

Índex

Història del piano	2
<ul style="list-style-type: none">• Antecedents del piano• Bartolomeo Cristofori: el pianoforte• L'Escola Vienesà i l'Escola Anglesa• Evolució fins l'actualitat	
Parts i funcionament del piano	7
Construcció d'un piano	12
Moviments periòdics, oscil·latoris i vibratoris	14
Les ones de so	17
<ul style="list-style-type: none">• Propagació del so en el medi• Longitud i freqüència d'ona• L'amplitud• El timbre• L'espectre de freqüències• El centroidespectral	
Introducció a la part pràctica	25
Pianos gravats	28
Anàlisi	32
Interpretació dels resultats	40
<ul style="list-style-type: none">• Brillantor• Diferències entre els centroides	
Conclusions	44
Fonts	45
Agraïments	46
Annex	47

Història del piano

Antecedents del piano

Per entendre l'evolució del piano, hem de començar parlant dels instruments de la seva família que són anteriors.

El primer antecedent que trobem del piano és la cítara, que té origen a Àfrica i Àsia, cap al 3000 aC. La cítara consisteix en una sèrie de cordes tenses de diferents llargades situades sobre una taula de fusta o una caixa de ressonància que es tocaven pinçant-les amb les ungles.



Una cítara

Més tard, a l'Edat Mitjana, la cítara va evolucionar al saltiri, semblant a la primera però amb una taula en forma de trapezi i una caixa harmònica rudimentària. També hi havia una variant, anomenada dulcimer, també en forma de trapezi, però que es col·locava paral·lela al terra i es tocava amb dues baquetes. En aquest punt ja tenim gairebé tots els elements bàsics que formen el piano: un bastidor i una sèrie de cordes que hi estan tensades i que es colpegen perquè vibrin a una determinada alçada d'una caixa de ressonància, que amplifica el so. Només ens falten els mecanismes.



Un dulcimer

Els primers instruments que afegeixen mecanismes entre l'interpret i les cordes, és a dir, un teclat, apareixen a principis del segle XVI, amb el clavicordi i el clavicèmbal. El clavicordi consistia en palanques que per una banda s'accionaven, mentre que per l'altra banda percutien la corda amb una pua de ploma d'ocell. Tenia una caixa de ressonància molt petita i per tant tenia un so dèbil.



En el clavicèmbal, que apareix a principis de S XVI a Itàlia,

Clavicordi

 diferència del clavicordi. Es basa en un o dos teclats que, mitjançant una sèrie de mecanismes, pincen les cordes amb un clau metàl·lic. El clavicèmbal, que es va utilitzar durant el Barroc, no permetia variar la intensitat dels sons, per tant en les obres per clavicèmbal s'havia de recórrer molt a les ornamentacions per decorar les peces. La seva caixa de ressonància està més evolucionada, i té un so més potent.

Bartolomeo Cristofori: El pianoforte

Més tard, a l'any 1695, Bartolomeo Cristofori, un constructor d'instruments italià, va inventar el pianoforte. El nom ve de la unió de les paraules italianes piano (fluix) i forte (fort), ja que el gran avenç de l'instrument és que permet fer molts matisos en el so depenent de la força amb que es premen les tecles. Cristofori va optimitzar els mecanismes del clavicèmbal i va substituir els claus i els plectres per peces de fusta en forma de martell recobertes de cuir. Això creava un so suau i dolç, no com els seus predecessors, que tenien un so estrident i metàl·lic. Cristofori va posar dues cordes les notes que estaven a partir d'un determinat to, i va afegir el primer pedal, anomenat "una corda". Aquest pedal desplaçava els martells cap a la dreta, fent que els martells només toquessin una de les cordes. Això reduïa la intensitat del so, i a més la corda que no era percutida vibrava per simpatia amb la corda del seu costat, creant un lleuger canvi de timbre. Per últim, Cristofori va inventar l'apagador, una sèrie de coixinets situats molt a prop de les cordes que les toquen quan es deixa de prémer la tecla, per tal de que deixi de sonar.

A partir d'aquí i fins ara, el que s'ha fet ha estat fer moltes millores i avenços, però el concepte segueix sent exactament el mateix.

El següent personatge important en la història és Gottfried Silbermann, que va ser qui va popularitzar el pianoforte. Van ser els seus prototips de piano els que Frederic II de Prússia va presentar a J. S. Bach el 1736, tot i que aquest en va criticar la debilitat dels aguts i la pesadesa del teclat. Per tant, Silbermann va continuar fent millores al piano



Pianoforte original de Cristofori que data de 1720

fins que, 11 anys més tard, el va tornar a ensenyar a Bach i aquest es va mostrar molt més optimista. Silbermann també va inventar el precursor del pedal de ressonància, que s'activava amb la mà, i retirava els apagadors per tal de que les cordes continuïn vibrant encara que es deixi anar la tecla. Això també afegeix una gran quantitat d'harmònics que vibren per simpatia. Fins al Romanticisme, només s'utilitzava ocasionalment.

L'Escola vienesa i l'Escola anglesa

Dos alumnes de Silbermann, Johannes Zumpe i Johannes Andreas Stein, fan fundar les dues escoles més importants de fabricació de pianos durant molt de temps. Stein va fundar l'Escola vienesa, de la qual la característica més important era que el martell estava en contacte amb la tecla. Això feia que la resposta fos més ràpida i la pulsació fos més lleugera i directa. No obstant, també eren pianos amb menys sonoritat que els de l'Escola anglesa.

L'Escola anglesa va ser fundada per J. Zumpe, i d'ella en descendeixen els pianos actuals. Un dels seus constructors més importants va ser John Broadwood, que va consolidar l'anomenada mecànica anglesa. Els canvis més importants són:

- El creuament de les cordes gràcies a la divisió del pont de fusta, que permet allargar les cordes sense allargar la caixa.
- La inserció de barres metàl·liques al quadre, que permet augmentar el gruix i la tensió de les cordes, augmentant la sonoritat.
- El pedal de ressonància.
- L'augment del gruix del martell, que augmenta la sonoritat del piano.
- L'augment de la tessitura, que arriba a les 7 octaves.

Evolució fins l'actualitat

Més tard, ja a principis del S. XIX, trobem dos personatges importants a París, que llavors era la capital del piano. El primer és H. Pape, que va substituir el cuir dels martells per feltre, avenç que encara es manté i que augmenta la força i precisió de l'atac. El segon és Sebastian Erard, que afegeix una tercera corda a les notes agudes i inventa el doble escapament, que consisteix en una molla que fa rebotar el martell

quan aquest ja ha colpejat la nota i torna a la posició de repòs. Això fa que el martell s'aturi a mig camí, cosa que fa el teclat més lleuger i permet repetir una nota a gran velocitat.

També en aquesta època trobem els primers prototips de pianos verticals. Isaac Hawkins va patentar el seu model l'any 1800.

Cap a la meitat del S.XIX, les fàbriques més importants de pianos s'havien establert als Estats Units i a Alemanya, que utilitzaven sistemes industrials per produir-los, i també invertien en investigació per millorar-los constantment. En poques dècades es va arribar al piano tal i com el coneixem avui en dia. L'última millora notòria en la construcció de pianos, feta per la marca americana Steinway, va ser la incorporació del quadre totalment metàl·lic, que va homogeneïtzar el timbre i el volum a tot el piano i va permetre tensar més les cordes, augmentant la sonoritat. També va ser la mateixa marca que va introduir el pedal tonal el 1874, que sosté només un grup de notes desitjades.

Actualment, es poden diferenciar tres grans zones de producció de pianos: els Estats Units d'Amèrica, el centre d'Europa i l'est d'Àsia. Seria molt llarg anomenar totes les marques de piano, per tant anomenaré només les més importants.

Als Estats Units trobem la casa Steinway & Sons, el fabricant de pianos amb més reputació del món. Va ser fundada el 1853 a Nova York per un immigrant d'Alemanya, Heinrich Steinweg (que va adaptar el cognom a Steinway), i amb molt pocs anys ja va obtenir un gran reconeixement nacional. Actualment construeixen pianos verticals i de cua, que exporten arreu del món. Steinway & Sons també és propietària de dues marques de pianos de menys luxe: Boston i Essex. Els pianos Boston es consideren de categoria mitjana respecte els Steinway, i són fabricats per Kawai a Japó. Els pianos Essex són de categoria baixa respecte els Steinway, i són fabricats per Pearl River a la Xina.

Al centre d'Europa hi ha una gran quantitat de cases de pianos, sobretot a Alemanya.

Són alemanyes les companyies Bechstein (una de les més reputades del món), Feurich, August Förster, Grotrian-Steinweg, Samick... També trobem cases importants a altres

països d'Europa, com la italiana Fazioli, que a part de fabricar pianos de gran qualitat, fabrica el piano de producció més llarg del món (3'08m). Finalment, a Àustria hi ha la companyia Bösendorfer, també una de les més reconegudes del món.

A Àsia trobem el fabricant Yamaha, que tot i que ara fabriquen moltes altres coses com altres instruments o motos, va començar fabricant pianos i orgues. També a Japó hi ha la companyia Kawai, que també s'ha especialitzat en sintetitzadors. Finalment, a Corea del Nord hi ha la casa Young Chang.

Parts i funcionament del piano

Les parts d'un piano

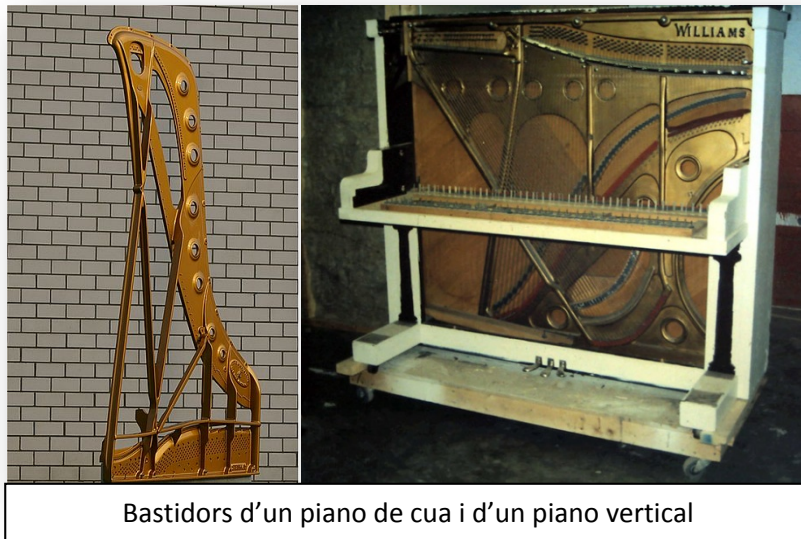
Tots els pianos, tan verticals com de cua, tenen en comú l'estructura bàsica, formada per les següents parts:

- **El teclat:** normalment està format per 88 tecles, 36 negres i 52 blanques, formant un total de 7 octaves i tres tecles. També hi ha pianos amb 7 octaves justes, i algun model de Bösendorfer que té fins a 97 tecles. El pes de les tecles és un aspecte fonamental del piano, ja que determina la força que haurà de fer el pianista per prémer-les.
- **El mecanisme de percussió:** s'encarrega de transmetre la força de la tecla a la corda. És un mecanisme molt complex, que en total té, depenent del piano, entre 2200 i 2700 peces aproximadament. També inclou els apagadors, que fan que les cordes deixin de vibrar quan es deixa de pressionar la tecla.
- **Les cordes:** estan disposades en diagonal i creuades, per tal d'aprofitar al màxim l'espai. Són un total de 224, ja que les notes d'altura mitjana tenen dues cordes, i les notes més agudes en tenen tres. Cada corda, depenent de la seva altura, està sotmesa a una tensió de entre 30 i 190 kg, per tant, entre totes les cordes creen una tensió d'entre 15 i 20 tones. Estan fetes d'acer dur amb carboni (0'7-0'8% de carboni).
- **La taula harmònica:** és l'element que transmet i amplifica el so del piano. Està feta de làmines de fusta, sovint d'avet, encolades seguint la direcció de les vetes de la fusta. Es troba sota o darrera el bastiment segons si el piano és de cua o vertical.



