cinquena octava que correspon, aproximadament, a 660 Hz.

## 4.- PIANOS

Un dels objectius principals d'aquest treball és la comparació del so de diferents pianos. S'ha buscat el perquè hi ha diferències entre els timbres dels pianos; però, sobretot s'ha intentat trobar resposta al perquè un piano té el preu que té, per tant, quina diferència hi ha entre pianos cars i barats. Per realitzar l'estudi s'han comparat pianos "bons" (cars) i "dolents" (barats).

El piano és un instrument musical classificat com un instrument de corda percudida. Consta d'una caixa de ressonància i un teclat de 88 tecles, ordenades per tonalitat.

### 4.1.- PIANOS OBJECTES D'ESTUDI

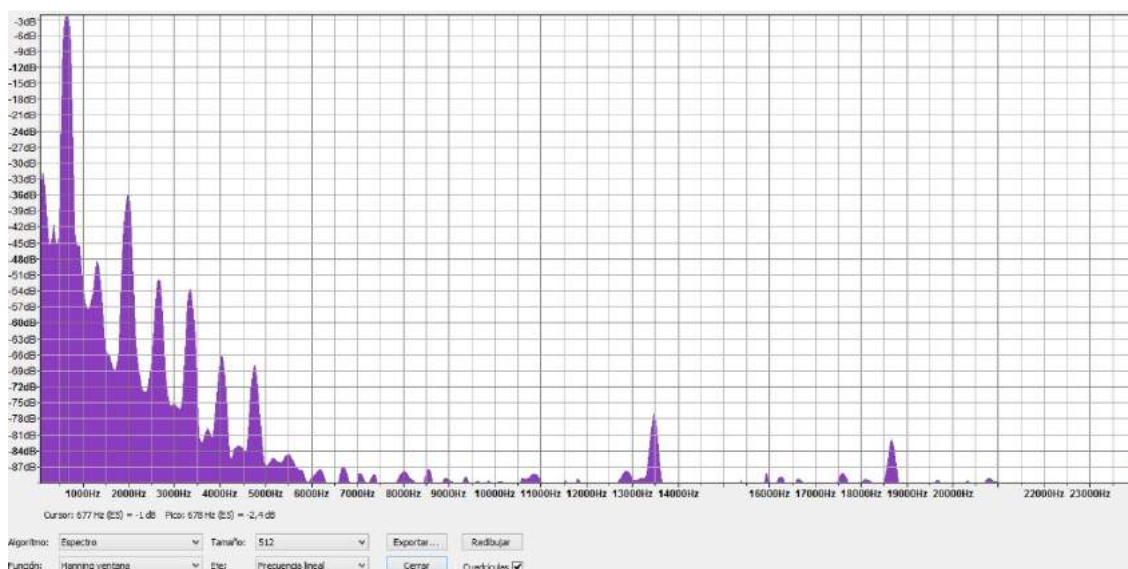
#### 4.1.1 PIANOS DE PARET

El piano de paret es caracteritza per tenir les cordes, els martellets i la caixa de ressonància en posició vertical. Constitueix una variant adequada per a l'estudi, i es fabrica per col·locar-lo principalment en cases o aules on no hi ha espai per a un piano de cua.



Figura 4.1 Yamaha b2

Els pianos de parets estudiats són el Yamaha b1, el Yamaha b2 i el Yamaha b3 ordenats de forma creixent pel que fa al preu i a la qualitat. Els seus preus són 3.667, 4.489 i 5.252 euros.



Gràfica 4.1 Yamaha b1



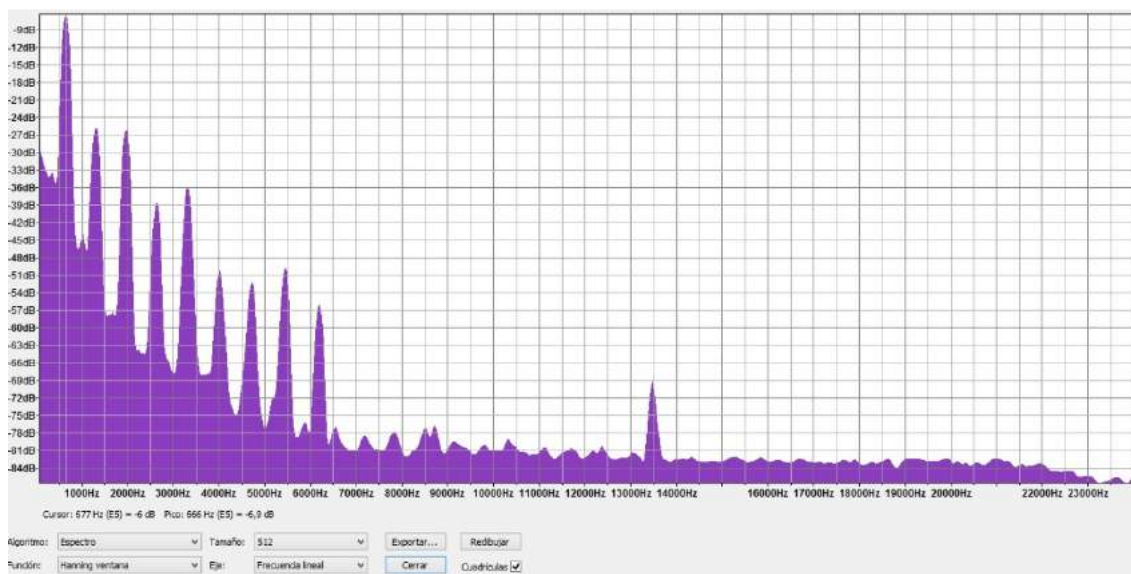
#### 4.1.2 PIANOS DE PARET DE GAMMA ALTA

Aquests pianos són molt similars als anteriors. La diferència recau a la caixa de ressonància. Per obtenir un so més ple, s'augmenta la grandària de la caixa de ressonància. Per aquest motiu els pianos de gamma alta solen fer més de 110 cm d'alçada. També cal destacar que solen estar fets d'un material de més qualitat per perfeccionar el so.



**Figura 4.2** Yamaha YUS3

Els pianos de paret de gamma alta estudiats són el Yamaha YUS1 i el Yamaha YUS3. Els seus preus són de 10.490 i 12.295 euros respectivament.



**Gràfica 4.2** Yamaha YUS3

#### 4.1.3 PIANOS DE CUA

Un piano de cua és un tipus de piano en què les cordes i la caixa de ressonància es troben en posició horitzontal. Els pianos de cua tenen una tapa superior que es pot obrir, de manera que els sons produïts per les cordes surten l'exterior sense barreres de cap tipus.



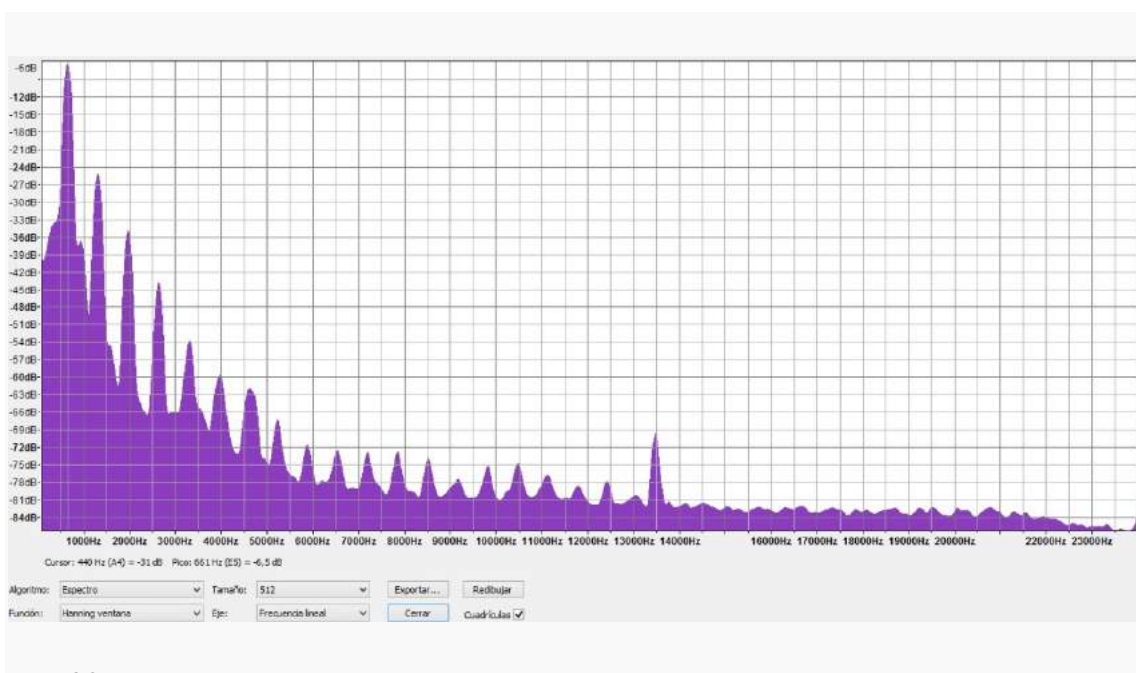
**Figura 4.3** Kawai RX-2

El piano de cua és una variant molt més sonora, principalment per la amplitud de la seva caixa de ressonància, per això no és tan econòmic.

