

L'AFINACIÓ DE LA GAITA GALLEGA: ESCALA NATURAL O ESCALA TEMPERADA?

Autors: Carlos Real, Jesús Vaamonde i Manuel Fernández

Traducció al català: Antoni Genovart

Aquest treball és una reflexió teòrica sobre la forma d'afinar la *gaita*. Més exactament, sobre quin tipus d'escala escollir per afinar el nostre instrument. Els músics actuals estem acostumats a utilitzar l'escala temperada per afinar els nostres instruments i els afinadors electrònics que molts de nosaltres utilitzem, ens ajuden a aconseguir aquest tipus d'afinació. No obstant, aquesta escala no és l'única possibilitat d'afinació existent.

L'escala de la *gaita* no és, de fet, completament temperada. La tercera nota de l'escala (el Mi per a la gent acostumada a escriure en Do, o el Fa per als del Do#) sempre és més greu del que marca l'afinador. Té que ser així per a que afini amb la trompa ja que si la col·loquem en el to que ens exigeix l'afinador, tot d'una notem que no afina amb la trompa ni amb el flabiol, la nostra colla, ni que dir-ne de quan toquem en estol.

Al llarg d'aquest article explicarem per què passa això, i també per què els sons afinen uns amb altres. Partint d'aquestes idees estudiarem com definir un tipus d'escala que aconseguixi la màxima afinació entre els instruments que la utilitzen. Compararem aquesta escala amb la temperada i veurem quines són les seves avantatges i inconvenients, i les possibilitats de utilitzar-la amb la *gaita*.

Per a seguir els raonaments que exposem aquí hi ha que partir de conceptes d'acústica musical i harmonia. Hem procurat que aquest escrit pugui ser entès per a la majoria de la gent interessada en la *gaita*, encara que no tinguin grans coneixements d'aquestes disciplines. Per això les explicacions parteixen del més bàsic. Moltes qüestions s'expliquen de forma simplificada perquè l'extensió d'un treball com aquest és limitada i perquè no és necessària una explicació àmplia ni molt rigorosa per entendre la línia de raonament que s'exposa en aquest treball. En la bibliografia que s'inclou al final del treball s'indiquen els llibres que hem utilitzat per preparar-ho i que es poden emprar per a aprofundir en el que aquí exposem.

CONCEPTES BÀSICS SOBRE EL SO I L'AFINACIÓ

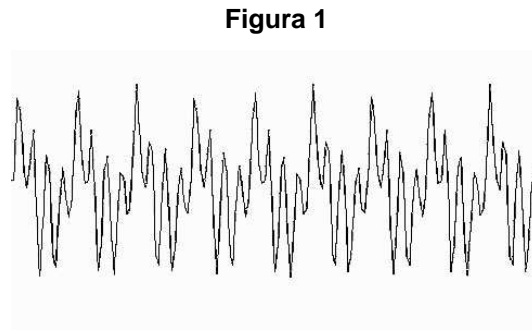
El so és una vibració de l'aire que ens envolta. L'aire, com tots els gasos, pot comprimir-se i expandir-se, és a dir, ocupar més o menys espai. Això passa quan apliquem una força sobre ell, quan el sotmetem a pressió o reduïm la pressió a la qual està sotmès. Un exemple és el que passa amb l'aire tancat dins una xeringa amb la punta tancada i l'èmbol a la meitat del seu recorregut.. Si pitgem l'èmbol provoquem que l'aire ocupi menys espai. Cada cop cal fer més força (més pressió) per a que l'èmbol segueixi baixant. Si estirem de ell aconseguim l'efecte contrari: l'aire ara ocupa un major espai, s'ha expandit i per tant està a baixa pressió.

Els objectes que produeixen sons tenen la capacitat de crear alteracions de pressió en l'aire que els envolta, generalment debut a que es mouen. Quan es polsa la corda d'una guitarra, començar a moure's d'una banda a l'altra, a vibrar. Aquest moviment té el mateix efecte que el de l'èmbol de la xeringa: l'aire es veu alternativament comprimit i expandit a causa del moviment de la corda. L'aire que està al voltant de la corda és lliure, no està tancat com el de dins la xeringa. En aquestes condicions, les alteracions de pressió es poden moure dins de l'espai veïnat, igual que les ones es mouen en la superfície d'un safareig quan es tira una pedra dins de ell. Aquestes alteracions de la pressió, aquestes vibracions en l'aire, és el que anomenem so. En un *punteiro* l'origen del so està en la vibració de les làmines de fusta que formen la *palleta*, que després són amplificades en l'interior del *punteiro* i, per acabar, surten a l'exterior. Aquestes

alteracions de la pressió arriben fins a la nostre oïda, la baten. Mitjançant d'un mecanisme molt complexa es transformen en impulsos nerviosos que el nostre cervell interpreta com a sons. Aquest és, molt resumit, el mecanisme de producció i recepció dels sons.

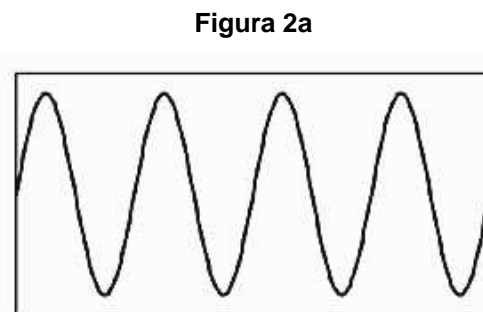
Actualment, gràcies a l'electrònica, resulta fàcil estudiar els sons i també "veure'ls". Els micròfons tenen com a missió transformar-los en variacions de voltatge elèctric (són com a oïdes artificials) que després es poden manipular de moltes maneres (per exemple, convertir-les de nou en sons però molt més potents, a través d'un amplificador i uns altaveus). És bastant senzill mesurar i dibuixar aquestes variacions de voltatge a la pantalla d'un ordinador que compti amb el programa adient.