La taula harmònica conté els ponts, que és on van lligades les cordes, i que transmeten les vibracions d'aquestes a la taula. En el piano de cua es veuen clarament els dos ponts, el petit al fons i el gran que va d'una punta del piano a l'altra. En el piano vertical també es poden veure els claus que indiquen que darrera hi ha els ponts.

- **El bastidor:** és una gran peça de ferro que aguanta tota la tensió de les cordes, que hem dit que podia arribar a ser de 20 tones. En un principi era de ferro, però la tensió de les cordes s'anava augmentant amb els anys, i això va obligar a anar-lo reforçant amb ferro, fins que el 1856 la casa Steinway & Sons el va construir fos en una sola peça.



Bastidors d'un piano de cua i d'un piano vertical

A la part frontal del bastidor d'un piano de cua i a la part superior en el piano vertical hi ha el claviller, que és on es troben les clavilles d'afinació. S'encarrega de que les clavilles no es moguin per tal de no perdre l'afinació del piano.

- **La caixa i la tapa:** La caixa és la part exterior del piano, i és el que aguanta la resta dels elements. També fa de caixa de ressonància, augmentant la sonoritat del piano. En els pianos de cua, la tapa, apart de tancar la caixa, també es pot obrir per dirigir el so cap al públic.
- **Els pedals:** Els pedals són uns mecanismes que s'activen amb els peus, i que tenen funcions diferents segons si es troben en un piano de cua o en un piano vertical. De dreta a esquerra, un piano de cua té:

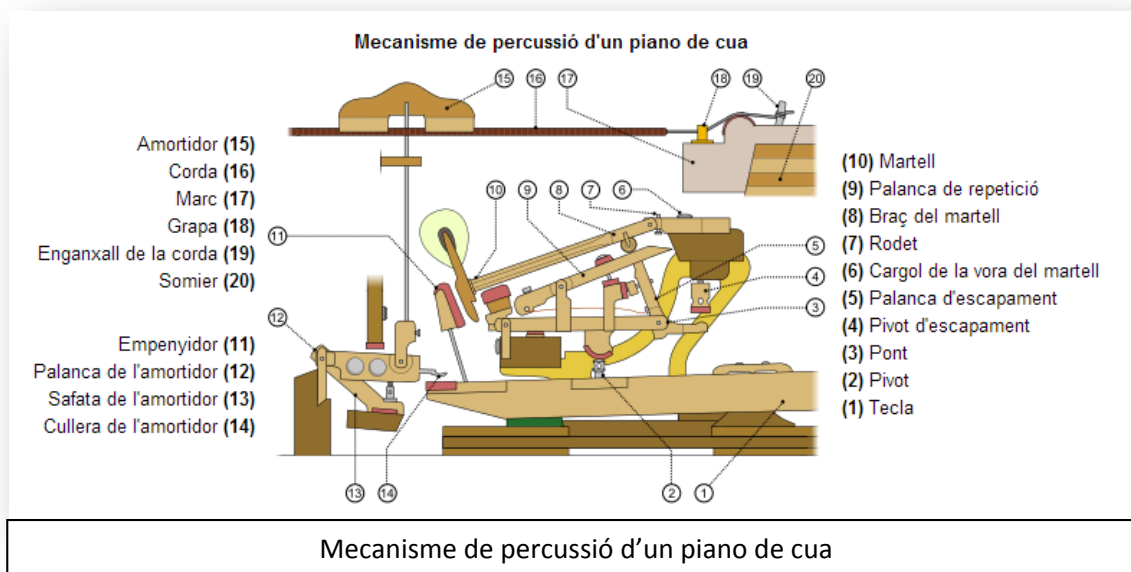
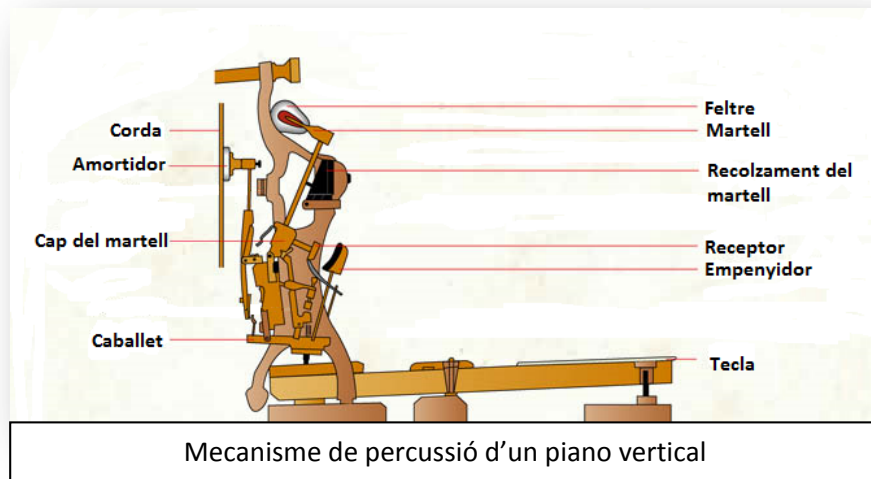
- El pedal de ressonància: quan s'acciona retira tots els apagadors, deixant que les cordes vibrin encara que es deixi anar la tecla. Això permet barrejar notes i acords, augmentant les possibilitats de l'instrument. També fa que moltes altres cordes vibrin per simpatia, per tant la sonoritat també és més gran.
- El pedal tonal: el pedal tonal retira els apagadors només de les notes que es toquen mentre s'acciona el pedal. Amb això s'aconsegueix l'efecte anomenat "nota pedal".
- El pedal "una corda": mou tots els martells cap a la dreta, fent que aquells que tocaven tres cordes en toquin només dues. Això redueix notablement la sonoritat del piano i crea un so menys brillant.

Els pianos verticals també tenen el pedal de ressonància, però no els altre dos. En canvi del pedal tonal tenen la sordina, que té una funció totalment diferent. La sordina interposa una tela entre els martells i les cordes, reduint la sonoritat de forma dràstica. Això permet tocar el piano sense molestar la gent de casa o els veïns. La sordina es pot deixar activada sense necessitat de tenir-la sempre pressionada amb el peu.

D'altra banda, en canvi del pedal "una corda", el piano vertical té el pedal d'aproximació, que té una funció semblant al "una corda". Aquest pedal apropa tots els martells a les cordes, fent que quan s'acciona una tecla el martell impacta amb menys velocitat contra la corda, reduint la intensitat del so.

El funcionament del piano

Com ja hem dit, el mecanisme que s'encarrega de fer que la força que el pianista fa sobre la tecla passi fins a la corda és força complex. Hi intervenen una gran quantitat de palanques, bàscules, braços, molles i altres peces. No obstant, el funcionament general del mecanisme és fàcil d'entendre.



En els dos pianos el mecanisme funciona de manera similar. Quan premem una tecla, aquesta actua com una palanca: la part de davant baixa, i la de darrera puja. Això fa que s'activin dos mecanismes.

Per una banda, mou la cullera de l'amortidor, que fa que el mecanisme de l'amortidor s'activi, fent que l'amortidor alliberi la corda mentre premem la tecla i que l'aturi quan deixem anar la tecla. Això fa que la nota soni només mentre mantenim la tecla premuda.

D'altra banda, s'activa el mecanisme de percussió pròpiament dit, força més complex. Quan la part de darrera de la tecla s'aixeca, mou l'empenyidor, que dispara el martell contra la corda fent que aquest hi impacti i la faci vibrar. Llavors el martell rebota, però no torna a la seva posició original, si no que gràcies al mecanisme d'escapament s'atura a 1 o 2 centímetres de la corda. Un cop deixem anar la tecla, es desactiva

l'escapament i el martell torna a la posició original. L'escapament serveix per poder repetir una nota a gran velocitat.

Construcció d'un piano

Per fer la caixa d'un piano de cua, s'encolen unes planxes de fusta per ambdues bandes. Després s'enganxen entre 5 i 8 planxes, depenent del piano. Llavors es porten les planxes encara humides a una premsa, que les doblega per donar-los la forma del piano. L'endemà es retiren de la premsa i es porten a la sala de condicionament, on seguiran eixugant-se durant un mes.



Sala de condicionament de les caixes.

Per fer l'estructura de reforç, es col·loquen unes barres de fusta encolades a la caixa, i s'aplica pressió amb un torn. Després es deixa eixugar durant una hora.

El següent element en la fabricació és la tapa harmònica. Per fer-la, s'encolen unes planxes de fusta horitzontalment i seguint la direcció de les vetes. Un cop ja són una sola peça, es talla per donar-li la forma del piano. Llavors se li encolen unes barres de fusta, a les quals s'aplica pressió per que s'enganxin. Un cop sec, es redueix el gruix de les barres. Després es porta la tapa a la premsa dels ponts, on un dispositiu marca la posició exacta dels ponts. Un cop encolats i col·locats, la premsa fa que s'enganxin correctament.

Llavors es col·loca el bastidor, que s'ha creat amb un motlle, sobre la tapa harmònica.

Després s'encola la caixa, i es dona la forma corbada a la part de la caixa que va al costat del teclat. Llavors la caixa es pinta de negre amb polièster i s'abrillanta. També hi ha pianos que no es pinten per veure la fusta, i també hi



Moment en què s'ajunten el bastidor i la tapa harmònica.

ha algun piano blanc. El bastidor sol pintar-se de color daurat.

El següent pas és col·locar el claviller sota el bastidor i perforar-lo a través dels forats que ja té el bastidor. Un cop fets els forats, es col·loquen les clavilles i s'hi lliguen les cordes d'acer, que per l'altra banda van lligades als ponts.



Un treballador forada el claviller a través del bastidor.

Un cop fet això ja es pot col·locar el teclat, els amortidors i el mecanisme de percussió. El teclat està fet de fusta i va recobert de plàstic per donar-li el color, i cada tecla s'introdueix en un clau perquè pugui fer palanca. Els amortidors van col·locats al costat de cada corda, i estan fets de feltre, i els martells estan fets de fusta recoberta amb feltre. Ara toca comprovar la força necessària per prémer cada tecla, per tal de saber si serà còmode pel pianista. Per aconseguir el pes ideal, es fan uns forats al lateral de la tecla i s'hi introdueixen petits cilindres de plom perquè facin de contrapès. També es revisa el moviment dels martells, que és ajustable.

L'últim mecanisme que queda és el dels pedals. Tots utilitzen un sistema de palanques que poden anar connectats als apagadors, com el de ressonància o el tonal; o als martells, com l'una corda o el d'aproximació. Per últim, només queda afegir la tapa i les potes, que són de fusta i van pintades com la caixa.

Durant aquest procés, tot influirà en la qualitat del piano. La fusta que s'escull per cada part del piano, la qualitat del mecanisme d'acció, tant en disseny com en materials; la cura que es té de cada fase, els controls de qualitat, l'habilitat dels treballadors... tot farà variar d'alguna manera o altra el timbre del piano.