Es fabrica en diferents mides. El més gran és el piano de gran cua o piano de concert i té una considerable longitud, la qual cosa comporta una sonoritat adequada per a grans sales i auditoris. Les altres variants són més curtes, com el piano de tres quarts de cua, mitja cua, d'un quart de cua, o el més curt, el denominat "colí". Solen oscil·lar entre els valors següents:

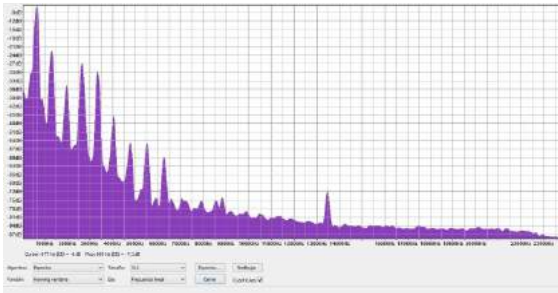
- Piano de cua colí: fins a 130 cm de longitud.
- Piano d'un quart de cua. De 131 fins a 189 cm de longitud.
- Piano de mitja cua. De 190 fins a 225 cm de longitud.
- Piano de tres quarts de cua. De 226 fins a 255 cm de longitud.
- Piano de gran cua. Superiors a 256 cm de longitud.

El piano de cua que ha estat objecte d'estudi és el Kawai RX-2 i el seu preu és de 20.830 euros.

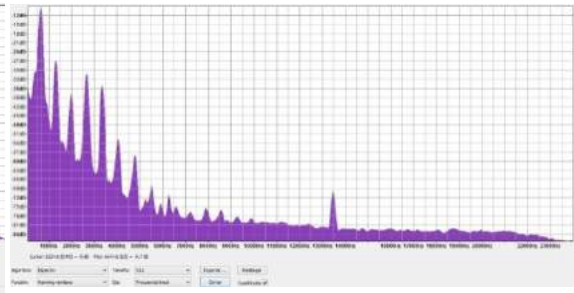




Prèviament a l'estudi cal observar les gràfiques 4.4 i 4.5.



**Gràfica 4.4**



**Gràfica 4.5**

És la mateixa nota gravada en diferents ocasions. No obstant, tot i no ser exactament les mateixes condicions, es pot observar que les gràfiques són molt similars. Aquest fet dóna rellevància a la comparació ja que significa que els resultats són representatius.

## 4.2.- COMPARATIVA ENTRE PIANOS

### 4.2.1.- YAMAHA B1 I KAWAI RX-2

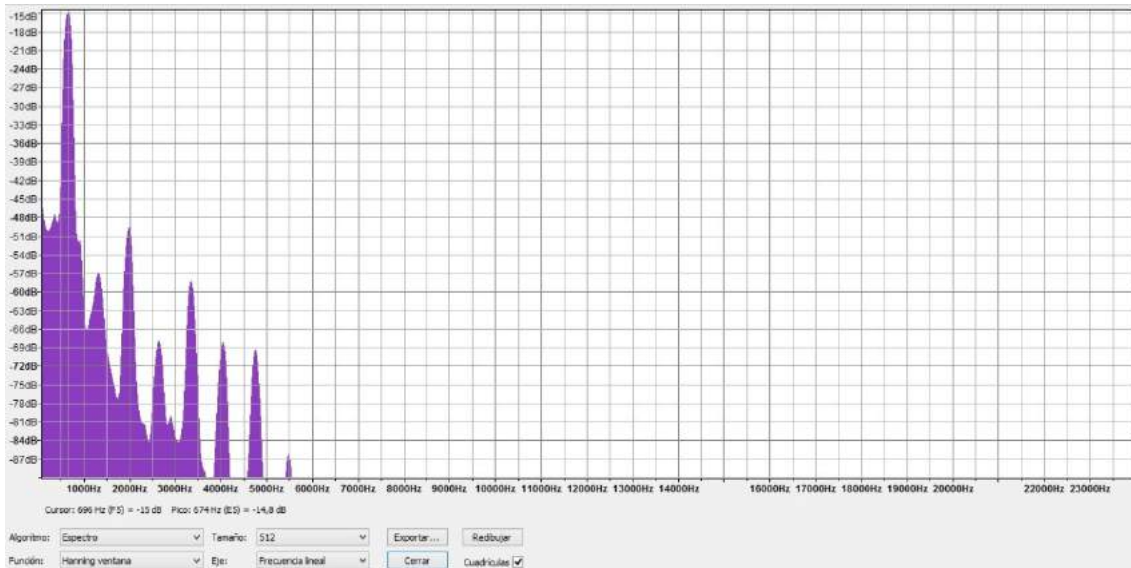
Per comparar, ens fixarem primer en dos pianos concrets, el més car i el més barat. Un piano Yamaha b1 de paret i un Kawai RX-2 de cua. Les seves principals diferències són, el pes, el volum de la caixa de ressonància i el preu. El Kawai de cua és més pesat, té més volum i és més car.



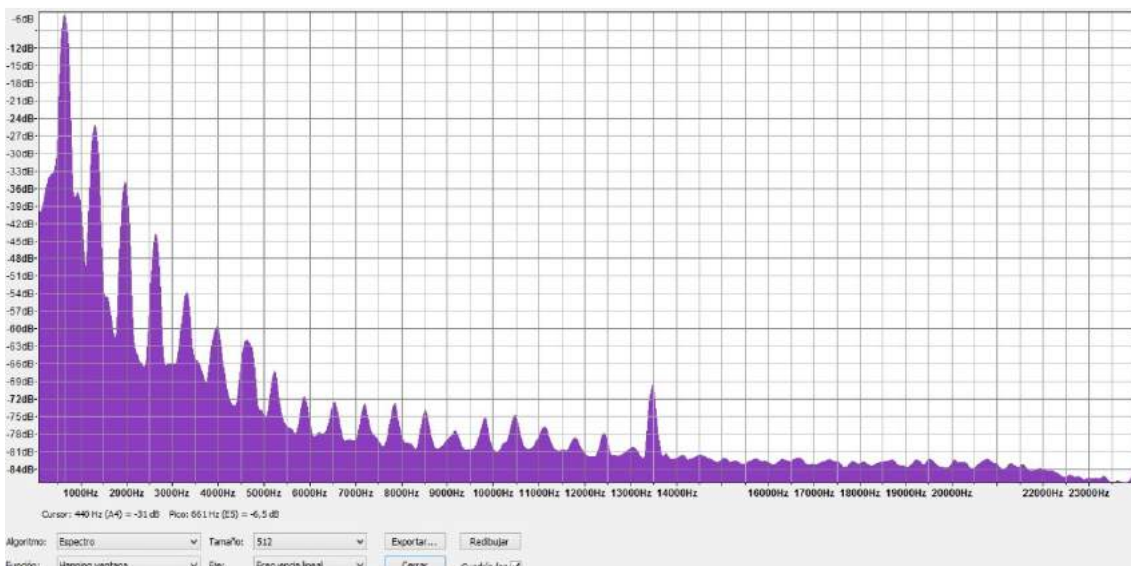
**Figura 4.4** Yamaha b1



**Figura 4.5** Kawai RX-2



**Gràfica 4.6**



**Gràfica 4.7**

A les dues gràfiques anteriors es pot observar que hi ha moltes diferències. El primer que s’ha de destacar és que la primera gràfica, corresponent al Yamaha b1, no s’ha reflectit el fons a la gravació, com que no és rellevant per a la comparació es pot ignorar. La diferència més important entre les dues gràfiques és la quantitat d’harmònics. El piano barat, el Yamaha b1 de paret, té uns 7 harmònics apreciables, mentre que el Kawai RX-2 de cua, el car, en té 20. Aquesta és la principal raó de que el piano de cua tingui més sonoritat, un so més ple. L’altra característica que té la gràfica del piano de cua que no té el piano de paret és la regularitat en que els harmònics formen la gràfica. Aquesta qualitat li dona nitidesa al so. En resum, els harmònics del Kawai RX-2 fan que tingui un so més pur que el piano Yamaha b1.