El què es veu a la **Figura 1** és una d'aquestes pantalles en les que s'està recollint el so d'una *gaita* tocant un Re. Les pujades i baixades de la línia representen les pujades i baixades de la pressió que arriba fins al micròfon, la forma del so.



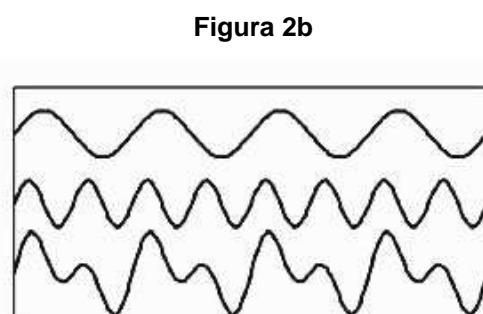
L'ona del so de la *gaita* pareix bastant complicada però si ens hi fixem amb detall ens darem compte de que està composta d'un mateix dibuix que es va repetint contínuament. Els pics i les valls es succeeixen uns als altres amb regularitat, mantenint les mateixes posicions entre sí. A aquest tipus d'ones se les anomena periòdiques, precisament perquè la seva forma es repeteix cada cert període de temps. Cada una d'aquestes repeticions s'anomena **cicle** (o vibració). Tots els instruments de vent produeixen ones d'aquest tipus.

En la **Figura 2a** es representa un altres tipus d'ona periòdica. És molt més senzilla que l'anterior, de fet, és l'ona més simple que es coneix. S'anomena **ona sinusoidal** i és la que generen molts d'aparells electrònics quan piten i alguns pianets electrònics de baixa qualitat o antics.



Els diapasons (aquests amb forma d'U de metall que es colpegen amb una maçeta) produeixen un so d'aquest tipus. Es pot aconseguir que una inxa (*canyeta*) produeixi un so així si s'hi bufa només el juts per a què comenci a sonar. Els físics han descobert que els sons periòdics complexos com el de la *gaita*, estan compostos de moltes ones simples que sonen al mateix temps i també han descobert la manera de separar aquests components uns dels altres.

En la part de baix de la **Figura 2b** es mostra com la suma de dues ones sinusoidals diferents dóna com a resultat una ona amb una forma més complicada. En el cas dels sons musicals es sumen un nombre gran d'ones i per això solen tenir formes d'ona complexos com la de la **Figura 1**.



Aquesta propietat dels sons complexos s'utilitza en els sintetitzadors per a produir electrònicament sons de diferents instruments. Aquests aparells tenen un nombre més o menys gran de circuits capaços de generar ones sinusoidals de diferents tipus. Si es seleccionen les ones sinusoidals adequades i es fan sonar totes de cop, s'aconsegueixen les imitacions, a vegades molt perfectes, dels instruments acústics.

COMPONENTS DEL SO: FREQUÈNCIA, TIMBRE I INTENSITAT

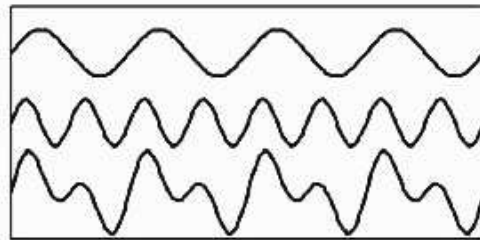
Tan si el so és simple o complex, la característica fonamental d'una ona periòdica és la seva **frequència**. La freqüència és la quantitat de vegades que es repeteix la forma de l'ona en una unitat de temps, es a dir, la quantitat de cicles per segon. La unitat de mesura de la freqüència és l'Hertz (Hz) que és un cicle per segon. El patró d'afinació que solem usar és un so de 440 Hz (el La de l'escala mitjana del piano), és a dir, 440 vibracions per segon. El so de la **Figura 1** té una freqüència de 580 Hz aproximadament, i en la pantalla de l'ordinador només es veuen nou de les vibracions, el que vol dir que el so que es veu en pantalla ha durat $9/580=0,016$ segons, 16 centèsimes de segon.

La freqüència d'un so ens indica la seva altura, tan greu o agut com és. Quan més alta és la seva freqüència, més agut és el so. L'oïda humana pot captar sons que estan entre els 20 i 3ls 20.000 Hz més o menys.

Una altra característica important d'un so és el seu **timbre**. En realitat, el que els sons tinguin timbres diferents es deu que les formes de les seves ones són distintes. A la vegada, la forma de l'ona és diferent perquè els sons simples que les componen són també diferents. Així, dos sons poden tenir perfectament la mateixa quantitat de vibracions per segon (la mateixa freqüència, la mateixa nota), però la forma de cada ona esser completament distinta (timbres diferents). L'oïda percep les diferències entre timbres perquè una de les coses que fa durant el procés de l'audició és descompondre els sons complexos en els sons simples que els construeixen.

Una darrera característica d'un so és la seva **intensitat**, que és simplement la força amb la que sona. Quan dibuixem una ona la intensitat la representa la distància màxima entre els pics i les valls. A la **Figura 2.b**, per exemple, l'ona de la part inferior és més intensa que les altres dues, puja i baixa més. Això succeeix perquè la suma de les altres i, per tant, el so conjunt serà més fort que qualsevol dels individuals.