Moviments periòdics, oscil·latoris i vibratoris

Moviments Periòdics

Un moviment periòdic és aquell que es repeteix en intervals idèntics de temps. Els moviments periòdics són totalment presents en la nostra vida: des d'un pèndol o una roda fins a la rotació de la Terra, en podem trobar a tot arreu. Els moviments periòdics tenen diverses magnituds, i per explicar-les utilitzarem l'exemple del pèndol:

- **Cicle:** és l'espai que recorre el cos quan passa per tots els punts del moviment i torna al punt d'origen. Si mirem un pèndol quan està en el punt més alt, seria l'espai que recorre per anar fins a l'altre extrem i tornar. Es mesura en metres.
- **Elongació:** espai que hi ha en un instant qualsevol entre el cos i el punt de repòs. En el pèndol seria la distància entre el pèndol en un instant qualsevol i el punt més baix del moviment.
- **Amplitud:** espai entre el punt de repòs i el punt extrem del moviment. És una quarta part del cicle. En el pèndol seria la distància entre el punt més baix i el més alt.
- **Període:** És el temps que tarda el cos en completar el cicle.
- **Temps d'amplitud:** És el temps que tarda el cos per anar des del punt de repòs (el punt més baix del pèndol) fins al punt extrem (el punt més alt).
- **Freqüència:** És el nombre de cicles que es produeixen per unitat de temps. Un moviment que es repeteix un cop cada segon es diu que té una freqüència d'1 hertz, en honor al físic alemany Heinrich Hertz. La freqüència (f) és la inversa del període (T).

Moviments oscil·latoris

És un cas particular de moviment oscil·latori en què el mòbil es desplaça en trajectòria rectilínia o curvilínia, recorrent-la alternativament amb un sentit i el contrari. El pèndol continua sent un exemple, però el moviment dels planetes ja no.

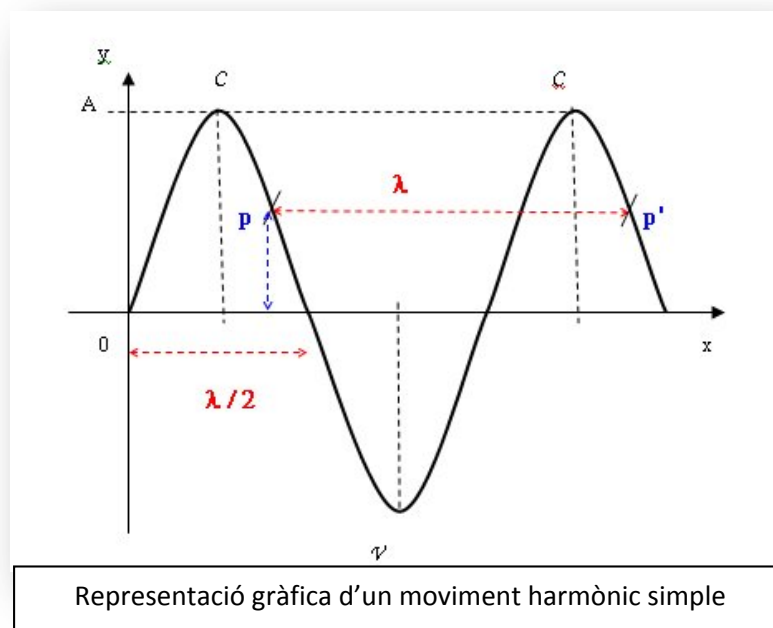
Moviments vibratoris

És un tipus de moviment oscil·latori rectilini en què les oscil·lacions són molt petites.

Un cos que vibra o el so són exemples de moviments vibratoris. El tipus més fonamental dels moviments vibratoris són els moviments harmònics, on els desplaçaments del cos són directament proporcionals a les forces que els provoquen. Els moviments vibratoris poden ser simples, si tenen una sola trajectòria; o bé compostos si en tenen més.

Representació gràfica

Els moviments vibratoris es representen en uns eixos de coordenades cartesianes on es representen les elongacions en l'eix de les y i el temps en l'eix de les x . El resultat de la representació és una ona sinusoïdal:

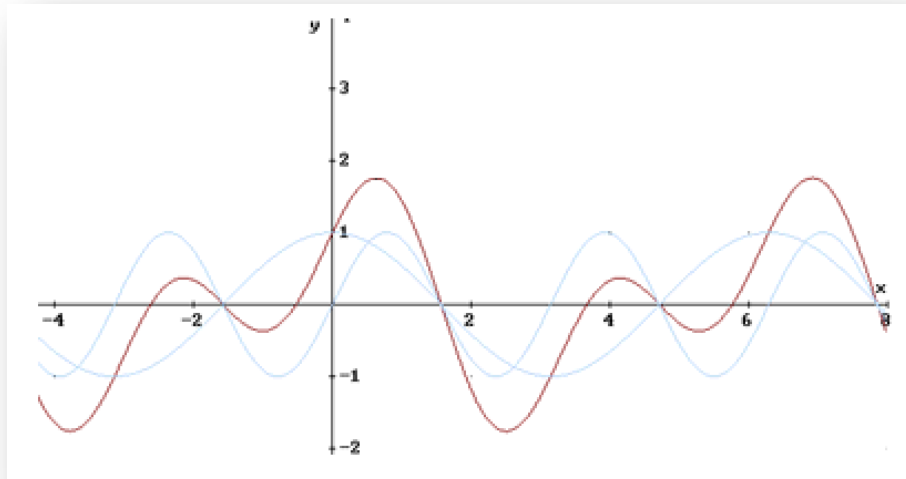


En aquesta figura, l'alçada de l'ona és l'amplitud del moviment (**A**), i la distància entre p i p' és el període (λ). També podem veure els punts C , que són la cresta de la ona; i el punt V , que és la vall. Finalment, $y=0$ representa el punt de repòs del cos.

Moviment vibratori complex, Teorema de Fourier

A la vida quotidiana no trobarem sons amb un moviment vibratori simple, gairebé sempre serà un moviment complex.

El matemàtic francès Jean-Baptiste-Joseph Fourier (1768-1830) va crear un teorema que diu que qualsevol moviment vibratori complex, de període T i freqüència f és expressable com una suma de diversos moviments harmònics simples de períodes T , $T/2$, $T/3$, $T/4$... i freqüències f , $2f$, $3f$, $4f$... Per tant, qualsevol corba periòdica complexa es pot descompondre en indefinides sinusoides.

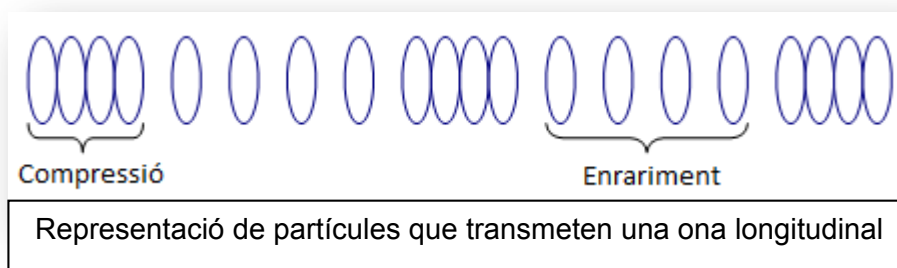


En aquesta representació veiem com l'ona complexa (vermella) es pot descompondre en dues ones simples (blaves)

Les ones de so

Les ones de so són un tipus d'ones mecàniques, és a dir, pertorbacions de les propietats mecàniques d'un medi material, que poden ser la posició, la velocitat i l'energia dels àtoms o les mol·lècules que el formen. Aquestes ones, normalment, són oscil·latòries, i transporten energia sense transportar matèria.

Una font d'ones sonores, és a dir, un cos que oscil·la, mou les mol·lècules d'aire que l'envolten. Aquestes mouen les del costat, i així successivament, originant una ona sonora. Quan les mol·lècules es mouen, arriben fins a un punt extrem, van fins al punt extrem oposat passant pel punt de repòs i tornen. Cada vegada que completen aquest moviment diem que han fet una oscil·lació completa. Aquestes oscil·lacions generen canvis de pressió locals. Això vol dir que, en algunes zones, les mol·lècules s'ajunten (compressió) i en altres zones se separen (enrariment). Les mol·lècules només poden oscil·lar respecte el seu punt de repòs (la seva posició inicial).



Com podem veure a la imatge, les oscil·lacions es produeixen en la mateixa direcció en la que es propaga la ona. Aquest tipus d'ones s'anomenen ones longitudinals. El cas contrari són les ones transversals, en què les oscil·lacions es produeixen en direcció perpendicular a la de la transmissió de l'ona. Un exemple d'aquest cas és quan tirem una pedra a l'aigua: l'ona es desplaça horitzontalment, però l'aigua es mou amunt i avall.

Aquests moviments generen petits canvis de pressió en l'aire, que estimulen el nostre timpà, provocant que sentim un so.

Propagació del so en el medi

Les ones de so necessiten un medi elàstic per propagar-se, per tant, no es propaguen ni en medis rígids ni en el buit. Depenent del material del qual està fet el medi, la velocitat i la intensitat amb que es propaguen les ones varia notablement.

- En els sòlids és per on les ones viatgen més ràpida i intensament, com en la fusta, que viatja al voltant dels 1500 m/s, arribant a velocitats superiors als 5000 m/s en metalls com acers o alumini.
- En els líquids, la velocitat i la intensitat disminueixen respecte el sòlids. Per exemple, en l'aigua la velocitat es redueix a 1500 m/s.
- En els gasos és on es transmeten més lenta i dèbilment. La velocitat típica del so a través de l'aire és de 343 m/s, tot i que això només és exacte per aire a 20°C. Com més baixa és la temperatura de l'aire, més lentament es propaga l'ona (en aire a 0°C viatja a 331 m/s). Per cada grau que disminueix la temperatura, la velocitat del so baixa en 0'6 m/s. També influeixen la pressió i, en menys mesura, la humitat relativa.

La velocitat de propagació del so no s'ha de confondre amb la velocitat a la que vibren les mol·lècules.

Normalment, i per raons pràctiques, quan es parla d'ones que viatgen pel medi, se sobreentén que aquest medi és l'aire, ja que en moltes poques ocasions es dona el cas contrari. L'aire té unes característiques rellevants en la transmissió d'ones sonores:

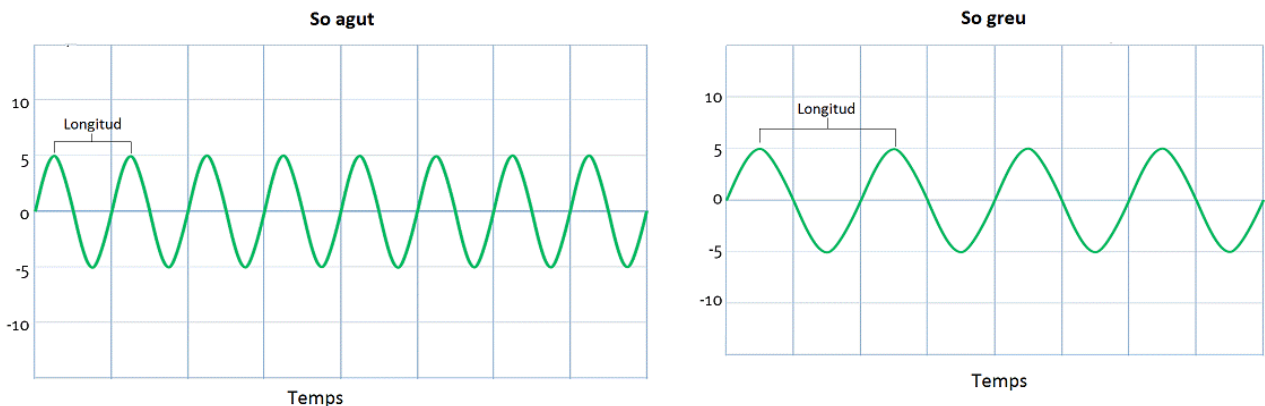
- És un medi no dispersiu, és a dir, l'amplitud i la freqüència d'ona (que s'explicaran més endavant) no afecten a la velocitat de propagació.
- És un medi homogeni, per tant les ones es desplacen esfèricament, creant el que s'anomena un camp sonor.
- En ell, la propagació és lineal, que vol dir que es poden propagar diverses ones al mateix temps sense afectar-se entre elles.