#### 4.2.2.- YAMAHA B2 I YAMAHA YUS3

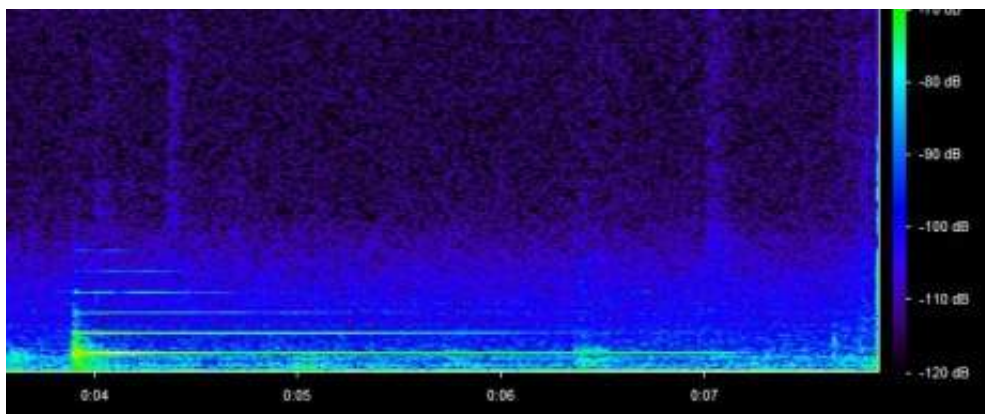
Els dos pianos que es mostren a continuació no són exageradament diferents, els dos són pianos de paret i estan constituïts pel mateix material. La principal diferència entre els dos és el seu volum i per tan, la seva alçada. L'alçada del Yamaha YUS3 és 131 cm i el b2 només 88 cm. El més car té més volum, això és el que el fa ser de gamma alta. La diferència de preus és de 7.806 euros.



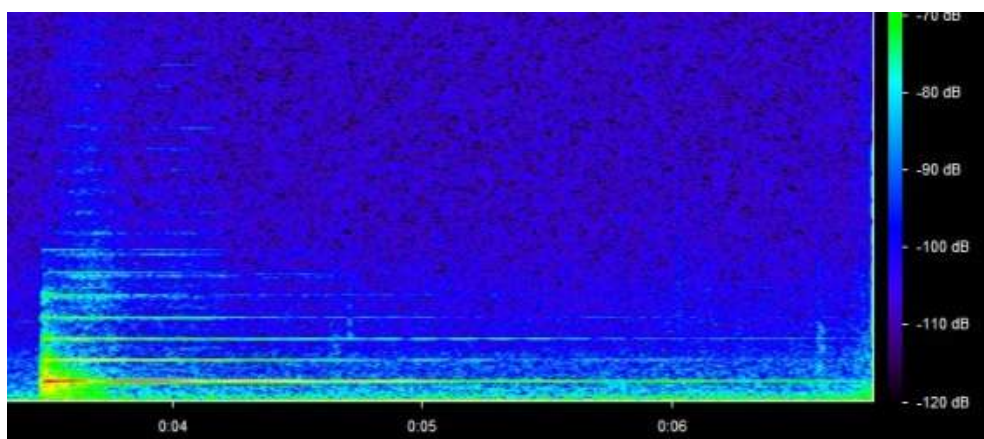
**Figura 4.6** Yamaha b2



**Figura 4.7** Yamaha YUS3



**Gràfica 4.8**



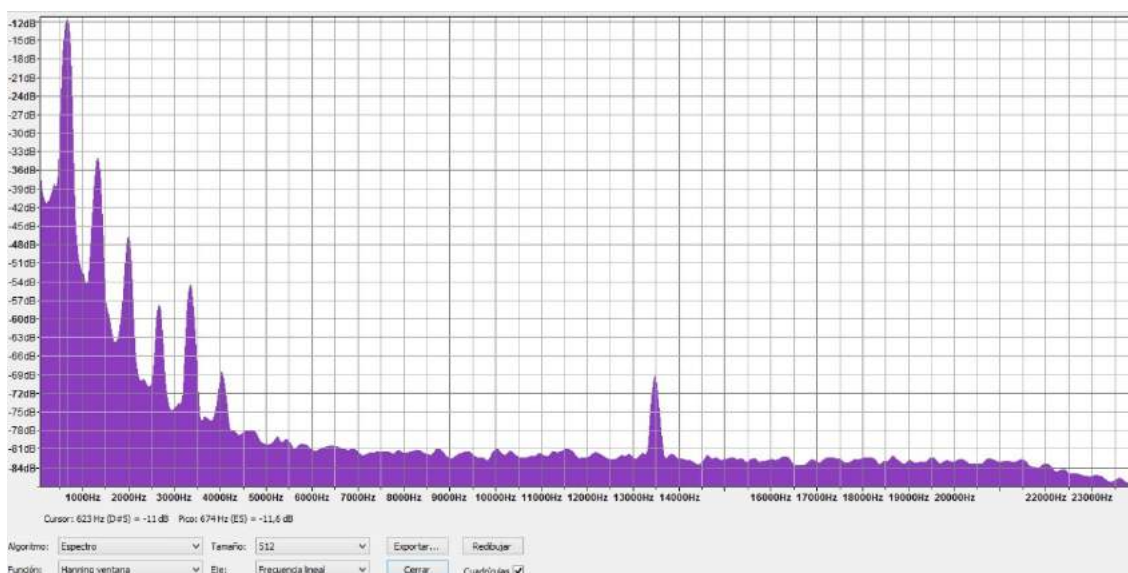
**Gràfica 4.9**

Comparant les dues gràfiques, es pot veure una absència de quantitat d'harmònics a la primera, ja que els únics harmònics forts són els dos primers i, que després del quart, els altres són pràcticament inapreciables. Pel que fa l'altra gràfica, tot i haver-hi més fons, s'hi pot observar una quantitat considerable d'harmònics.

No obstant, és evident que la diferència entre aquestes dues gràfiques i, per tant, entre els dos pianos, no és tant notable com ho és amb el de cua. Això és a causa que el piano de cua és superior al piano de paret de gamma alta.

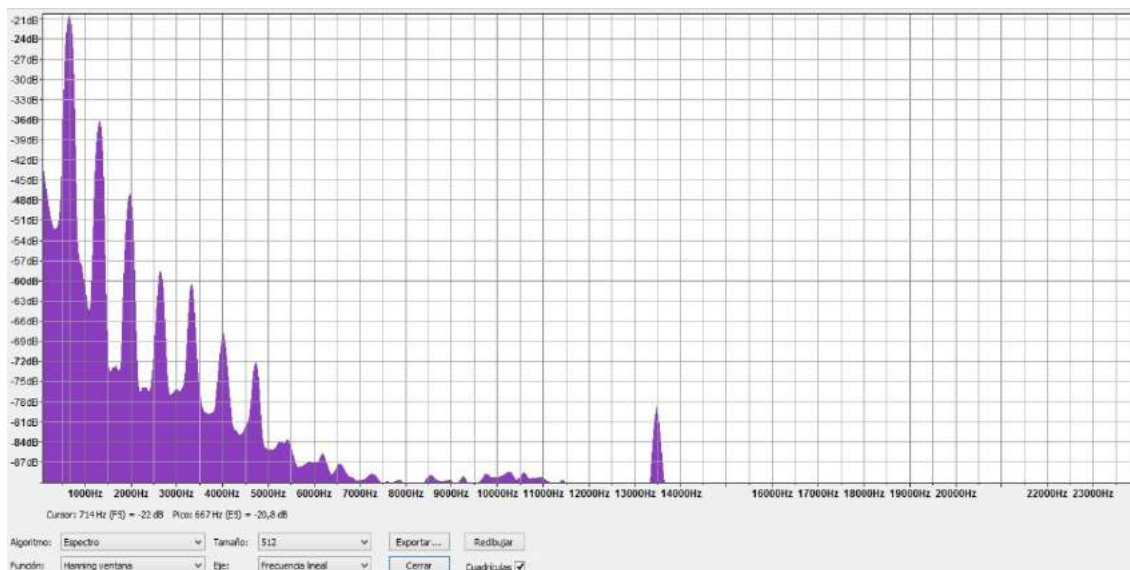
#### 4.2.3 YAMAHA B3 I YAMAHA YUS1

El Yamaha B3 i EL Yamaha YUS1 són molt similars, per ser de diferent categoria no hi ha tanta diferència de preu com amb altres pianos, aquesta és de 4.613€. L'única diferència entre els dos pianos que repercuteix al so és la mateixa que en els dos anteriors, el volum. Per tant, el piano b3 no té tanta alçada com el Yamaha YUS1.