Figura 2b



Els sons dels instruments musicals en general, i de la *gaita* en particular, tenen una característica especial: les ones simples que formen el seu so tenen freqüències que són múltiples de la freqüència més baixa de totes. En l'exemple anterior, el Re de la *gaita* té la freqüència més baixa a 580 Hz. A aquesta freqüència se l'anomena **fonamental**, amés estan presents sons de 1160 Hz (580 x2), 1740 Hz (580 x3), etc., tots ells amb una forma d'ona sinusoidal. Es diu que aquests sons són **harmònics** de la **fonamental**. També se'ls anomena **parcials**. No tots aquests harmònics sonen amb la mateixa intensitat. Generalment quan més aguts són els harmònics, menys força tenen. La distribució relativa de la potència de cada harmònic també contribueix a formar el timbre de cada instrument. Un instrument determinat no té perquè produir tots els harmònics possibles. El so del clarinet, per exemple, només conté els harmònics senars, és a dir aquells que tenen la freqüència és igual a la fonamental multiplicada per un número senar (3, 5, 7...). Això es deu a que el trepant intern té forma cilíndrica. Els instruments que tenen forma cònica, com el *punteiro* de la *gaita* i els oboès, produeixen tota la sèrie completa d'harmònics, pars i senars.

A partir d'ara parlarem dels sons classificant-los per la seva freqüència. Aquesta serà la característica que més ens interressi de cada so.

SONS AFINATS I DESAFINATS

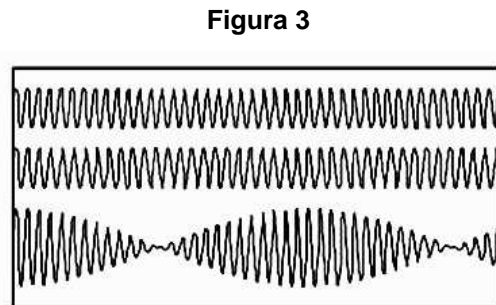
La major part de les vegades que escoltem música s'estan produint més d'un so simultàniament. A aquests conjunts de sons simultanis se'ls anomena **acords**, així que les discussions que segueixen es referiran a acords.

A l'escoltar dos sons de cop poden succeir dues coses: que el resultat sigui agradable o que sigui desesperant (en molts graus). Si és agradable, diem que ambdós són sons que afinen bé; i si no, que desafinen. Els *gaiters*, amb els nostres instruments polifònics, dels quals sons canvien contínuament de freqüència a mesura que s'humidifiquen, estam permanentment preocupats per l'afinació. També hi ha que atendre a que la nostra *gaita* afini amb la del veïnat. Ara bé, a què es deu que dos sons afinin o no? La resposta és molt complexa i aquí només explicarem les raons fonamentals.

Quan dos instruments estan donant una mateixa nota és fàcil entendre perquè sonen ben afinats: la freqüència de les seves fonamentals és la mateixa i això mateix passa amb cada harmònic. Tots els sons presents encaixen entre sí, col·laboren per a produir un so més ple. Les ones de pressió de tots aquests harmònics puguen i baixen a la vegada, no hi ha desajustaments entre elles. En aquest cas diem que els instruments estan sonant al uníson.

Si ambdós sons tenen freqüències molt consemblants, però no iguals, les ondulacions no ocorren a la mateixa velocitat, una va un poc més lenta que l'altra.

A la **Figura 3** estan representades dues ones d'aquest tipus i l'ona suma d'ambdues. Si al principi la pressió pujava i baixava al mateix temps, de seguida es produeix descoordinació entre les dues ones i s'arriba al cas en el que mentre una ona puja, l'altra baixa, és a dir, mentre una fa augmentar la pressió, l'altra la fa disminuir.



Ambdues ones s'anul·len i la intensitat del so conjunt es fa mínima. Poc a poc tornen a coincidir i la intensitat del so va augmentant. El procés es repeteix una vegada i una altra, periòdicament. És com si hi hagués una sola ona, de freqüència molt menor que les dues reals, que estigués pujant i baixant el volum.

Quan es produeix aquest fenomen es diu que entre ambdós sons produeixen una **freqüència de batut**. Quan comprovem que dos *punterios* estan correctament afinats (o es *ronco*, o trompa, amb el *punterio*), el que estam fent és detectar si els dos sons produeixen freqüències de batut, en el debut cas no estan ben afinats i no hi ha que corregir l'afinació d'un d'ells per a aconseguir que les freqüències siguin idèntiques.

No obstant, hi ha altres combinacions de sons que també sono bé a pesar de que no tenen les mateixes freqüències. Això es deu a que existeix la possibilitat de que segueixin col·laborant entre sí, reforçant-se quan sonen junts, encara que amb menys perfecció que el uníson. Per suposat, no val qualsevol parell de sons. Només aquells de les quals freqüències guarden entre sí unes relacions molt definides i senzilles ho poden fer. Algunes relacions útils són, per exemple: 2:1, 3:2, 5:4. Anem a veure per què.

Per a explicar millor el que ve a continuació hem preparat la **Taula 1** i la **Figura 4**:

Taula 1: Relacions entre els harmònics de dues notes que formen entre sí diversos intervals en entonació natural (J=justa; M=Major; m=menor). S'ha pres com a base una nota amb una freqüència fonamental de 100 Hz. A la primera columna s'indiquen els noms dels intervals. A la segona, la relació de freqüències entre les notes necessàries per a formar el interval d'entonació natural. A la tercera, la freqüència fonamental de la nota més aguda. La nota greu amb la què es forma acord en tots els casos és la de la primera fila. S'indiquen les freqüències dels harmònics de cada nota fins a una freqüència màxima de 1000 Hz. Aquells harmònics que coincideixen entre les dues notes s'escriuen en negreta per a diferenciar-los dels demés.