Longitud i freqüència d'ona

Com ja hem dit, les ones de so es propaguen formant una esfera, que té com a centre la font de les ones. Per tant, podem imaginar una cadena de mol·lècules que van des

del centre de l'esfera fins a un receptor. Des que la font de les ones posa en moviment la mol·lècula que té més a prop fins que aquesta fa moure la següent, passa un temps determinat. Això passarà amb totes les mol·lècules de la cadena, per tant cada mol·lècula es trobarà en una situació de l'oscil·lació diferent que les mol·lècules que té al voltant. No obstant, hi haurà altres mol·lècules de la cadena que es troben exactament en la mateixa situació de l'oscil·lació. La distància entre dues mol·lècules consecutives que es troben en aquest estat és la longitud d'ona. Per comoditat, a l'hora de mesurar la longitud d'ona es fa considerant dos punts que es troben en la màxima compressió, el màxim enrariment o bé l'estat de repòs.

D'altra banda, el nombre d'oscil·lacions que fa una mol·lècula per unitat de temps s'anomena freqüència. Una ona que produeix una oscil·lació cada segon té una freqüència d'un hertz (Hz). La freqüència és una de les propietats fonamentals del so, ja que gràcies a ella podem diferenciar sons aguts i sons greus. L'oïda humana pot identificar sons amb freqüència des de 16 Hz fins a 20.000 Hz. Els sons amb menys freqüència de la audible s'anomenen infrasons, i els que en tenen més, ultrasons.



Gràfiques de dues ones de so de freqüències diferents.

Si la longitud d'ona augmenta, la freqüència disminueix; i viceversa. Per tant, la longitud i la freqüència són inversament proporcionals. En acústica, la freqüència s'anomena altura o to.

L'amplitud

L'amplitud d'ona és el grau de moviment de les mol·lècules de l'ona. Dues mol·lècules d'aire poden estar vibrant a la mateixa freqüència però que una d'elles faci un

moviment més gran. És a dir, la distància entre el punt de repòs i el punt extrem de la vibració és més gran. En acústica s'anomena intensitat, i fa que distingim entre sons forts i sons fluixos.

Es mesura en decibels (dB), que són la desena part d'un bel, en honor a Alexander Graham Bell. El decibel és una unitat de mesura logarítmica que expressa la magnitud respecte un nivell de referència. En el cas de l'amplitud, aquest nivell de referència és el llindar d'audició humana, i es troba en 0 decibels, que representen una pressió de 20 micropascals. La relació entre les mesures expressades en decibels no és escalar, sinó logarítmica, per tant un so amb una intensitat de 20 dB no és el doble de fort que un de 10 dB, sinó que és 10 vegades més fort. D'altra banda, la intensitat negativa fa referència a una intensitat més petita de la audible.

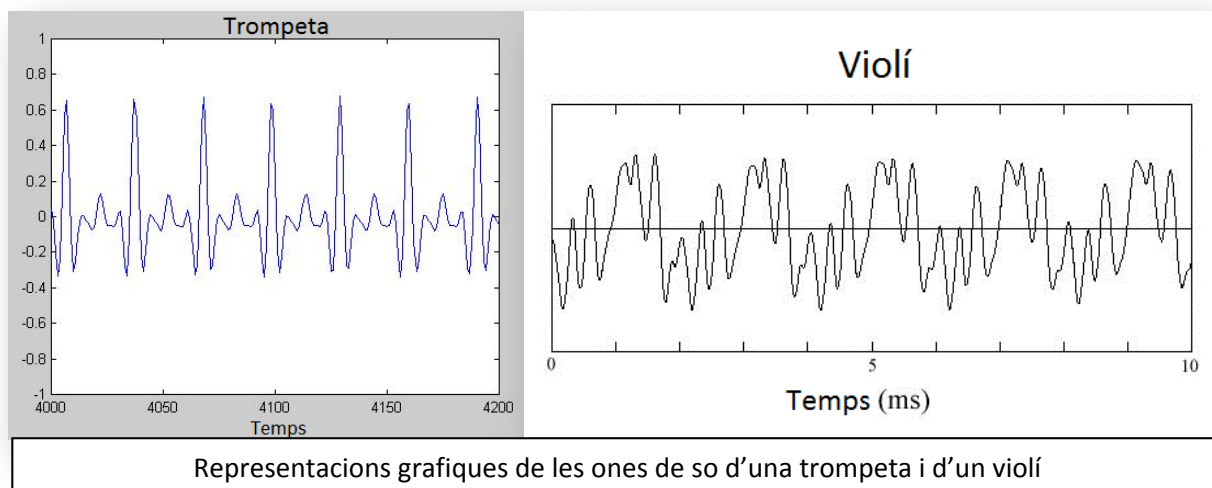
10 Log X	X
100	10000000000
90	1000000000
80	100000000
70	10000000
60	1000000
50	100000
40	10000
30	1000
20	100
10	10
0	1
-10	0.1
-20	0.01
-30	0.001
-40	0.0001
-50	0.00001
-60	0.000001
-70	0.0000001
-80	0.00000001
-90	0.000000001
-100	0.0000000001

Relació entre "x" i
"10Log x".

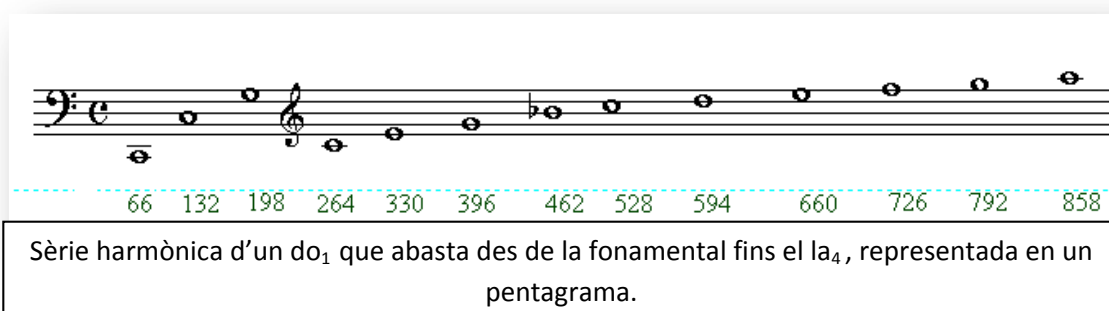
El timbre

El timbre és la propietat del so que ens permet diferenciar dos sons d'igual altura, intensitat i duració, però que són produïts per instruments diferents.

El timbre es podria definir com la forma de la ona, ja que només els sons purs produeixen una ona sinusoïdal perfecta; la resta de sons produeixen una ona complexa. Un diapasó, per exemple, produeix una ona gairebé pura, mentre que instruments com el violí o el piano produeixen ones molt complexes. En les representacions gràfiques, aquestes variacions de la forma de l'ona es poden observar clarament.



Gràcies al teorema de Fourier, sabem que aquestes ones complexes es poden descompondre en indefinides ones simples de freqüències $1f$, $2f$, $3f$... on f és la freqüència fonamental, és a dir, la més greu. Aquestes ones simples s'anomenen sèrie harmònica. Per exemple, si toquem un do_1 amb el piano, aquest do_1 és la fonamental, i l'harmònic $2f$ és el do_2 , $3f$ és el sol_2 , $4f$ és el do_3 ... De tots els harmònics que sonen quan toquem una nota, només en sentim els que s'anomenen presents, ja que n'hi ha d'altres que estan fora del llindar d'audició per ser massa dèbils o massa aguts.



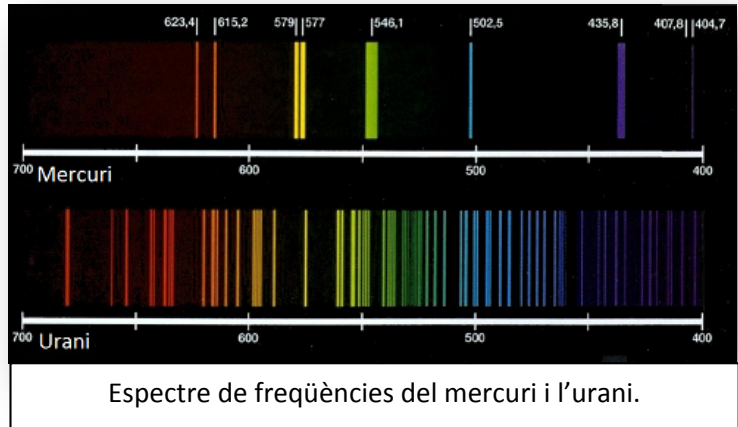
A cada instrument, la intensitat de cada un dels harmònics és diferent, i això és un dels factors més importants que determinen el timbre. Per estudiar la intensitat de cada un dels harmònics en qualsevol ona de so s'utilitza l'espectre de freqüències.

L'espectre de freqüències

L'espectre de freqüències d'un moviment ondulatori és la mesura de la intensitat de cada freqüència. Això es pot fer tant amb ones electromagnètiques com amb ones de so.

Un exemple molt simple és en el cas de l'arc de Sant Martí. La llum del Sol és una superposició de moltes freqüències d'ona diferents, és a dir, de molts colors diferents.

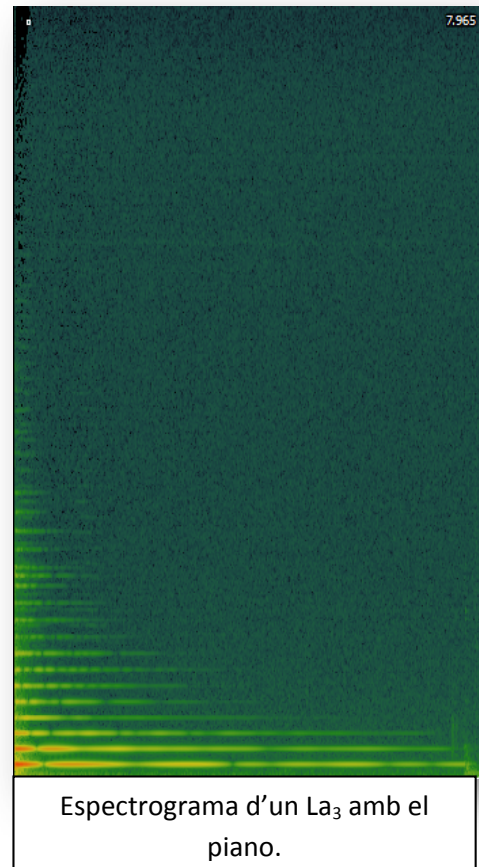
De vegades, quan aquesta llum travessa les gotes d'aigua de l'atmosfera, es descompon, perquè cada color es reflecteix amb un angle una mica diferent. Altres tipus de llum, com la que emeten els elements químics a altes



temperatures i que es poden descompondre per altres mètodes; no tenen totes les freqüències: en tenen unes de característiques, que els diferencien dels altres elements.

De la mateixa manera, les ones de so complexes es poden descompondre en les seves freqüències diferents. El resultat és un anàlisi dels harmònics, que són els determinants del timbre. Per tant, un so gairebé pur, com el d'un diapasó, tindrà molt pocs harmònics en el seu espectre, mentre que sons com el del violí o la trompeta en tindran més. També tindran més harmònics els sons greus, ja que tenen gran part de la sèrie harmònica per davant; mentre que els sons aguts en tindran molts menys.