**Gràfica 4.10**





**Gràfica 4.11**

Una vegada havent observat les dues gràfiques, es pot dir que tot i haver-hi menys diferència de preu entre els pianos es continua veient dissemblança entre les gràfiques del so. Referint-se als harmònics, la diferència no és gaire notable, no obstant, a la gràfica 4.11 s'hi poden veure 7 harmònics, mentre que a la gràfica 4.10 només 6. Per l'altra banda, la gràfica 4.10 hi ha un decreixement desigual d'harmònics en comparació a la gràfica 4.11. Aquesta desigualtat dona inestabilitat al so.

En síntesi, les eines informàtiques fan possible la comparació entre el so dels pianos. Es pot acabar conclouent no només que existeix alguna diferència entre un piano car i un de barat, sinó que aquesta diferència no recau exclusivament en l'estètica de l'instrument. La principal diferència és la quantitat d'harmònics. Aquesta, en un piano de cua, o fins i tot, en un piano de gamma alta, fa que el so sigui més ple. L'altra característica dels pianos cars és la forma en que decreixen els harmònics, ho fan seguint un patró. Aquesta qualitat del so es pot veure reflectida a les gràfiques 4.10 i 4.11 ja que al haver comparat dos pianos de gammes força similars, aquesta és l'única diferència que s'hi pot apreciar.

Les causes principals que diferencien el so dels pianos són: la caixa de ressonància, perquè és allà on el so, com diu el nom, ressona, aquest efecte produeix una amplificació del so i un augment de la intensitat; i el material del qual està fet l'instrument ja que la seva qualitat repercuteix en la nitidesa del so.

## 5.- GUITARRES

Les guitarres són instruments musicals de corda polsada. Hi ha molts tipus de guitarres diferents, entre els quals es troben la guitarra espanyola, la guitarra acústica i la guitarra elèctrica. Les característiques bàsiques i comunes són:

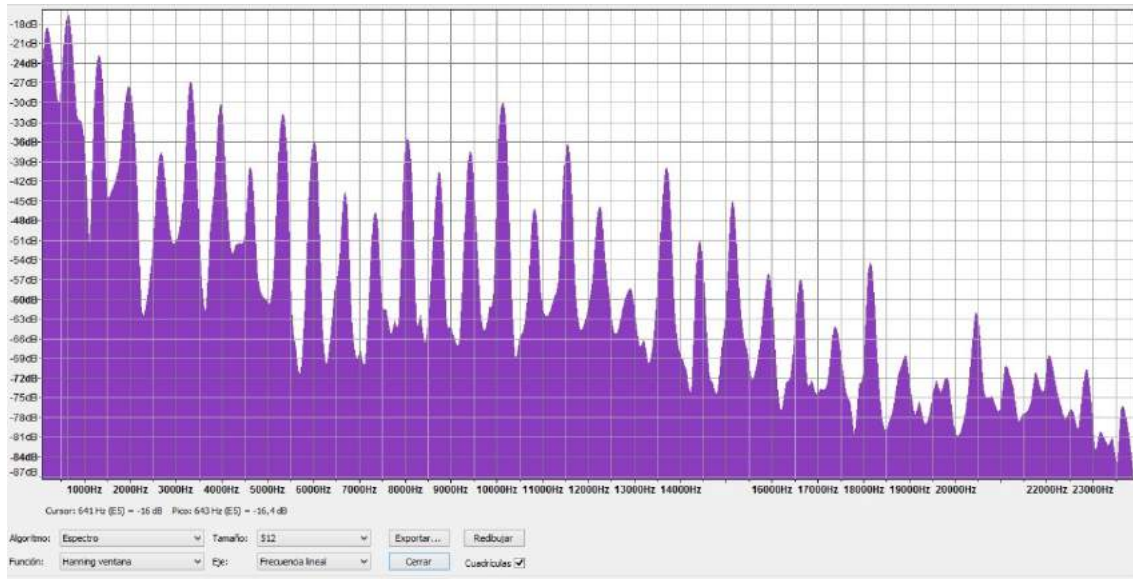
- Caixa o cos: és la part més voluminosa de l'instrument. Les guitarres espanyoles o acústiques tenen caixa de ressonància que és on es produeix el so; en canvi, les elèctriques tenen cos que és una peça massissa de fusta.
- Màneg: peça de fusta allargada, amb els dits es pressionen les cordes sobre ell per produir un to específic.
- Cordes: part que produeix el so, normalment les guitarres consten de 6 cordes.

### 5.1 GUITARRA ESPANYOLA

La guitarra espanyola és l'estil més clàssic de guitarra. El so es produeix en unes cordes de niló i s'amplifica en una caixa de ressonància de fusta. És dit que les guitarres espanyoles tenen un so dolç però que sonen molt fluix.

La guitarra espanyola objecte de l'estudi és el model 40 del luthier Antonio Picado. El seu preu és d'aproximadament 350 euros.

En la gràfica 5.1 es pot observar com la guitarra espanyola produeix molts harmònics i amb poca regularitat. També s'aprecia que hi ha un pic d'alta intensitat en una freqüència molt baixa. Això és a causa de la caixa de ressonància. Aquesta amplia les vibracions que rep de les cordes, però també el soroll ambiental. Així doncs, la caixa produeix molts harmònics i, juntament amb les cordes de niló, fa que el so sigui més dolç.



**Gràfica 5.1**

## 5.2 GUITARRA ACÚSTICA

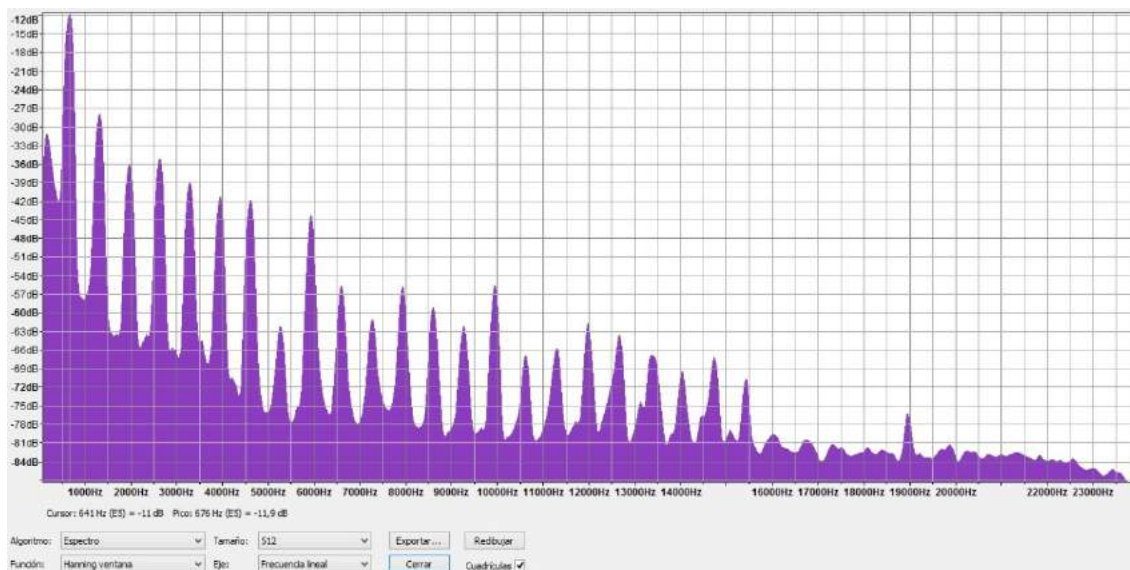
La guitarra acústica és una variació de la guitarra clàssica. La caixa de ressonància és més gran, el mànec és més fi, les cordes són de metall i el so és més potent. És un instrument que se sol utilitzar en el folk, el pop, el country i el rock.