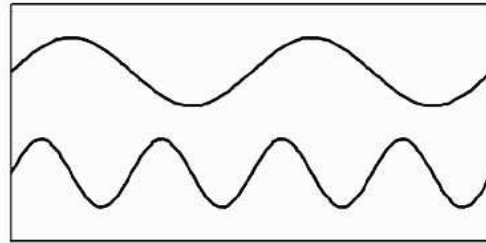
Interval	Relació	Harmònics									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Uníson	1:1	100.0	200.0	300.0	400.0	500.0	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0
Octava J	2:1	200.0	400.0	600.0	800.0	1000.0					
Quinta J	3:2	150.0	300.0	450.0	600.0	750.0	900.0				
Quarta J	4:3	133.3	266.6	400.0	533.3	666.6	800.0	933.3			
Sexta M	5:3	166.6	333.2	500.0	666.6	833.3	1000.0				
Tercera M	5:4	125.0	250.0	375.0	500.0	625.0	750.0	875.0	900.0		
Tercera m	6:5	120.0	240.0	360.0	480.0	600.0	720.0	840.0	960.0		
Segona M	9:8	112.5	225.0	337.5	450.0	562.5	675.0	787.5	900.0		
Sexta m	8:5	166.0	332.0	498.0	664.0	830.0	996.0				

La primera fila de la taula correspon als harmònics d'un so de 100 Hz que ens servirà com la nota més greu de les dues que formen els intervals que anirem a estudiar. Hem escollit aquest valor per a què resultin uns números senzills encara què podríem haver escollit qualsevol altre. En les deu columnes següents s'indica la freqüència dels harmònics d'aquella freqüència fonamental. Està inclòs fins al dècim harmònic, amb 1000 Hz de freqüència. A les demès files apareix en la primera columna la freqüència fonamental del segon so i en la resta, els seus harmònics de freqüència iguals o menors de 1000 Hz. Aquells harmònics que coincideixen amb algun de la nota base s'han representat en negreta per a destacar-los dels demés. A la primera fila de dades de la taula es representa el interval d'uníson, en el que les freqüències de ambdues notes són la mateixa, per aquest motiu en la segona columna la relació de freqüències és 1:1. Lògicament, totes les freqüències dels parcials coincideixen i per això l'uníson és la consonància musical perfecta.

El segon dels intervals d'interès és el d'octava justa. Quan la freqüència d'un so és exactament el doble que la de un altre diem que són la mateixa nota però separada per una octava. Els harmònics d'un so formen successives octaves amb la fonamental. El nostre so base de 100 Hz i un altre de 200 Hz estan separats per una octava completa. La relació entre les freqüències dels dos sons és de 2:1; una és el doble que l'anterior (en aquesta manera d'indicar la relació entre la freqüència de dues notes, el primer número representarà sempre al més agut dels dos). Aquest interval també sona molt bé perquè resulta que la fonamental del so agut i el primer harmònic del so greu tenen la mateixa freqüència (200 Hz). Amés la resta dels harmònics del so agut coincideixen en freqüència amb algun del greu, tal com s'indica a la Taula 1. La conjunció dels sons no és tan perfecta com en l'uníson perquè ara no coincideixen tots els harmònics dels dos sons, només coincideixen els harmònics pars del so base (200, 300 Hz).

De totes maneres la sensació d'afinació és molt bona, perquè hi ha moltes coincidències entre els harmònics. La relació de freqüència de 2:1 vol dir que mentre la freqüència més baixa oscil·la una vegada, l'altra ona n'oscil·la dues. Això pot veure's a la **Figura 4.a**

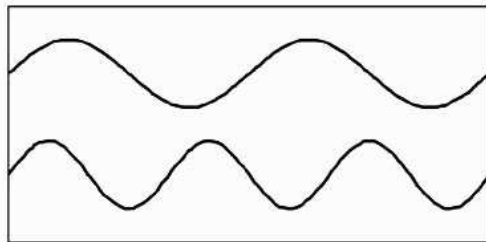
Figura 4.a



Un altre interval que produeix una coincidència de freqüències en els harmònics és el que formen les notes de les quals la relació de freqüències és 3:2 (en el nostre exemple 150 i 100 Hz). Aquest interval el coneixem per **quinta justa** (és el que formen el Do i el Sol en un *punteiro* de Do, per exemple). En la **Tabla 1** es pot veure que segueix havent coincidències en les freqüències de varis dels harmònics, concretament coincideixen els harmònics pars de la nota aguda (300, 600 i 900 Hz). És important que coincideixi el segon harmònic, ja que a mesura que els harmònics es fan més alts, la seva força disminueix ràpidament. En total existeixen tres coincidències dins del interval de freqüències elegit.

Totes elles contribueixen a donar una sensació forta de bona afinació. La relació 3:2 també ens indica que mentre la nota més greu realitza dos cicles, la més aguda en realitza tres.

Figura 4.b



Seguidament apareixen dos interval per als que es produeixen la coincidència d'un de cada tres harmònics de la nota aguda. Són el de quarta justa i el de sexta major. Com què hi ha menys harmònics coincidents que en el cas anterior, la sensació d'afinació és un poc més forta que abans. Amés, el primer harmònic que coincideix és el tercer (400 Hz el de la quarta justa i 500 Hz el de la sexta major) mentre que en el cas de la quinta justa era el segon.