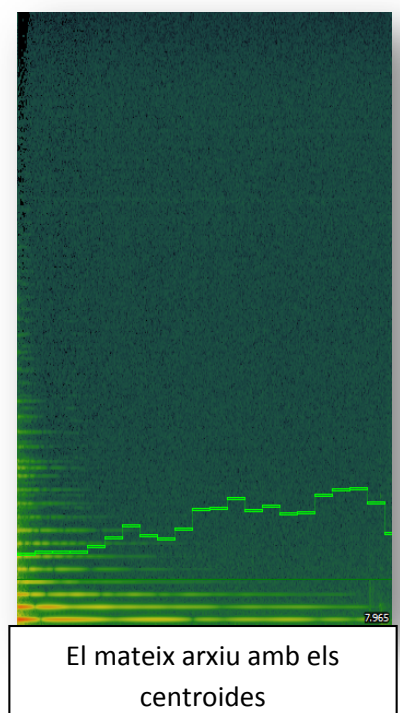
A la gràfica del costat veiem un espectre de freqüències (o espectrograma) del so d'un piano. A l'eix vertical hi ha la freqüència, i a l'horitzontal hi ha el temps. La intensitat està representada amb una escala de color, anant des del negre, que indica que no hi ha intensitat, fins al vermell passant pel verd. Així, podem veure que la fonamental és la barra de l'extrem inferior, perquè és la més greu, i també és la més intensa. La resta de barres són els harmònics: les ones de freqüències doble, triple, quàdruple... Totes tenen menys intensitat que la que està per sota seu. Com que el so és amortit, tots els harmònics perden intensitat al llarg del temps, de manera que els més aguts duren només unes fraccions de segon. La resta de la gràfica, aquest espai gran i homogeni és soroll de fons. Gran part del soroll s'ha tret amb un programa informàtic, però sempre en queda una mica. Són sons de totes les freqüències i amb una intensitat homogènia.



Centroide espectral

El centroide espectral és una mitjana ponderada de totes les freqüències en un període de temps.

Per entendre-ho, imaginem que tenim una ona complexa de 10 Hz, que si la descomponem en surten la fonamental i dos harmònics, un de 20 Hz i un de 30. Si féssim una mitjana d'aquestes freqüències tindríem $10+20+30=60$ Hz, que dividit pel nombre d'ones seria $60/3=20$ Hz. No obstant, no hem tingut en compte la intensitat de cada ona: no hem fet una mitjana

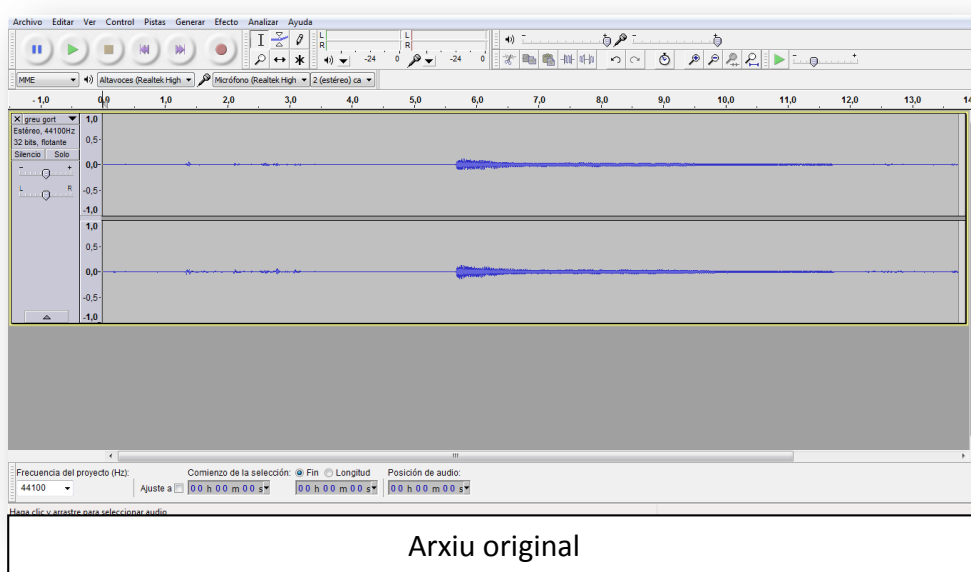


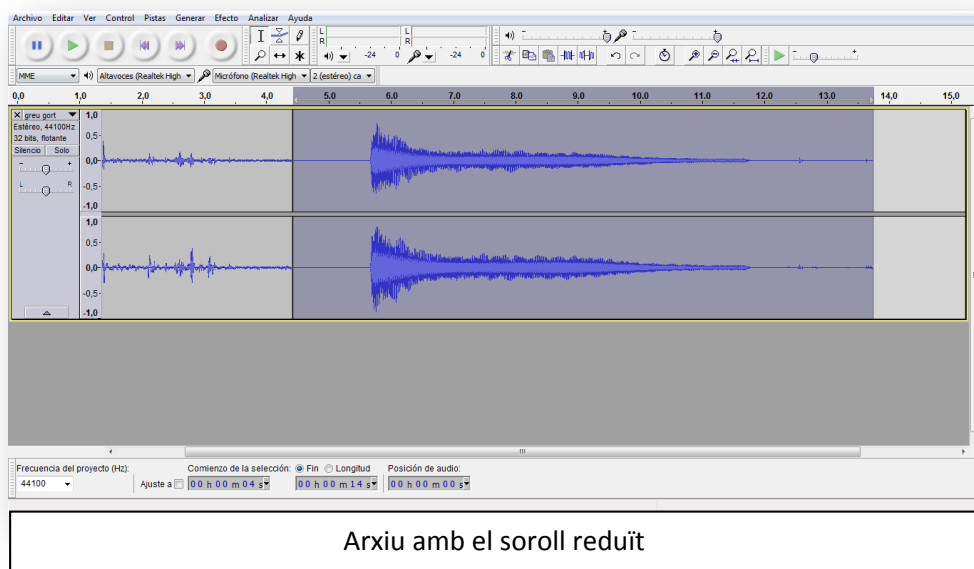
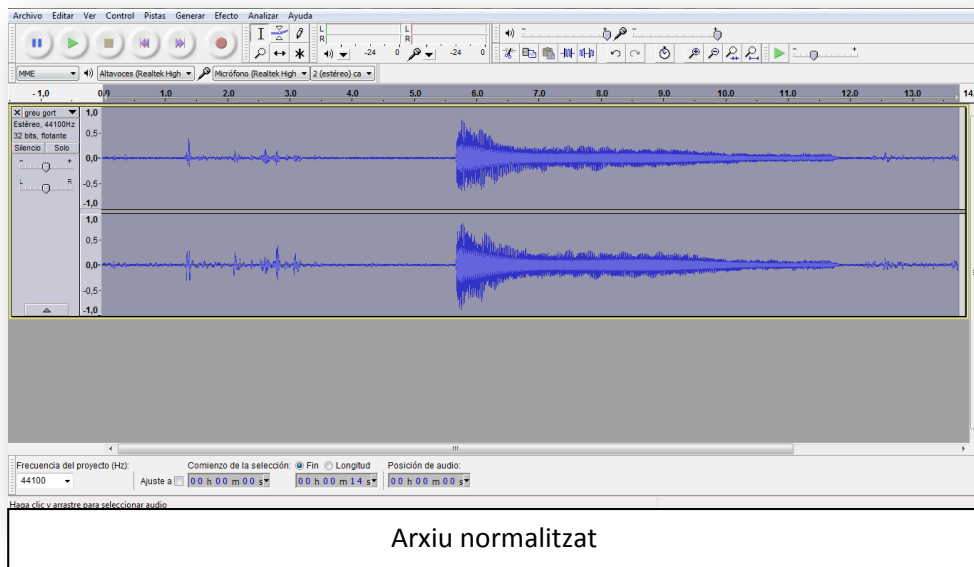
ponderada. Quan obtenim el centroide espectral d'una ona, ho fem tenint en compte la intensitat de cada un dels harmònics, i per tant també aconseguim molta més informació. El centroide espectral ens indica el centre de masses de l'ona, i va molt estretament relacionat amb la brillantor del so. Com podem veure a la gràfica següent, hem calculat el centroide espectral. Hi ha un centroide per cada 371 mil·lèsimes de segon aproximadament. Al principi comencen amb freqüències baixes, ja que els primers harmònics tenen molta intensitat respecte els altres. A mesura que el so es va apagant, el centroide espectral tendeix a augmentar de freqüència.

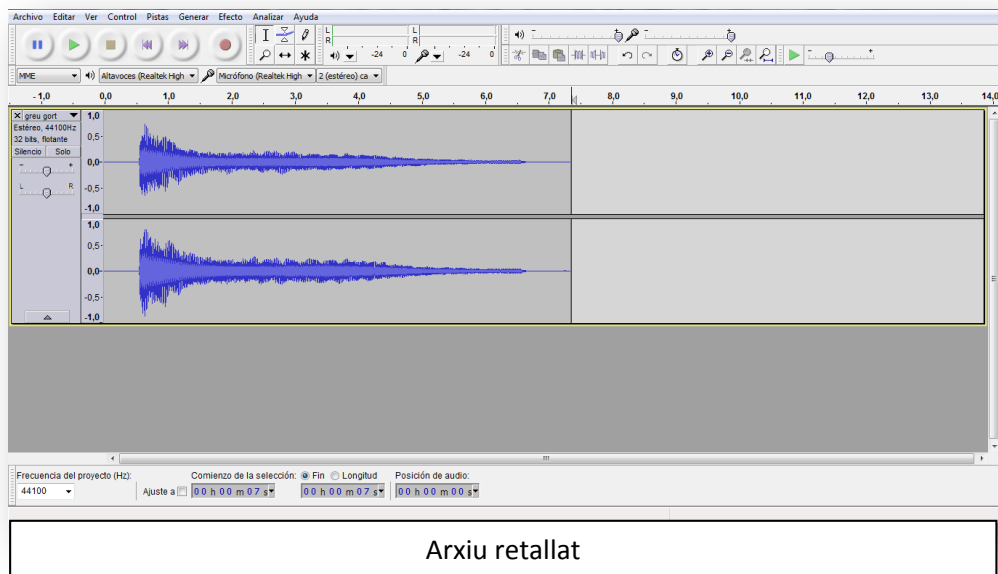
Introducció a la part pràctica

El primer pas en la part pràctica d'aquest treball ha estat gravar tots els pianos. A cada piano he gravat la seqüència “nota fluixa, nota forta, nota amb pedal, nota picada, acord major” a tres La del piano: el La₁, de 55 Hz; el La₄, de 440 Hz, i el La₆, de 1760 Hz.

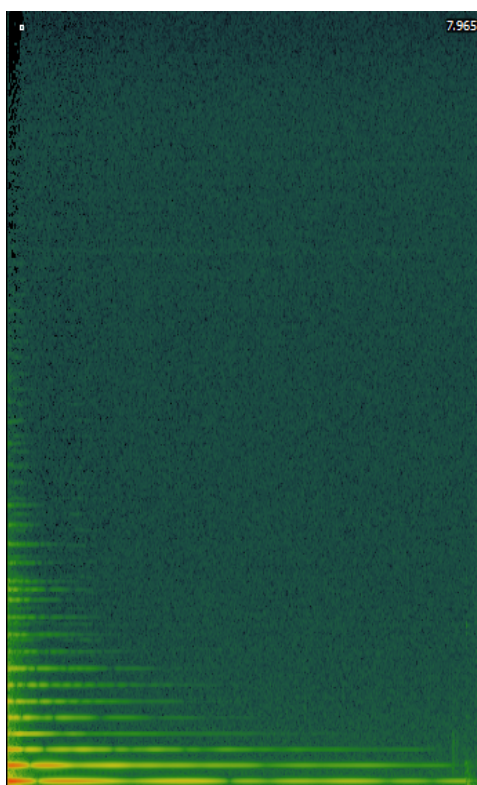
Després, utilitzant el programa Audacity, he fet un normalitzat a tots els arxius, per tal que l'amplitud sigui similar en tots ells, els he retallat i els he reduït el soroll de fons.