La guitarra estudiada és una Breedlove Passport Revival. El seu preu és d'uns 490 euros.

En la gràfica 5.2 es pot observar com la guitarra acústica produeix molts harmònics i que la seva intensitat disminueix regularment. Es pot apreciar que el vuitè harmònic, situat aproximadament als 5700 Hz té molt poca intensitat respecte els dos harmònics que l'envolten ja que només arriba als -63 dB d'intensitat mentre que el setè té -42 dB i el novè -45 dB. També s'evidencia una freqüència greu amb alta intensitat. Aquesta és produïda per la caixa de ressonància.



**Figura 6.1** Breedlove Passport Revival



**Gràfica 5.2**

### 5.3 GUITARRES ELÈCTRIQUES

Les guitarres elèctriques van ser inventades per superar el problema de volum de les guitarres espanyoles i acústiques. La gran innovació de les guitarres elèctriques és un cos sòlid, cordes de metall però, sobretot, la incorporació de pastilles electromagnètiques per captar i amplificar el so.

Les pastilles electromagnètiques són uns imants que capten per inducció electromagnètica la vibració de les cordes. Hi ha diferents tipus de pastilles. A grans trets es diferencien entre simples i dobles.

Les pastilles simples, a part de captar la vibració de les cordes, capten freqüències d'entre 50 i 60 Hz i els seus harmònics, el que fa que hi hagi soroll de fons. Per solucionar aquest problema es van idear les pastilles doble o humbuckers. Aquestes consisteixen de dues pastilles simples connectades juntes i amb el sentit invertit de tal manera que el soroll ambiental és cancel·lat.

#### 5.3.1 FENDER CUSTOM TELECASTER '67

La primera guitarra elèctrica analitzada és una Fender Custom Telecaster construïda l'any 1967 a Corona, Califòrnia. El preu d'un model com aquest pot ser molt variable depenent de les peces originals, el lloc i any de fabricació, etc. però pot oscil·lar entre 1.200 i 10.000 euros.

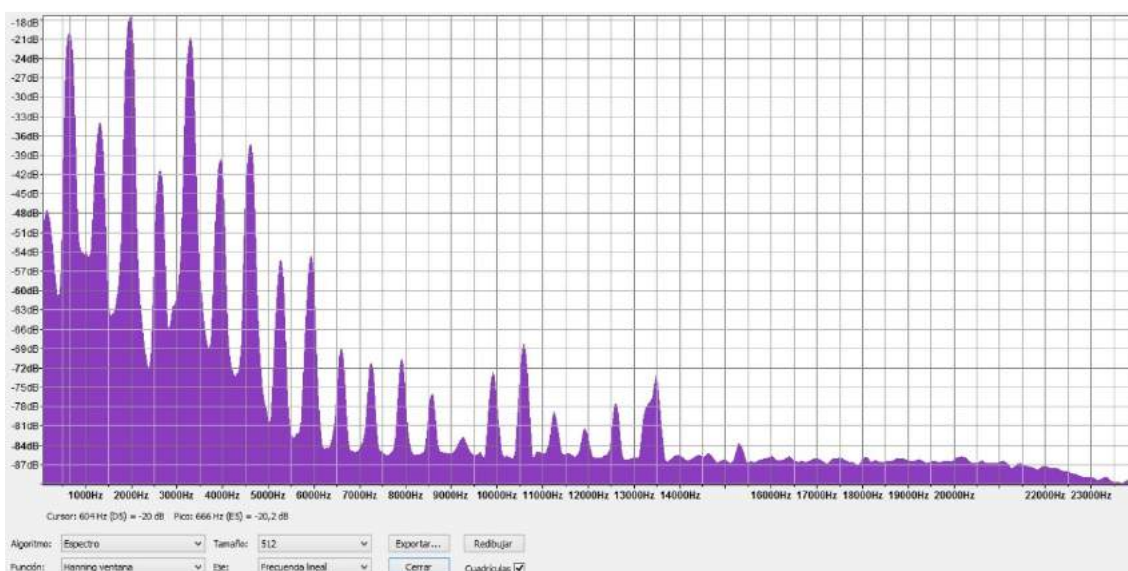
Aquesta guitarra es caracteritza, bàsicament, per constar d'un cos massís i dues pastilles simples. Normalment és usada de guitarra rítmica, en el rock i el punk de la dècada dels 60 i, a més, és la guitarra per excel·lència de la música country.



Popularment el so d'aquest model és definit com brillant i tallant amb alta sortida o suau i càlid. Que la guitarra produeixi un so o l'altre depèn de la pastilla seleccionada.

En la gràfica 5.3 es pot observar com els harmònics són molt elevats fins aproximadament als 4500 Hz, seguidament hi ha dos harmònics al voltant dels -55 dB i, finalment hi ha onze harmònics més a partir dels 6500 Hz. També es pot percebre com els harmònics imparells tenen més intensitat que els harmònics parells. Això fa que les octaves no tinguin tanta importància i potencia la quinta i la tercera, que són les notes que formen l'acord tríada.

A més a més, el tercer harmònic, que és la quinta de la fonamental, té més intensitat que la fonamental. En harmonia, la quinta és coneguda com la nota que dona tensió. Així doncs, el so qualificat com a brillant i tallant és a causa d'aquesta característica: la quinta té molta més intensitat que les octaves i els harmònics amb més alta intensitat són les tres primeres notes de l'acord.



**Gràfica 5.3**

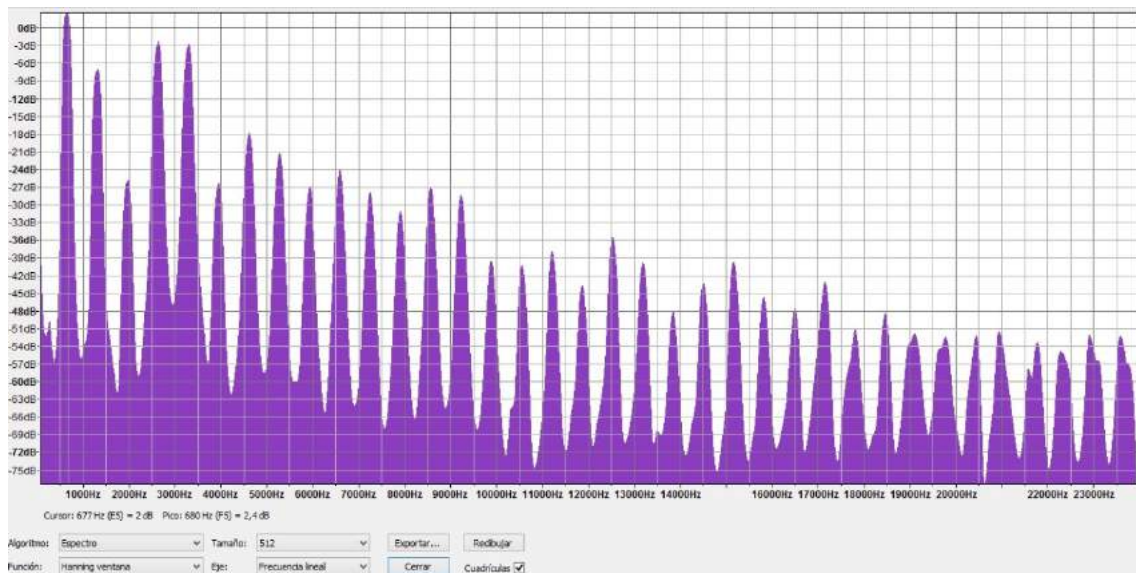
### 5.3.2 LTD H-101FM

La segona guitarra elèctrica analitzada és una LTD H-101FM produïda per ESP Guitar Company i construïda a Indonèsia. El preu d'aquesta guitarra segons la pàgina oficial d'ESP és de 269 dòlars, el que equival aproximadament a 200 euros.

Aquesta guitarra consta d'un cos massís i de dues pastilles dobles. A causa del seu baix preu la qualitat dels seus components és de la més baixa del mercat.

En la gràfica 5.4 es pot observar com hi ha molts harmònics. El tercer i el sisè harmònics tenen molt poca intensitat en comparació amb els harmònics que els envolten. Precisament, aquests dos harmònics corresponen a la quinta amb una octava de diferència. Els harmònics superiors, disminueixen en intensitat regularment amb alguna pujada intermitent.