Una cosa consemblant passa amb el interval de tercera major. Hi ha dues coincidències, però ara és l'harmònic de 500 Hz el primer comú al dos sons (5nt harmònic de la nota greu i 4rt de l'aguda), per lo tant la sensació que l'oïda rep es va fent cada cop més dèbil.

La tercera menor i la segona major sols tenen un harmònic comú amb la nota base: el quint (600 Hz) i l'octau (900 Hz), respectivament. La sexta menor, finalment, no té cap harmònic comú amb la nota base per davall dels 1000 Hz.

Hi ha que senyalar que tots aquests intervals són reconeixibles com intervals afinats per qualsevol persona amb una mínima educació o aptitud musical independentment de la cultura musical en la que hagi viscut. Tots els sistemes musicals del món reconeixen el interval d'octava i forma part de les seves escales. Aquesta afinació que es planteja aquí té una base física, no cultura, i per això és reconeguda per qualsevol músic com a correcta.

ESCALES, LA SEVA FORMACIÓ I PROPIETATS

Què és una escala? Acabem de comentar que un interval d'octava es reconeix per tots els músics del món, però només amb octaves no es pot fer massa música. Cada cultura musical escull un cert nombre de freqüències entremetges entre les que marquen el interval d'octava per a utilitzar-les en llurs melodies. A cada una d'elles se l'anomena **nota**, i al conjunt, **escala**. El nostre sistema musical es basa en utilitzar dotze notes (set principals i cinc més d'intercalades) per a definir el que es denomina l'**escala cromàtica**. A l'espai que queda entre dues d'aquestes notes el denominem **semitò**. No obstant, l'escala més utilitzada en la música de *gaita* és l'**escala diatònica**, on totes les notes, excepte dues, estan separades de les contigües per dos semitons (es a dir, un **to**). Sistemes com la música àrab, utilitzen intervals més petits (de quart de to), en altres, pel contrari, no s'utilitzen distàncies menors que el to i resulten escales de cinc notes, anomenades escales pentatòniques (pròpies de la música andina, xinesa o d'algunes melodies escampades pels folklores europeus, per exemple).

Ara bé, com s'escullen les freqüències de les notes que formen l'escala? Després de tot el que hem dit en l'apartat anterior, sembla lògic pensar que seria molt útil construir una escala cromàtica en la que totes les notes formessin entre sí interval com els descrits abans (en el que resta de treball ens referirem a ella com a **escala en entonació natural** per a distingir-la de altres escales de les que també en parlarem). Aquesta escala tindria diverses propietats interessants.

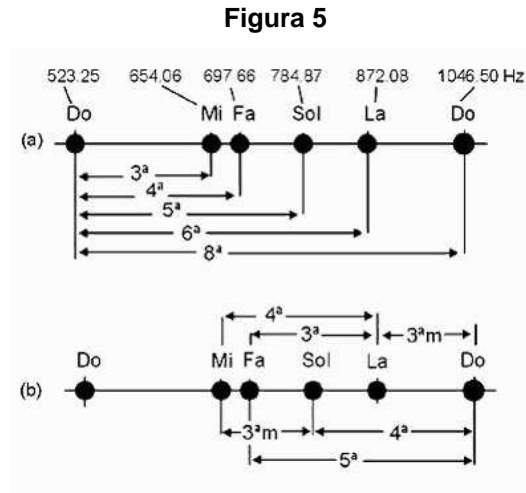
En primer lloc, els instruments que utilitzen aquesta escala, podrien formar acords perfectament afinats. En el cas de la *gaita*, això seria interessant encara en el cas de tocar sola perquè els acords se formarien entre el *punteiro* i les trompes.

En segon lloc, en la majoria dels casos, el so reboteix en els objectes que ens envolten i el sentim varies vegades, durant un cert espai de temps (els físics anomenen aquest fenomen **reverberació** o, si el rebot es produeix sobre objectes llunyans, **eco**). Per aquest motiu estam escoltant a la vegada la nota que està emetent el músic en un instant determinat i una o varies notes emeses immediatament abans que aquesta. També interessa que l'efecte sigui el més afinat possible. Quan assagem en una sala amb molt d'eco (en el nostre cas sol ser habitual), les *gaites* sonen pitjor precisament perquè els sons estan "vius" més estona i estem escoltant moltes notes simultàniament. Algunes d'elles no formen entre sí intervals consonants i, en conjunt, el so és més aspre, més desafinat del que resulta ser en realitat.

En el que segueix, anirem a veure com es construeix una escala cromàtica utilitzant intervals naturals. Naturalment, no ho farem *en abstracte, si no pensant en la música que forma el repertori dels gaiters actualment*. Això ens arreglarà una sèrie de problemes i, al mateix temps, ens servirà per a comprendre per què s'ha creat l'escala en entonació temperada i quins són llurs diferències amb l'escala en l'entonació natural.

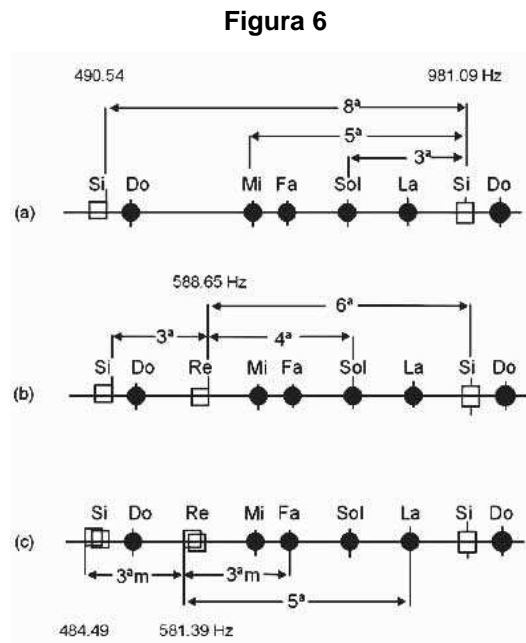
Per a construir una escala amb aquests intervals establim una nota base damunt la que calcular la resta de freqüències. Utilitzarem la freqüència per la que s'afinen els *punteiros* en Do (523,25 Hz). Totes les notes que anomenarem són notes reals. Les freqüències es calculen multiplicant la freqüència de referència pel valor que figura en la columna "Relació" de la Taula 1. Per exemple, la freqüència del La es calcula com a $(523,25 \times 5) / 4$.