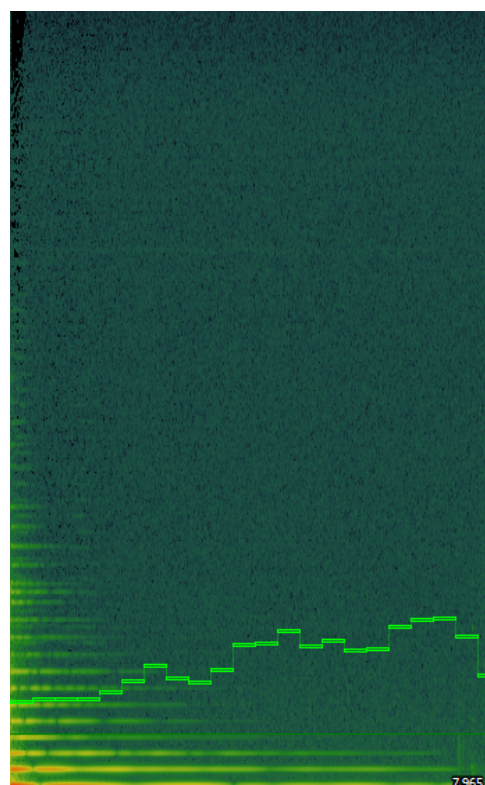




Després he passat cada arxiu al programa Sonic Visualizer, que em permet realitzar un espectrograma de cada arxiu. Després, gràcies a un plug-in que m'he descarregat de la web del programa, he pogut analitzar cada arxiu calculant el centroidespectral.



27

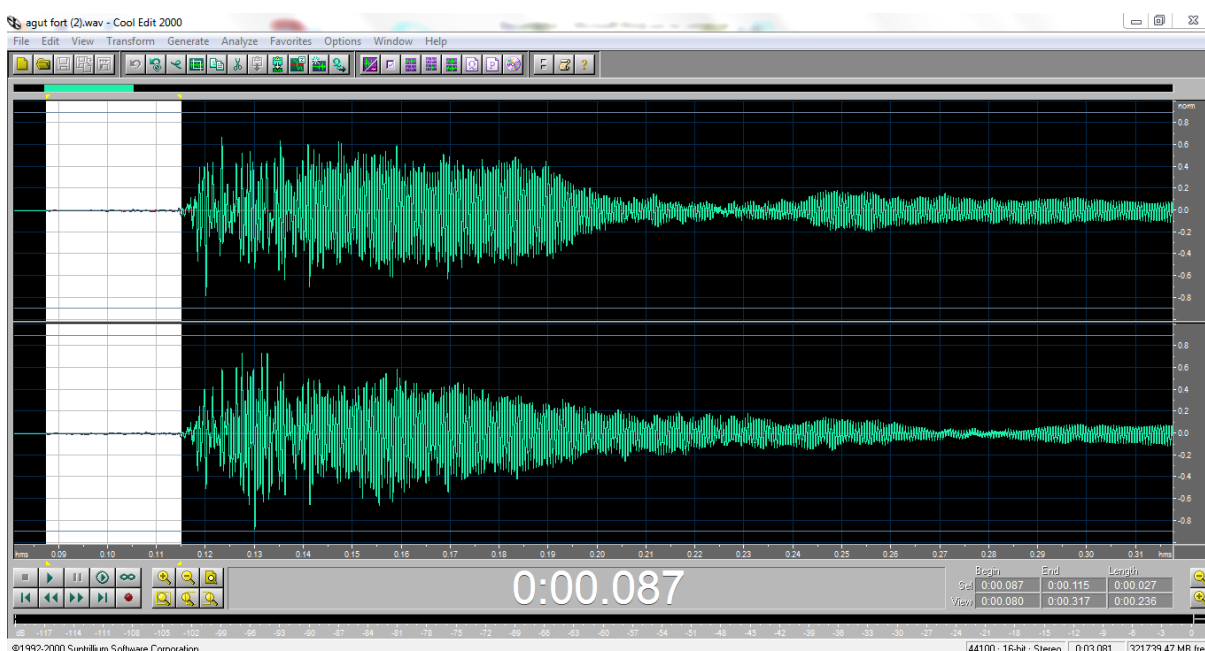


n arxiu

Arxiu amb el centroide espectral

Com es pot veure a la imatge de la dreta, el programa no calcula un centroide de tot l'arxiu, si no que en calcula un cada unes quantes dècimes de segon. Per tant, he fet una mitjana de tots els centroides per poder tenir un valor a cada arxiu.

D'altra banda, també he calculat el temps d'atac de cada arxiu. Per fer-ho, els he obert amb el programa Cool2000, que em permet seleccionar un fragment determinat de l'arxiu i me n'indica la duració.



Arxiu amb l'atac seleccionat. Una casella indica que la selecció dura 0'027 segons

Pianos gravats

Samick JS-042

Samick, fundada el 1958, va ser la primera marca de pianos de Corea del Sud.

Actualment tenen fàbriques a altres països asiàtics i als EUA, on produeixen una àmplia varietat d'instruments musicals. Són una empresa molt expansionista, i col·laboren amb altres empreses alemanyes com Bechstein. Els pianos Samick són pianos d'estudi, i estan dirigits a un públic que busca un piano bàsic per un preu econòmic.

Aquest piano en concret és un Samick JS-042, és vertical i és el més petit de la marca. Els mecanismes són fabricats a alemanya.

August Förster 170

August Förster és una empresa alemanya fundada el 1859. És una companyia molt petita (fabrica uns 250 pianos anualment), però també prestigiosa. Al tenir un sistema de producció tan artesanal, la relació qualitat-preu no és gaire bona, però això no treu que els pianos siguin d'alta qualitat.

Aquest piano en concret és un August Forster 170. És de cua, fa 1'7 metres de llargada i pesa 350 kg. És un piano força vell, ha perdut part de la sonoritat que tenia, però continua tenint un timbre molt correcte.

Boston GP-215 PE

Boston és la segona marca de Steinway & Sons. Es va crear perquè Steinway pogués fabricar pianos de categoria més baixa sense comprometre el nom de la casa. Es va encarregar la fabricació a la marca japonesa Kawai, que també és molt prestigiosa. El resultat són uns pianos de molt bona qualitat (en especial el gran cua) a un preu més assequible que els Steinway.

El Boston Grand Piano 215 Performance Edition, o Boston GP-215 PE, és el gran cua, el més llarg de la marca. Mesura 2'15 m i pesa 404 kg, i és el piano més gran d'aquest treball.

Casio cdp-120

Casio és una empresa d'electrònica fundada a Japó el 1946. No fabriquen instruments acústics, només pianos elèctrics i sintetitzadors.

El Casio Compact Digital Piano 120 és el més barat de la marca. És completament un piano d'estudi, tot i que a partir de cert nivell del pianista també es queda curt. No obstant, el preu no arriba als 400 € i és molt més còmode de tenir a casa.

Cherny

Els pianos Cherny són de l'antiga Unió Soviètica. Són per tant pianos antics, i que no destaquen per la seva qualitat, sinó pel seu preu econòmic. Són bons pianos per un públic poc exigent.

Yamaha GC1

Yamaha és l'empresa més internacional de pianos. El seu èxit es basa en una excel·lent relació qualitat preu. Fabriquen des de petits pianos d'estudi fins a grans cues de concert. Aquest piano és un Yamaha GC1, un piano de cua d'estudi dels més econòmics de la marca.

Euterpe

Els pianos Euterpe els fabricava la companyia alemanya Bechstein, i era una segona marca de qualitat mitjana. Ara ha estat substituïda per W. Hoffmann. Com que la marca ja no existeix, no es pot trobar informació del model.

Herman Mayr

La marca Herman Mayr pertanyia a l'Alemanya de l'Est de després de la Segona Guerra Mundial. Són pianos de bona qualitat, tot i que ara ja són tots força vells.

Kemble Cambridge 12

Kemble és una companyia britànica de principis del S XIX. El 1985 van començar a fabricar pianos Yamaha, i uns quants anys després Yamaha es va convertir en soci majoritari de Kemble, controlant-ne així tota la producció. Ara els pianos Kemble són molt semblants als Yamaha.

El Kemble Cambridge 12 és vertical, i és un model familiar de la marca. Mesura 112 cm, i pesa 195 kg. Ha estat votat "Millor de la seva categoria" per la seva qualitat i durabilitat.

Otto Bach

Otto Bach és una antiga empresa alemanya que va derivar tota la seva producció a la Xina. L'empresa ja no existeix, però encara queden força pianos al mercat.

Rönisch 132 K

Rönisch és una empresa alemanya fundada el 1845 per Carl Gottlieb Rönisch. Durant molt de temps va ser l'empresa de pianos més gran d'Europa. La Segona Guerra Mundial va afectar força l'empresa, i durant dècades la qualitat dels pianos va baixar. Ara és una empresa famosa tan pels seus pianos de gran qualitat com pels seus pianos de més de 100 i que segueixen en molt bon estat.

El Rönisch 132 K mesura 1'32 m i pesa 250 kg, i és el piano vertical més gran de la marca.

Steinway & Sons

Steinway & Sons és una llegenda dels fabricants de piano. Fundada a Manhattan el 1853 per Henry Engelhard Steinway, per molts és indiscutiblement la marca número 1. La gran qualitat dels materials els dona un so inigualable, i també fa que resisteixin molt bé el pas dels anys.

Actualment fabriquen 7 sèries de pianos de cua: S (1'55m), M (1'7m), O (1'8m), A (1'88), B (2'11) i la joia de la corona: el model D, que mesura 2'74 m.

He gravat dos Steinway Model A, un de nou i un d'antic.

Young Chang Y118

La marca coreana Young Chang va ser fundada el 1956 per tres germans en una època molt difícil del país, a causa de la guerra. Malgrat això, avui en dia és una de les grans multinacionals de pianos. A causa d'un acord amb Yamaha, van començar fabricant pianos per l'empresa japonesa durant uns anys, però el 1964 van començar a fabricar pianos pel seu compte. Ara en són uns dels principals competidors.

El Young Chang Y118 és vertical, mesura 1'18 m, i és el segon piano més petit de la marca.

Zimmermann

Zimmermann també és una antiga marca de pianos fundada el 1884 a Alemanya. Actualment forma part de la companyia Bechstein, com una segona marca de baixa qualitat.

El Zimmermann del treball es va construir a l'Alemanya de l'Est, poc després de la Segona Guerra Mundial, i ara ja no es fabrica.