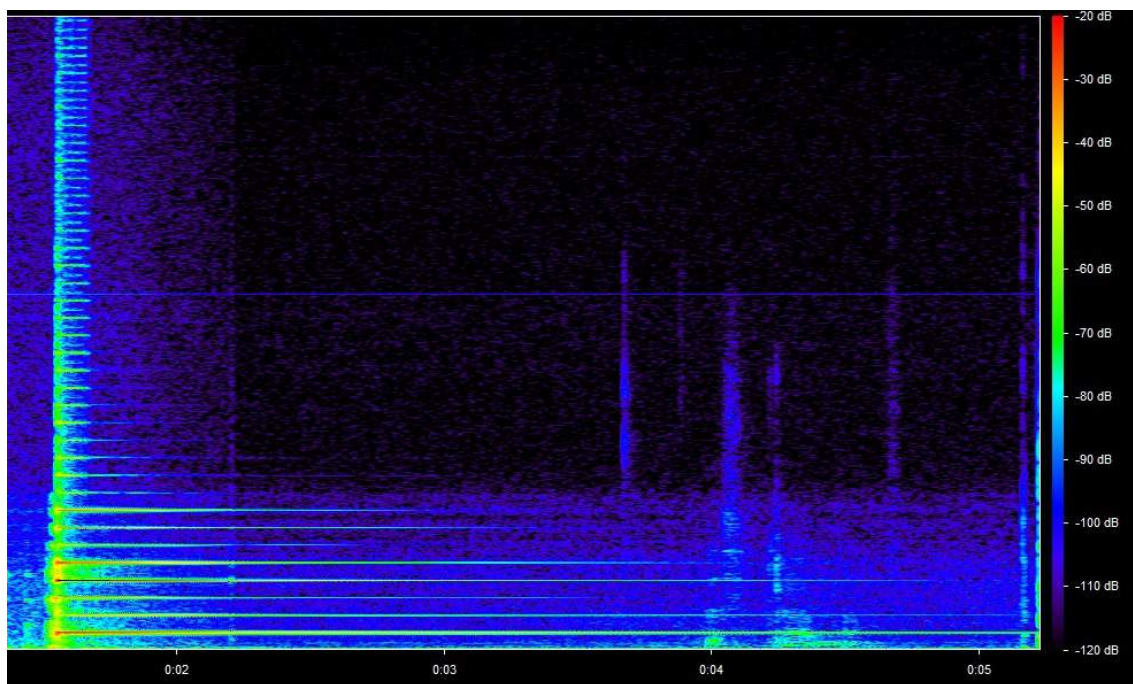
En la gràfica 5.5 es poden percebre més de 60 harmònics però, la majoria d'ells tenen molt poca duració i són molt regulars. Això significa que la senyal està saturada. Aquesta saturació és produïda deliberadament ja que ESP Guitar Company i totes les seves filials, incloent LTD, comercialitzen guitarres i baixos encarats al hard rock, el heavy metal i totes les variants més extremes d'aquest últim i aquests estils de música estan caracteritzats per la distorsió, que és una saturació extrema de la senyal de so. Així doncs, la guitarra està preparada perquè saturi la senyal i així aconseguir un so desitjat per els estils de música al que està destinada.



**Gràfica 5.4**



**Figura 6.2 LTD H-101FM**



Gràfica 5.5

## 5.4 COMPARATIVA ENTRE GUITARRES

### 5.4.1 GUITARRA ESPANYOLA I GUITARRA ACÚSTICA

Les guitarres espanyoles i acústiques són molt similars però tot i això en les gràfiques 5.1 i 5.2 s'evidencien diferències notables. Primerament, la guitarra acústica disminueix les intensitats dels harmònics més regularment que la guitarra espanyola. En canvi, aquesta última té més harmònics i arriba fins a freqüències més altes (l'acústica perd els harmònics a partir dels 15000 Hz i l'espanyola no els perd fins superats els 23000 Hz).

Tanmateix, l'anàlisi més rellevant entre aquestes dues guitarres és la freqüència greu. Les dues tenen una baixa freqüència amb molt alta intensitat. Això dona més pes a la justificació donada per la qual aquesta freqüència és produïda per la caixa de ressonància. Però, contràriament al que semblaria intuïtiu, la guitarra espanyola –que té una caixa de ressonància més petita– produeix aquesta freqüència amb més intensitat. Això és degut a les cordes. La guitarra espanyola té les cordes de niló i l'acústica de metall, normalment d'un aliatge entre bronze, fòsfor i zinc. El niló, en ser més elàstic que les cordes metàl·liques, capta el so ambiental i passa la vibració a la caixa de ressonància. Així doncs, en les guitarres espanyoles el so ambiental és captat en les cordes, aquestes l'amplifiquen, i la passen a la caixa de ressonància; en canvi, en les guitarres acústiques només l'amplifica la caixa de ressonància.

#### 5.4.2 GUITARRES ELÈCTRIQUES

Les guitarres elèctriques, tot i tenir característiques bàsiques iguals, poden tenir diferències notables. Això es pot observar en les gràfiques 5.3 i 5.4. La Fender Telecaster té molts menys harmònics que la LTD, tenen una regularitat diferent i potencien diferents harmònics. Aquesta diferència és deguda a que encara que les dues siguin guitarres elèctriques, van encarades a estils de música i maneres de tocar diferents. Així doncs, dos instruments semblants, com poden ser dues guitarres elèctriques, poden produir harmònics completament diferents.

Tanmateix, per realitzar totes les comparacions que sigui requerida una guitarra elèctrica s'utilitzarà la Fender Telecaster ja que està considerada de millor qualitat i és més popular pels estils que està destinada a tocar.

#### 5.4.3 GUITARRES ELÈCTRIQUES I NO ELÈCTRIQUES

Les guitarres elèctriques i les que no ho són, com l'espanyola i l'acústica, tenen grans diferències. Aquestes es poden observar clarament en les gràfiques 5.1 o 5.2 contraposades amb la 5.3. En les gràfiques 5.1 i 5.2, pertanyents a la guitarra espanyola i la guitarra acústica respectivament, es distingeixen molts harmònics; en canvi, en la gràfica 5.3, pertanyent a la guitarra elèctrica, els harmònics s'acaben en una freqüència molt menor. Això dóna suport a la tesi per la qual els harmònics de les guitarres espanyoles i acústiques són a causa de la caixa de ressonància. Ara bé, pel que fa a la regularitat dels harmònics en la gràfica 5.1 es pot veure com aquests no ho són; en canvi, en les gràfiques 5.2 i 5.3 la disminució de la intensitat és més regular. Aquest fet mostra que aquesta regularitat és deguda al material de les cordes ja que és l'únic element comú entre guitarres acústiques i elèctriques que no comparteixen amb les guitarres espanyoles.

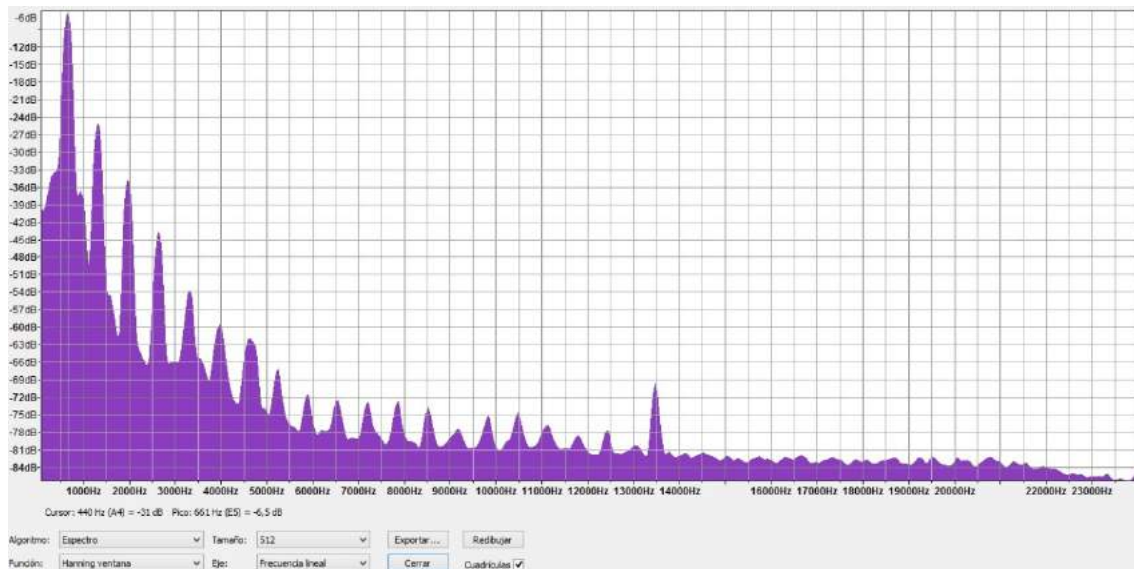
## 6.- COMPARATIVA ENTRE PIANOS I GUITARRES

No és usual comparar guitarres amb pianos ja que tenen un so molt diferent i no és necessari analitzar-lo per saber què és un piano i què és una guitarra. Aquest apartat té com a objectiu trobar i conèixer les diferències mitjançant la física.