El primer so serà el que està a distància d'octava i que marca el límit superior d'aquesta escala. A continuació col·locarem els sons que estiguin a distància de quina justa, quarta justa, sexta major i tercera major, que són els intervals que sonen millor. Al mateix temps, els interval que es formen entre aquestes noves notes també corresponen a l'entonació natural, igual que els que es formen amb la tònica. (Veure la Figura 5)



Tenim cinc de les set notes necessàries per a formar l'escala diatònica. En la Figura 6 es mostren les passes que hi ha que donar per a fitxar les dues que falten.

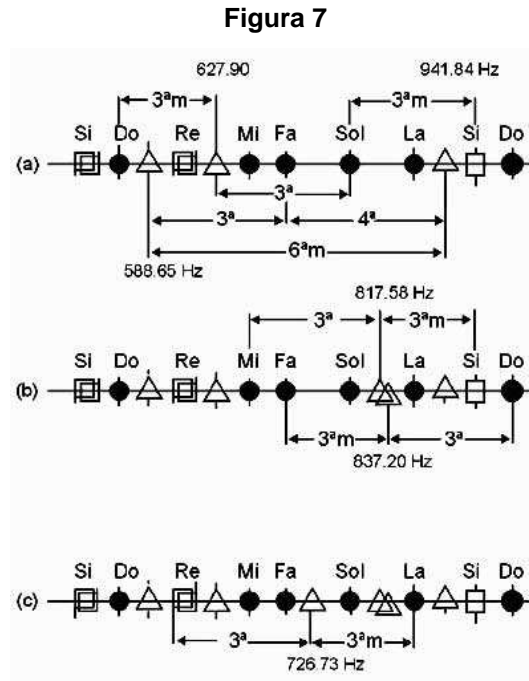
En la gràfica a s'esquematitza la fixació del Si. Es pot col·locar a distància de quinta justa del Mi i de tercera major del Sol, amb una freqüència de 981,09 Hz. Ambdós són intervals interessants a l'hora de toca, especialment el de tercera ja què en moltes melodies és la distància que separa les dues veus. Al mateix temps queda fixada la freqüència del Si greu que està una octava per davall, que correspon a la nota més greu del *punteiro* en Do.



La col·locació del Re és conflictiva. Hi ha dues maneres diferents d'escollir la seva freqüència. En primer lloc es pot prendre com a referència el Sol i col·locar el Re a distància de quarta justa (freqüència de 588,65 Hz), com es veu en la Figura 6 b. Aquesta nota manté relacions de tercera i sexta majors amb els dos Si que hem definit abans, però no produeix un interval de tercera menor natural amb Fa, que seria interessant per a toca per terceres. Una segona alternativa seria col·locar el Re a distància de tercera menor del Fa (freqüència de 581,39 Hz) amb el que obtindríem més un interval de quina major amb La (gràfica b). El problema ara és que el Re no afina amb els dos Si. En altres paraules, no és possible tenir un interval natural simultàniament entre Re i Fa, i entre Si i Re. Si un afina, desafina l'altre. Tocant per terceres ambdós intervals són importants, una possible solució seria baixar la freqüència del Si greu fins fer-li formar una tercera major amb el Re de freqüència 581,39 Hz, tal i com es mostra en la figura inferior (c). El preu que hauria de pagar seria que no tindríem una octava entre els dos Si de l'escala. A l'hora de tocar no seria un gran problema perquè un acord similar és atípic. Hauria que experimentar amb la possibilitat de baixar el Si agut utilitzant una digitació adient en el moment que es necessiti en lloc construir un *punteiro* afinat d'aquesta

mena. En el Si greu no tenim aquesta possibilitat. En conclusió, les freqüències més interessants per al Si i el Re serien 484,49 i 581,39 Hz respectivament.

Seguint la mateixa tècnica de cercar intervals interessants podem intentar calcular la freqüència de les notes que ens falten per aconseguir una escala cromàtica completa. En la Figura 7 s'esquematitza el procés. En la gràfica a es mostra la col·locació del *Re_b*, *Mi_b* i *Sib*. Cap d'ells presenta problema perquè es poden col·locar a distància de tercera d'algunes de les notes bàsiques definides al principi. Amés apareixen algunes relacions interessants entre elles, com es veu en el dibuix. El *Re_b* és una nota que no s'utilitza més que en comptades ocasions, però les altres dues són d'ús obligat en melodies i passatges en modo menor.



En la gràfica *b* s'esquematitza la definició del *La_b*. També hauria dues possibilitats, però la nota més greu (freqüència de 817,58 Hz) es pot descartar, perquè els intervals naturals que s'obtenen mai apareixen a les melodies. Els duets per tercers corresponen als intervals que forma l'altre opció (837,20 Hz), la preferida.

Per acabar, a la gràfica *c* es mostra la col·locació del *Sol_b*. Aquesta no s'utilitza rares vegades. Es pot col·locar a distància de tercera menor del La, lo que la col·locaria també a distància de tercera major del Re (el Re de 581,39 Hz).