Anàlisis

Samick

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (ms)
Agut: acord	2300	41
Agut: flux	2510	27
Agut: fort	2889	34
Agut: pedal	1868	8
Agut: picat	2541	14
Mig: acord	1365	11
Mig: flux	2921	25
Mig: fort	2509	17
Mig: pedal	1818	43
Mig: picat	1800	25
Greu: acord	783	33
Greu: flux	1533	19
Greu: fort	1035	45
Greu: pedal	1004	49
Greu: picat	822	18

August Förster

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (ms)
Agut: acord	1930	20
Agut: flux	1927	14
Agut: fort	1580	16
Agut: pedal	1095	12
Agut: picat	1752	10
Mig: acord	1340	15
Mig: flux	1182	43
Mig: fort	1532	30
Mig: pedal	1430	57
Mig: picat	851	26
Greu: acord	760	25
Greu: flux	994	15
Greu: fort	806	64
Greu: pedal	850	44
Greu: picat	693	29

Boston GP-215 PE

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (ms)
Agut: acord	2111	5
Agut: flux	2021	14
Agut: fort	2030	18
Agut: pedal	1968	2
Agut: picat	2121	8
Mig: acord	1230	6
Mig: flux	1135	31
Mig: fort	1211	8
Mig: pedal	1317	6
Mig: picat	1120	24
Greu: acord	767	16
Greu: flux	787	29
Greu: fort	930	15
Greu: pedal	898	16
Greu: picat	783	27

Casio cdp 120

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (ms)
Agut: acord	1728	14
Agut: flux	2651	5
Agut: fort	2325	4
Agut: pedal	3236	43
Agut: picat	2714	4
Mig: acord	1644	14
Mig: flux	2606	8
Mig: fort	1052	11
Mig: pedal	1296	41
Mig: picat	1713	4
Greu: acord	702	17
Greu: flux	2523	20
Greu: fort	1920	34
Greu: pedal	1331	20
Greu: picat	1884	7

Cherny

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (ms)
Agut: acord	1599	5
Agut: flux	1700	5
Agut: fort	2086	9
Agut: pedal	2208	9
Agut: picat	1821	53
Mig: acord	1048	8
Mig: flux	1393	24
Mig: fort	1531	30
Mig: pedal	1423	29
Mig: picat	1555	13
Greu: acord	648	30
Greu: flux	1019	21
Greu: fort	898	30
Greu: pedal	765	50
Greu: picat	1482	8

Elèctric Escola

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (ms)
Agut: acord	2850	18
Agut: flux	2505	24
Agut: fort	2085	41
Agut: pedal	2947	16
Agut: picat	2234	21
Mig: acord	2372	43
Mig: flux	2129	18
Mig: fort	1645	33
Mig: pedal	2762	32
Mig: picat	1895	35
Greu: acord	761	17
Greu: flux	1231	16
Greu: fort	824	43
Greu: pedal	1089	16
Greu: picat	924	25

Yamaha GC1

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (s)
Agut: acord	2314	18
Agut: flux	2584	3
Agut: fort	2281	27
Agut: pedal	2585	26
Agut: picat	2489	17
Mig: acord	1636	31
Mig: flux	1495	19
Mig: fort	1769	22
Mig: pedal	1485	24
Mig: picat	1586	22
Greu: acord	2001	9
Greu: flux	2174	12
Greu: fort	1850	23
Greu: pedal	1444	24
Greu: picat	1663	18

Euterpe

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (s)
Agut: acord	1717	49
Agut: flux	1884	35
Agut: fort	1879	14
Agut: pedal	1257	19
Agut: picat	1731	25
Mig: acord	1004	39
Mig: flux	1210	49
Mig: fort	1208	26
Mig: pedal	1026	28
Mig: picat	881	17
Greu: acord	594	58
Greu: flux	804	55
Greu: fort	869	36
Greu: pedal	799	62
Greu: picat	750	32

Herman Mayr

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (s)
Agut: acord	2213	22
Agut: flux	1439	46
Agut: fort	1786	64
Agut: pedal	1423	38
Agut: picat	1670	60
Mig: acord	1107	21
Mig: flux	1625	35
Mig: fort	1433	67
Mig: pedal	1156	49
Mig: picat	1286	27
Greu: acord	686	53
Greu: flux	1061	13
Greu: fort	884	54
Greu: pedal	822	47
Greu: picat	787	43

Kemble Cambridge 12

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (s)
Agut: acord	1761	49
Agut: flux	2338	52
Agut: fort	2191	33
Agut: pedal	1763	90
Agut: picat	1856	20
Mig: acord	1309	20
Mig: flux	1613	38
Mig: fort	1645	23
Mig: pedal	1569	54
Mig: picat	1307	48
Greu: acord	753	35
Greu: flux	853	64
Greu: fort	1103	17
Greu: pedal	827	56
Greu: picat	1066	33

Otto Bach

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (s)
Agut: acord	2233	17
Agut: flux	2322	4
Agut: fort	2432	40
Agut: pedal	2206	36
Agut: picat	2107	76
Mig: acord	1393	21
Mig: flux	1626	51
Mig: fort	1831	28
Mig: pedal	1129	53
Mig: picat	1085	38
Greu: acord	633	15
Greu: flux	807	56
Greu: fort	787	59
Greu: pedal	894	8
Greu: picat	745	30

Rönisch 132 K

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (s)
Agut: acord	1726	31
Agut: flux	1839	22
Agut: fort	1966	25
Agut: pedal	1838	12
Agut: picat	1748	4
Mig: acord	1291	66
Mig: flux	1210	16
Mig: fort	1677	24
Mig: pedal	1237	71
Mig: picat	1368	14
Greu: acord	657	38
Greu: flux	900	66
Greu: fort	758	25
Greu: pedal	887	35
Greu: picat	786	27

Steinway & Sons model A nou

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (s)
Agut: acord	2005	34
Agut: flux	1931	70
Agut: fort	2002	32
Agut: pedal	2076	50
Agut: picat	1827	81
Mig: acord	1233	30
Mig: flux	1262	38
Mig: fort	1434	26
Mig: pedal	1293	30
Mig: picat	1466	29
Greu: acord	728	19
Greu: flux	674	38
Greu: fort	771	30
Greu: pedal	838	26
Greu: picat	798	70

Steinway & Sons model A antic

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (s)
Agut: acord	2350	34
Agut: flux	1996	27
Agut: fort	2037	12
Agut: pedal	2051	77
Agut: picat	1833	27
Mig: acord	1434	9
Mig: flux	1294	65
Mig: fort	1396	25
Mig: pedal	1408	57
Mig: picat	1312	20
Greu: acord	772	37
Greu: flux	866	41
Greu: fort	893	39
Greu: pedal	822	34
Greu: picat	770	28

Young Chang Y118

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (s)
Agut: acord	2250	29
Agut: flux	2104	3
Agut: fort	2614	34
Agut: pedal	2491	36
Agut: picat	1788	16
Mig: acord	1560	27
Mig: flux	1522	25
Mig: fort	1938	49
Mig: pedal	1376	38
Mig: picat	1623	16
Greu: acord	848	21
Greu: flux	725	32
Greu: fort	1071	28
Greu: pedal	2227	5
Greu: picat	671	59

Zimmermann

Gravació	Centroide espectral (Hz)	Temps d'atac (s)
Agut: acord	2361	41
Agut: flux	1634	46
Agut: fort	2694	35
Agut: pedal	2763	45
Agut: picat	2748	11
Mig: acord	2918	3
Mig: flux	1364	31
Mig: fort	2366	5
Mig: pedal	2510	33
Mig: picat	2897	16
Greu: acord	716	38
Greu: flux	910	47
Greu: fort	1137	10
Greu: pedal	1351	8
Greu: picat	849	38

Interpretació dels resultats

Brillantor

Els centroides de cada piano abasten una secció de freqüència determinada. En els resultats es pot observar que aquesta secció respon a la qualitat del piano.

Als pianos de més qualitat, en els aguts, aquests rangs van dels 1900 Hz als 2100 en el cas del Boston, dels 1700 Hz als 1900 en el Rönisch, o dels 1800 Hz als 2000 en els Steinway. En les altures mitjanes, els rangs són de 1100-1300 pel Boston, 1300-1600 pel Rönisch i 1200-1400 pels Steinway. En els greus són 700-900 pel Boston, 600-900 pel Rönisch i 600-800 pels Steinway. Veiem que les seccions són properes en aquests pianos. Podem resumir les seccions en 1700-2100 Hz pels aguts, 1100-1600 pels mitjos i 600-900 pels greus.

Així, podem observar que els pianos que més s'allunyen d'aquestes xifres són els elèctrics, que són els dos excessivament brillants. Alguns dels centroides del Casio cdp-120 superen els 3200 Hz en els aguts, els 2600 en els mitjos i els 2500 en els greus. El piano elèctric de l'escola també arriba als 2900 en aguts i als 2700 en mitjos. Això passa pel fet que un piano elèctric no té cordes ni caixa de ressonància, per tant no poden produir un timbre i una sonoritat com la que donen els pianos acústics. A més, el plàstic i els altres materials dels altaveus es queden curts al costat de les fustes seleccionades i tractades dels pianos acústics.

Trobem resultats semblants en algun piano acústic, com el Samick i, sorprenentment, el Yamaha. En menys mesura, també són massa brillants el Zimmermann, el Young Chang. D'altra banda, també hi ha alguns pianos que són poc brillants, tot i que aquests no s'allunyen tant del rang dels pianos més bons com ho fan els que són massa brillants. Pianos així són l'Euterpe i el Herman Mayr, que també són de més qualitat que la majoria de pianos que són massa brillants.

Per últim, hi ha pianos que s'apropen força als rangs dels pianos de qualitat, com el Kemble i l'August Förster; i dos pianos que només són massa brillants en una altura de les tres. Són l'Otto Bach, que li passa als aguts, i el Cherny, que li passa als baixos.

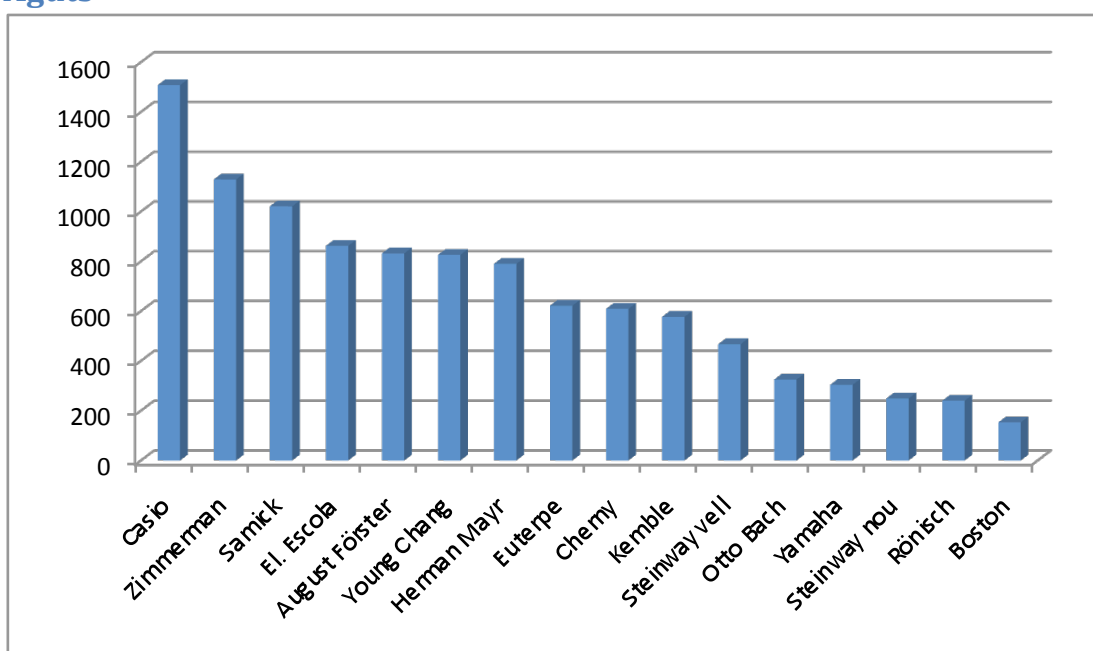
Els factors que influeixen en la brillantor de tots aquests pianos són molts. La qualitat dels materials de construcció, tot el procés de construcció i la cura que tenen els propis fabricants són els més importants, però també influeixen molt l'edat del piano, l'ús que ha tingut, el clima del lloc on es troba o l'acústica de l'habitació on es troba.