Destacar que per a aquesta comparació s'ha realitzat una tria d'instruments concrets però, tanmateix, representatius per poder acabar fent una conclusió general de l'objecte d'estudi.

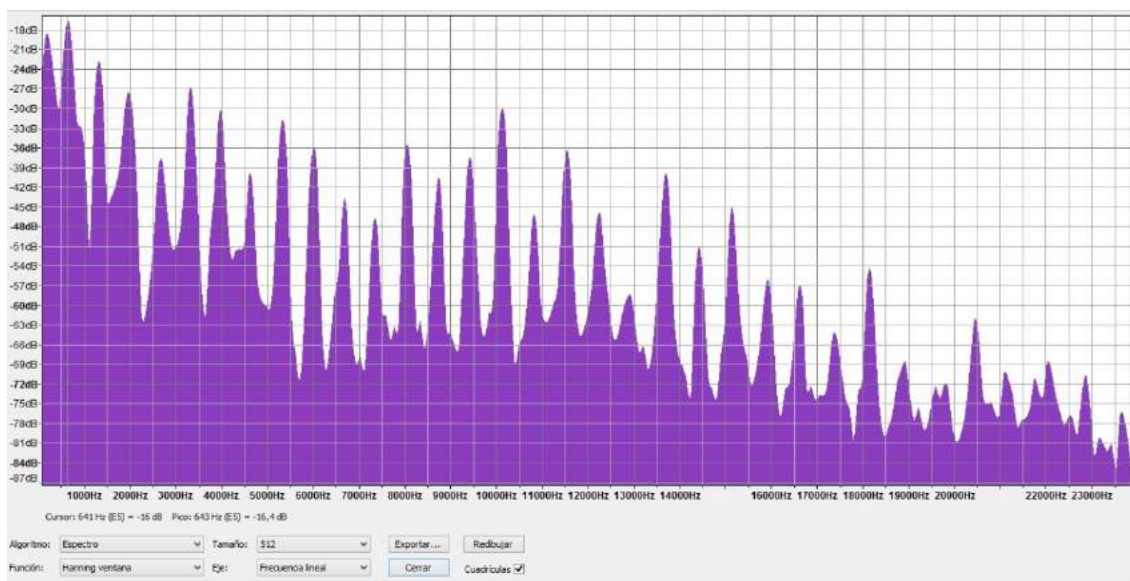
### 6.1.- GUITARRA ESPANYOLA I KAWAI RX-2

Com ja s'ha mencionat anteriorment, el piano de cua és un tipus de piano en què la caixa de ressonància i les cordes estan posicionades horitzontalment, és el més sonor dels pianos. La guitarra espanyola, en canvi, té un so flux produït per unes cordes de niló, no obstant és un so dolç.



Gràfica 6.1





**Gràfica 6.2**

Si comparem la gràfica del so, de mateixa tonalitat, dels dos instruments, es poden observar moltes més variacions que comparant dos instruments dels mateix tipus. Aquest fet es pot observar a simple oïda, ja que el so d'un piano i el d'una guitarra es poden distingir fàcilment.

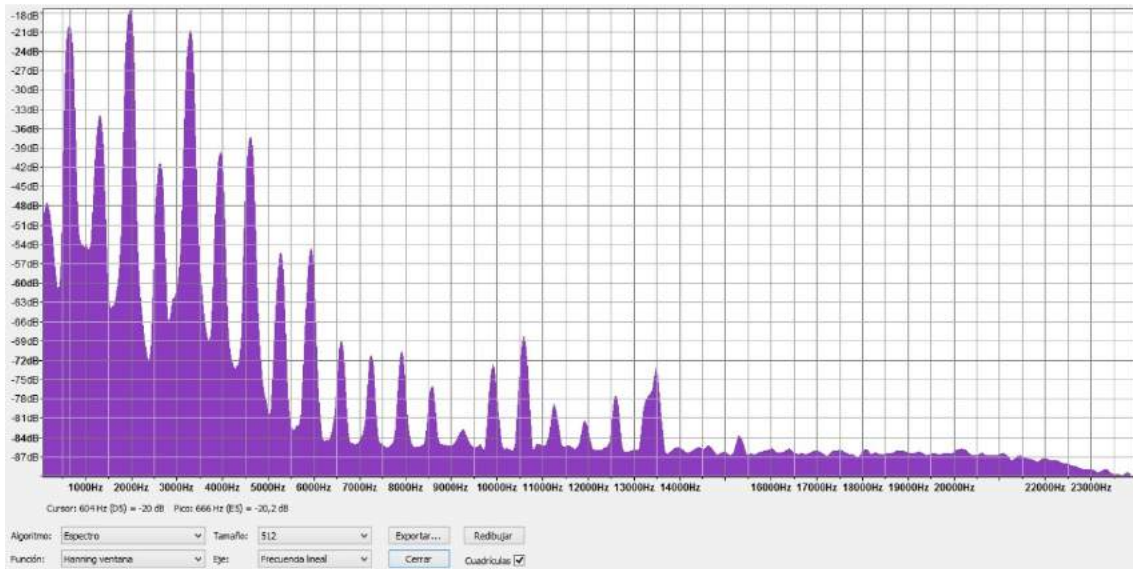
Analitzant les gràfiques es pot veure diferència de quantitat d'harmònics entre elles. La guitarra espanyola, gràfica 6.2, mostra 28 harmònics clarament visibles, mentre que el piano, gràfica 6.1, només 20. A més, els harmònics del piano formen una corba descendent ben definida, en canvi, el so de la guitarra no mostra cap forma de regularitat en l'evolució dels pics a diferents freqüències. De manera paral·lela, també es pot observar que a la gràfica 6.2 té irregularitats entre els harmònics, aquest fet fa que el so no sigui tant nítid i per això el so d'aquest piano és més pur. Per últim, donar importància a una de les qualitats que té el so de la guitarra, la potència dels harmònics. Els harmònics de la guitarra no deixen de perdre intensitat al augmentar la seva freqüència a diferència dels harmònics del piano. Aquesta qualitat fa que sigui un so carregat.

## **6.2.- FENDER TELECASTER I YAMAHA YUS3**

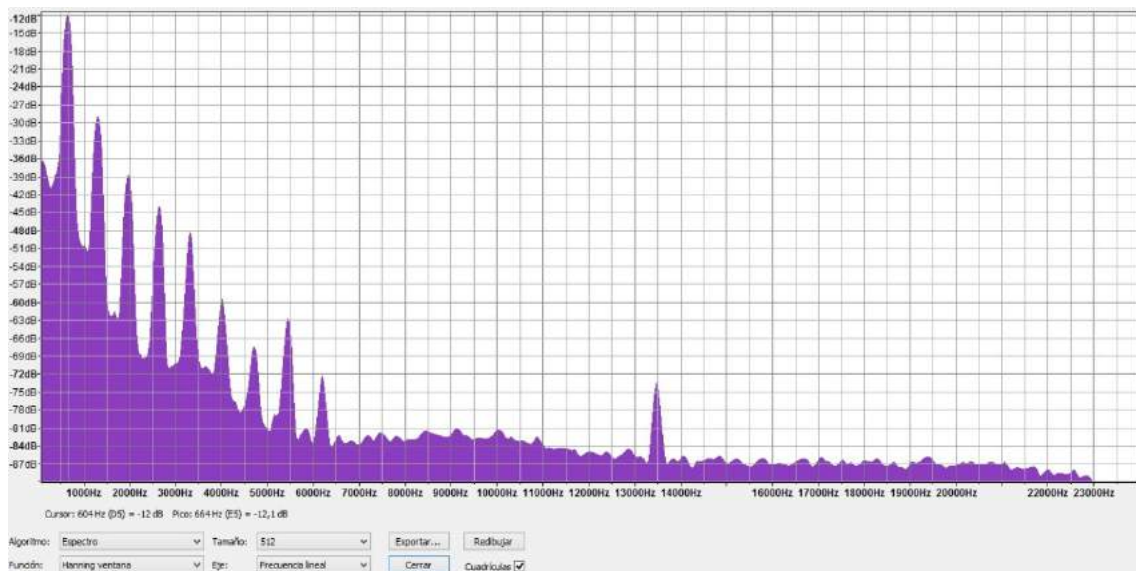
Tan la Fender Telecaster com el Yamaha YUS3 són instruments considerats de gran qualitat. Així doncs, representen correctament com és un "bon" instrument i són representatives per comprar correctament guitarres elèctriques i pianos.