En les tres primeres columnes de la Taula 2 es resumeixen les característiques de totes les notes que acabem de definir: la relació de freqüències amb la nota base, la seva freqüència i la distància en *cents*¹ fins a la nota base. En la part inferior d'aquesta taula també es llisten les característiques de les notes alternatives que hem considerat menys interessants.

Taula 2. Escales en entonació natural i en entonació temperada. S'indiquen les freqüències de cada nota i el interval en *cents* entre ella i la nota base (el Do). Les notes més agudes estan al inici de la taula. Per a cada interval en entonació natural s'inclou la relació de freqüències davant a la nota base. En l'última columna s'indica la diferència en *cents* entre la nota en entonació natural i la temperada (el signe + indica una nota més aguda que la temperada corresponent i el -, més greu). Aquesta columna es útil per a afinar un *punteiro* en entonació natural utilitzant un afinador calibrat per a escales temperades. La diferència en *cents* es manté sigui quina sigui la nota base que utilitzem, és a dir, val per a *punteiros* de qualsevol tonalitat. La taula inclou també les notes inferiors que daria un *punteiro* o un requint en Sol. El darrer grup de notes són les notes alternatives comentades en el text però considerades poc avantatjoses (només les del *punteiro* de Do).

¹ Veure: "Apèndix: Hetzs i Cents"

Nota	Relació de freqüències	<u>Entonació natural</u>		<u>Entonació temperada</u>		Diferència en cents
		Freqüència	Cents	Freqüència	Cents	
Do	2.000	1046.50	1200	1046.50	1200	0
Si	1.875	981.09	1088	987.76	1100	-12
Sib	1.800	941.84	1018	932.32	1000	18
La	1.667	872.08	884	880.00	900	-16
Lab	1.600	837.20	814	830.61	800	14
Sol	1.500	784.87	702	783.99	700	2
Solb	1.389	726.73	569	739.99	600	-31
Fa	1.333	697.66	498	698.45	500	-2
Mi	1.250	654.06	386	659.25	400	-14
Mib	1.200	627.90	316	622.25	300	16
Re	1.111	581.39	182	587.32	200	-18
Reb	1.042	545.05	71	554.36	100	-29
Do	1.000	523.25	0	523.25	0	0
Si	0.925	484.17	-134	493.88	-100	-34

Notes corresponents a un *punteiro* en Sol

Sib	1.111	470.92	-182	466.16	-200	18
La	1.200	436.04	-316	440.00	-300	-16
Lab	1.250	418.60	-386	415.30	-400	14
Sol	1.333	392.44	-498	391.99	-500	2
Lab	1.446	361.87	-638	369.99	-600	-38

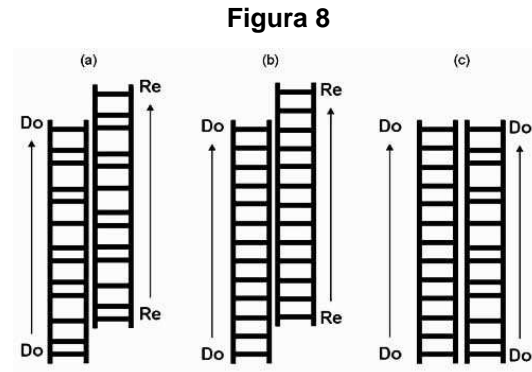
Notes alternatives menys avantatjoses (només del *punteiro* agut)

Lab	1.562	817.57	773	783.99	800	-27
Re	1.125	588.65	204	587.32	200	4
Si	0.937	490.54	-112	493.88	-100	-12

Aquest sistema d'afinació aniria bé per a tocar entre dues *gaites* afinades en el mateix to, com és habitual en els grups de *gaiters* més comuns. El sistema deixa de funcionar tan bé quan pretenem fer tocar junts instruments de varis tonalitats, com una *gaita* en Do amb una altra en Sol, o una *gaita* amb un requint. S'hauria d'escollir les notes més greus que aporten aquests instruments per a que formessin interval d'octava amb les del *punteiro*. Apareixen nous problemes d'afinació perquè el Sol (la tònica del *punteiro* més greu) no forma intervals naturals amb el Si i el Re (del *punteiro* de Do) elegits pels criteris exposats més amunt. En aquest cas es fan més avantatjoses les versions agudes d'aquelles dues notes, però, inevitablement, hi ha que renunciar a la tercera Si-Re.

L'ESCALA TEMPERADA I LES SEVES DIFERÈNCIES AMB L'ENTONACIÓ NATURAL

En aquest apartat discutirem les diferències entre l'escala en entonació natural i l'escala que més s'utilitza actualment, l'escala en entonació temperada. També discutirem les avantatges i problemes que tenen cada una d'elles. Per ajudar a veure els arguments que anem a exposar hem preparat la Figura 8. Hem representat les escales en forma d'escales amb els escalons separats entre sí igual que les notes en l'escala (ens referim a una distància en *cents*).