Diferència entre centroides

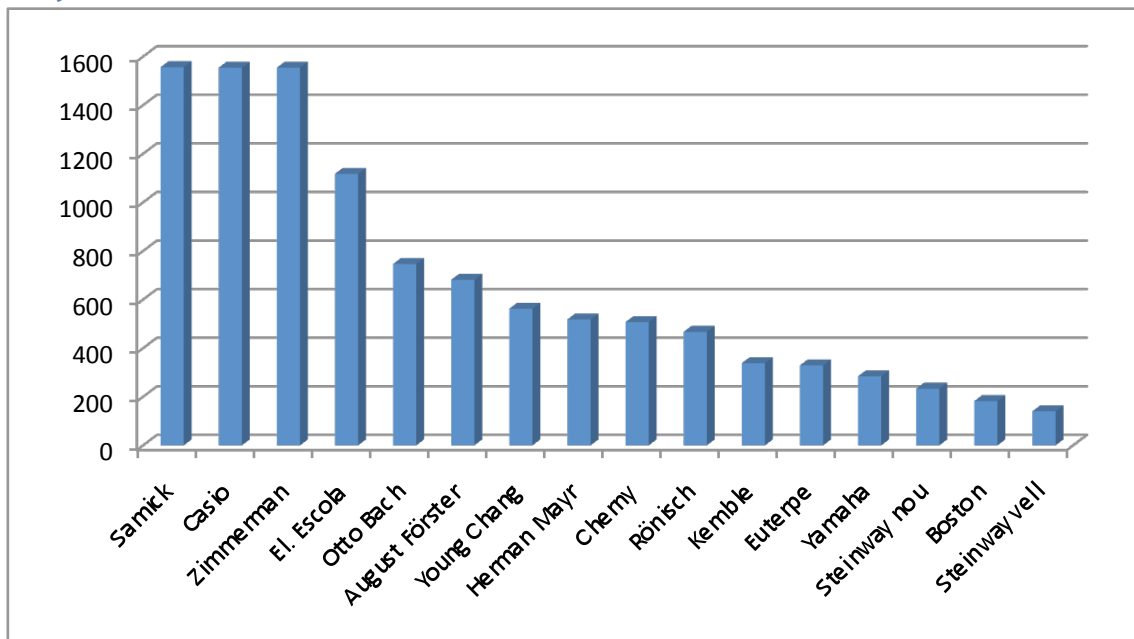
Quan observem els resultats dels centroides espectrals de tots els pianos, de seguida ens adonem d'una cosa: en els pianos de menys qualitat, el centroide varia molt en funció de com hem premut la tecla. En canvi, les variacions en els pianos de més qualitat són molt més petites. Per tant, he calculat la màxima diferència de la freqüència dels centroides espectrals de tots els pianos a cada una de les tres altures de les gravacions. Això ens dóna una idea força clara de quins pianos donen una millor resposta al pianista, que és bàsica per donar expressivitat a les peces.

En les gràfiques següents tenim la diferència de freqüència dels centroides en Hertz a l'eix vertical, i cada un dels pianos a l'eix horitzontal.

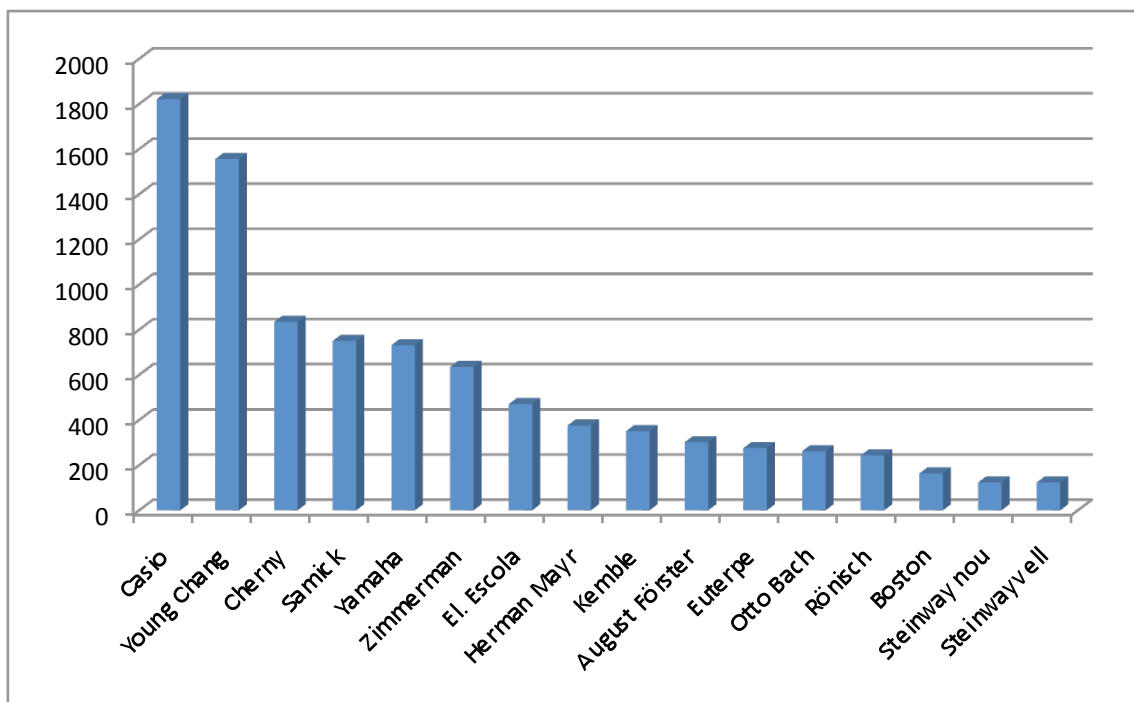
Aguts



Mitjos



Greus



Els resultats són força clars. Els pianos elèctrics, com el Casio cdp-120, o els pianos verticals de baixa qualitat i que a més a més són antics, com el Zimmerman o el Samick, presenten grans variacions de la seva brillantor segons com premem la tecla, i

això fa que la resposta del piano no sigui la desitjada. En el cas dels elèctrics, el problema és que al no tenir un mecanisme i una corda darrera la tecla mai podrà donar la mateixa resposta al pianista que la que dona un piano acústic. En el cas dels acústics, el problema és que a causa de la poca qualitat dels materials de construcció (sobretot del feltre dels martells), i del pas del temps, tot el mecanisme del piano s'ha anat deteriorant, de manera que ara no pot oferir una resposta adequada al pianista.

En canvi, els pianos de cua de gran qualitat, com els dos Steinway & Sons i el Boston, o també el Rönisch, que és vertical, mantenen el timbre adequat, tan sols amb petites variacions, per tal que la resposta que dona el piano a l' intèrpret permeti expressar el millor possible.

Conclusions

Aquest treball està totalment dirigit a l' instrument que toco, el piano. Gràcies a totes les anàlisis que he fet als pianos que he gravat, he pogut veure algunes de les diferències que hi ha a nivell d'ona entre diversos pianos. He pogut aprendre que trobem més agradables els pianos que tenen una brillantor concreta, que es troba als centroides espectrals d' entre 1700 i 2100 Hz per als aguts, entre 1100 i 1600 Hz per als mitjos i entre 600 i 900 Hz per als greus. També he après que els pianos que superen aquests valors solen ser menys agradables que els que no hi arriben. Això es pot deure al fet que són massa brillants, i per tant sonen estridents. D'altra banda, he après que els pianos que permeten expressar millor són els que tenen lleugeres variacions de la seva brillantor segons com premem la tecla, i que, en general, en els pianos de menys qualitat aquestes variacions són molt més grans.

Estic satisfet amb el compliment dels objectius que m'havia proposat. M'ha costat molt aconseguir gravar tots els pianos, tractar les gravacions i analitzar-les totes, però he pogut endinsar-me en l'àmbit del piano i també de la física. M'ho he passat molt bé provant tota mena de pianos, i durant les anàlisis m'agradava anar fent suposicions, descobrir coses noves a mesura que analitzava les gravacions.

Un dels principals problemes que m'han sortit en aquest treball ha estat en l'anàlisi del centroide espectral. Quan vaig executar l'acció per primer cop amb el programa, em va calcular un centroide diferent cada poques centèsimes de segon. Això volia dir que, en els arxius curts, havia de fer la mitjana de desenes de números per obtenir un sol valor a cada arxiu, i en les gravacions més grans, de centenars. Veient que era impossible fer tanta feina, vaig buscar una solució per tot arreu, fins que vaig veure que me la donava el propi programa: em permet escollir la "resolució" dels centroides, arribant a un centroide cada unes quantes dècimes de segon. Això ha fet que hagués de fer mitjanes de 20 números com a molt.

Crec que el següent pas en la investigació seria escollir nous paràmetres importants en la percepció del timbre i analitzar-los en tots els arxius per continuar buscant diferències entre els pianos.

Fonts

Bibliografia

CALVO RUIZ MANZANO, A. (2002). Acústica Físico-musical. Real Musical. ISBN 978-84-387-0381-6

H. FLETCHER, NEVILLE; D. ROSSING, THOMAS. (19/2/2010). The Physics of Musical Instruments. Springer. ISBN 1441931201

Webgrafia

<http://www.laguiadelpiano.com>

<http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/prp.html>

http://assets.cambridge.org/97805216/19899/excerpt/9780521619899_excerpt.pdf

<http://www.pianotechnics.cl/ElPiano.htm>

<http://www.unc.edu/~johannar/PHYS100/vibration/>

<http://www.piano.christophersmit.com/playingMech.html>

<http://www.royalpianos.com/pianos-nuevos/pianos-kemble/kemble>

<http://www.entre88teclas.es/index.php/el-piano-mecanismo>

http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod_ense/revista/pdf/Numero_29/LYDIA_SAG_LEGRAN_02.pdf

<http://www.galimusic.es/comentarios/segundamano.htm>

www.wikipedia.com

Audiovisuals

Así se hace: pianos de cola (2012) Discovery Max. 06x02.

<http://www.youtube.com/watch?v=X54uMPruzxw> Part 1

<http://www.youtube.com/watch?v=AeilUJDYHY> Part 2

Agraïments

En primer lloc, vull agrair al professor de sonologia de l'ESMUC Enric Guaus la seva gran col·laboració i disponibilitat. Ell, sense tenir-ne cap obligació, m'ha guiat durant tot el treball, m'ha proporcionat informació i sempre m'ha respost quan he tingut un dubte.

En segon lloc vull donar les gràcies a la professora Aina Aguilar, que ha estat la meva tutora del treball i que m'ha ajudat tant durant el curs com durant l'estiu.

També vull agrair a la Sra. Núria Olcina, la meva professora de piano, que em va portar a dues botigues de pianos perquè me'n deixessin gravar algun.

D'altra banda, agraeixo la seva ajuda a tots els que m'han deixat gravar pianos: l'Escola Garbí, la Sra. Esther, propietària d' "Esther Pianos", que em va deixar gravar 5 pianos; un altre cop la Sra. Núria Olcina, en Guillem Allepuz, l'Alberg Jaume 1r, la Casa Elizalde, i, sobretot, la botiga "Jorquera Pianos", que em van deixar gravar el Boston de gran cua i els dos Steinway & Sons.

Finalment, dono les gràcies a l'Arnaldo Montaña Lladó, el meu avi, ja que si toco el piano és gràcies a ell. A més a més, m'ha deixat durant força temps la seva gravadora, que ha estat fonamental pel treball.

Annex

Aquí he reunit les fotos de tots els pianos que he gravat.



August Förster 170



Samick JS-042



Casio cdp-120



Yamaha CG1



Kemble Cambridge 12

Herman Mayr



Otto Bach



Rönisch 132 K



Steinway & Sons model A



Zimmermann