Observant la gràfica 6.3, que pertany a la guitarra, i la gràfica 6.4, que pertany al piano, s'aprecien diverses diferències. La més evident és el nombre d'harmònics. La Fender Telecaster té més del doble d'harmònics que el Yamaha YUS3. Una altra diferència és que el piano és molt

regular pel que fa als harmònics. La intensitat dels harmònics decreix constantment i seguint un patró; en canvi, la guitarra dóna més importància a uns harmònics determinats i menys en d'altres. Per tant, un piano no dóna importància a alguns harmònics sinó que produeix un to fonamental i els altres van decreixent i, per altra banda, una guitarra en comptes de produir un harmònic fonamental i decreixer, potencia alguns harmònics.



**Gràfica 6.3**



**Gràfica 6.4**

## CONCLUSIÓ

Tots els instruments són i sonen diferent. Cada un d'ells té distintes propietats les quals els fa únics. Aquest estudi ha intentat trobar explicació del perquè un instrument sona millor que un altre i, per tant, es considera més bo.

Pel que fa els pianos, tenen dues característiques que fan el seu so diferent: la caixa de ressonància i el material. La caixa de ressonància és allà on s'amplifica i es modifica el so, com més voluminós, més ben considerat, per això és essencial. Per altra banda, el material del piano ressona i la qualitat d'aquest influirà al so. A causa d'aquestes propietats hi ha diferències entre el so d'un piano car i un de barat. Aquestes diferències són la quantitat d'harmònics i la regularitat en què decreixen aquests. Així doncs, com més car és un piano més harmònics té i, per tant, produeix un so més ple. D'altra banda, els harmònics dels pianos més barats tenen una forma més aleatòria de decreixer en intensitat sobre l'eix de freqüències.

Per altra banda, el so resultant de les guitarres espanyoles i acústiques és produït per la caixa de ressonància, el material de les cordes i el material de la pròpia guitarra. Això és degut a que la vibració és provocada per les cordes i la caixa de ressonància, juntament amb tot l'instrument, amplifica el so. En canvi, el so resultant de les guitarres elèctriques és produït principalment pel material i les pastilles. Així doncs, degut a totes aquestes propietats hi ha diferències entre el so d'una guitarra cara i una de barata. Però, a més, el so d'una guitarra depèn de quin tipus de guitarra és i de quin estil de música estigui destinada a tocar. Per exemple, la LTD H-101FM (guitarra estudiada en el punt 5.3.2) i la guitarra espanyola (estudiada en el punt 5.1), tot i no haver-hi gaire diferència de preu, el so és diferent. Generalment però, les guitarres presenten molts harmònics i els pics d'aquests no segueixen cap ordre.

Globalment, hi ha molts factors que fan un instrument més car respecte un altre. Un d'ells és la qualitat i quantitat dels materials, tot el conjunt de peces que el formen. Altrament, també hi influeix la forma en que s'ha construït, és a dir, la precisió i les tècniques utilitzades per realitzar-lo. Com més qualitat presenten aquests factors més elevat és el seu preu. Conseqüentment, la qualitat del so d'un instrument és proporcional al preu, o sigui, com més car és un instrument més bo és el seu so. Tot i així, hi ha excepcions. Les marques repercuteixen en el preu final dels instruments, per tant les històricament més reconegudes acostumen a ser més cares. Així mateix, tant els acabats com l'estètica, acaben definint el preu a banda de la qualitat del so.



Un dels principals objectius de l'estudi era realitzar una comparació entre dos instruments, els pianos i les guitarres. Ja sabíem que, tot i ser tots dos instruments de corda, tenen un so molt diferent. Aquesta afirmació l'hem pogut observar a les nostres gràfiques. Així doncs, pel que fa als harmònics les guitarres en presenten molts més. Per altra banda, les guitarres no presenten cap patró pel que fa a la regularitat dels harmònics, en canvi, els pianos sí. Això és degut a que hi ha molta varietat de guitarres i van destinades a estils de música diferents, així doncs, estan especialitzades. Contràriament, els pianos segueixen un patró ben definit ja que tots estan destinats al mateix estil de música. A més, cada harmònic té menys intensitat que l'anterior, cosa que no passa amb les guitarres.

Una vegada finalitzat el treball, podem concloure que els objectius fixats s'han assolit. Hem trobat respostes a tot allò que ens preguntàvem. No obstant, hi ha aspectes que poden ser millorats. Un d'aquests és la qualitat en que estan gravades les mostres de so. Per perfeccionar-les es podria utilitzar un estudi de gravació, ja que durant l'enregistrament tot influeix i aquests espais hi estan especialitzats. A banda d'això, l'anàlisi s'ha realitzat interpretant el so a partir de les gràfiques. Per aconseguir resultats més fiables i, per tant, més intersubjectius s'ha de tractar la informació més matemàticament. Per últim, el darrer aspecte a millorar són les eines informàtiques utilitzades en el treball. Existeixen programes més professionals i de superior qualitat als emprats.

Finalitzat el treball, podem concloure que, en realitat, la música està regida per les lleis de la física, no s'escapa de la lògica. Però, no hi ha música perfecte, no és una fórmula matemàtica, cadascú la pot apreciar de distinta forma. La diversitat d'opinions i gustos és tan àmplia com persones hi ha al món. La música és subjectiva. Influeix en les persones tan com en els estats d'ànim, crea emocions. En definitiva, la música no és només física. Com deia Duke Ellington: "Music is music, that's it."

## BIBLIOGRAFIA

*Física II. Batxillerat.* ed. Barcelona, grup edebé, 2009

*Viquipèdia. Harmònic.* En línia. Internet.

<http://ca.wikipedia.org/wiki/Harm%C3%B2nic>

*Viquipèdia. Pastilla electromagnètica.* En línia. Internet.

[http://ca.wikipedia.org/wiki/Pastilla\\_electromagn%C3%A8tica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Pastilla_electromagn%C3%A8tica)

*Wikipedia. Classical guitar.* En línia. Internet.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Classical\\_guitar](http://en.wikipedia.org/wiki/Classical_guitar)

*Wikipedia. Fender Telecaster.* En línia. Internet.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Fender\\_Telecaster](http://en.wikipedia.org/wiki/Fender_Telecaster)

*Wikipedia. Guitar.* En línia. Internet.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Guitar>

*Yamaha. Pianos verticales b series.* En línia. Internet.

[http://es.yamaha.com/es/products/musical-instruments/keyboards/uprightpianos/b\\_series/?mode=series](http://es.yamaha.com/es/products/musical-instruments/keyboards/uprightpianos/b_series/?mode=series)

*Yamaha. Pianos verticales YUS series.* En línia. Internet.

[http://es.yamaha.com/es/products/musical-instruments/keyboards/uprightpianos/yus\\_series/?mode=series](http://es.yamaha.com/es/products/musical-instruments/keyboards/uprightpianos/yus_series/?mode=series)

*Ernie Ball. Electric strings.* En línia. Internet.

<http://www.ernieball.com/products/electric-strings/>

*ESP guitars. LTD H-101FM.* En línia. Internet.

<http://www.espguitars.com/guitars/ltd-guitar/h-101fm.html>

*Picado. Guitarras Antonio Picado.* En línia. Internet.

<http://www.guitarraspicado.com/>

Ministerio de Educación Cultura y Deporte. *Sonido y música con ordenador. Cualidades del sonido.* En línia. Internet.

[http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/60/cd/02\\_elsonido/2\\_cualidades\\_del\\_sonido.html](http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/60/cd/02_elsonido/2_cualidades_del_sonido.html)