En la gràfica *a* estan representades dues escales cromàtiques en entonació natural. Hi ha un escaló en l'escala per cada semitò de l'escala. Com s'aprecia immediatament, les distàncies entre escalons són irregulars. L'escala més a l'esquerra representa a una escala construïda sobre la nota Do, com en l'apartat anterior. L'escala que està al costat ha estat construïda sobre la nota Re, per això el seu primer escaló coincideix a la mateixa altura amb el tercer de la de Do. Comparant-les se'ns apareix clarament un problema d'aquest tipus d'escala: els escalons equivalents en ambdues no coincideixen a la mateixa altura en varis casos. Per exemple, el tercer escaló de l'escala de la dreta hauria de coincidir amb el quint escaló de l'esquerra i, no obstant, està col·locat entre el quart i el quint. Traduït a notes, això vol dir que el Mi de l'escala de Re no seria el mateix que el de l'escala de Do. Hi ha més casos que es veuen al comparar ambdues escales. Aquest comportament seria una dificultat enorme per a construir un piano, per exemple, que fos capaç de tocar en totes les tonalitats, és a dir, en escales construïdes sobre diferents notes. Necessitaríem més d'una tecla per a cada nota per utilitzar la que més convingués segons la tonalitat que estiguéssim utilitzant. Seria molt complicat construir un instrument semblant.

Aquest problema és el que ha dut a la invenció de l'escala en entonació temperada. La solució seria tenir una escala amb totes les notes separades per la mateixa distància en *cents*. En això consisteix l'escala temperada. Les escales de la Figura 8.b simbolitzen dues escales cromàtiques temperades, una que comença en Do i l'altre en Re. Els escalons de l'escala de Do coincideix a la mateixa altura que els de l'escala de Re. Les notes tenen idèntiques freqüències en les dues escales. Passaria el mateix fos qual fos la nota en la que comencés cada una, les notes coincidirien sempre. Com el piano utilitza una escala temperada li basta amb tenir dotze notes per octava per a poder interpretar melodies en qualsevol tonalitat.

En la Figura 8.c es compara una escala *temperada* amb una escala *natural*, per a què es vegin ben clares les diferències. Amés, la Taula 2 recull les dades de freqüència de ambdós tipus de escala. També es recullen els intervals en *cents* entre el Do i la resta de les notes. Els intervals expressats en *cents* són independents de la freqüència que s'hagi usat per a calcular les notes de l'escala. En l'Apèndix (nota més a baix) s'explica la forma de càlcul per als *cents* i el seu origen. L'última columna de la taula serveix per a comparar ambdues escales. Se ha calculat la distància en *cents* des de cada nota de l'escala temperada fins al seu equivalent de l'escala d'entonació natural.

L'escala temperada té avantatges, però a un preu. Els intervals que es formen en ella estan desafinats. Quan sonen els intervals temperats es produeixen freqüències de batut. El d'octava no, per descomptat, però en molts altres, sí. La quinta i quartes en entonació temperada són quasi idèntiques a la quinta en entonació natural (veure Taula 2). El problema principal és que les terceres temperades estan bastant pitjor afinades que les quintes, el qual és un inconvenient per a gent com nosaltres que toquem moltíssim per terceres. El que l'escala que utilitzem habitualment sigui una escala desafinada pot sonar bastant estrany, però és la realitat. És una desafinació controlada i a la que estem tan acostumats per la nostra educació musical que no som conscients de ella.

Hi ha bastants diferències entre ambdues entonacions. La nota que més distància manté és el Si greu, aquesta nota anòmala que hem proposat per a millorar l'afinació. Ara bé, les *gaites* que utilitzem avui en dia, com estan afinades?

L'ESCALA DE LES GAITES ACTUALS

Per fer una idea de com és l'afinació promig en les *gaites* hem realitzat una medició de les freqüències de totes les notes de dotze *punteiros* de diferents constructors i tonalitats. Vagi per endavant el dir que la realització d'unes mesures d'aquest tipus té una sèrie de dificultats. Gravem el so dels *punteiros* (tocant-los sense trompa) i després calculem la freqüència de cada fonamental mitjançant un programa d'ordinador que ens permet descompondre els sons en els harmònics que els componen.

Els resultats obtinguts es deuen posar com un simple tanteig inicial, una primera prova per a saber por on va la cosa, res més. La férem amb *punteiros* que poguérem reunir entre noltros tres. L'afinació de cada *punteiro* és insegura, alguns d'ells duia un cert temps sense tocar i s'hi posaren les inxes per a la prova, això pot donar com a resultat afinacions alterades. Tenint això en compte, presentem les dades en la Taula 3 (només amb intenció d'il·lustrar un poc la discussió). En ella s'indiquen els intervals en *cents* des de la tònica del *punteiro* (com si tots els *punteiros* fossen en Do). Les dades de la darrera columna són la mesura dels resultats dels dotze *punteiros*. El fet d'utilitzar el valor mig ens ajuda a eliminar les variacions individuals de cada *punteiro* i obtenir un valor d'afinació més fiable. A les columnes centrals es representen els valors de les dues afinacions de referència. Com a curiositat, comentar que un dels *punteiros* utilitzats tenen una afinació que coincideix en quasi totes ses seves notes com la entonació natural teòrica.

L'anàlisi de les dades de l'experiència ens indica el següent: les notes agudes inclouen el Do agut pareixen estar massa altes. Al gravar sense trompa és molt possible que s'hagi augmentat la pressió del sac inconscientment en arribar a aquesta zona del *punteiro* i les freqüències resultants siguin altes artificialment. Si li restem els 12 *cents* que li sobren al Do agut a les tres notes inferiors ens quedem amb afinacions molt consemblants a les que marca l'afinació temperada. La resta de les notes també s'aproximen més a l'afinació temperada que a la natural amb dues excepcions. El Mi \flat sembla estar alt en promig encara que hi ha una variació molt gran entre *punteiros* (possiblement aquest valor sigui un tant fictici).

La segona excepció, i la més gran, és el Mi. Aquesta nota està clarament afinada segons un interval natural. La mitja coincideix exactament amb el valor teòric i cap dels *punteiros* s'atraca al valor de l'entonació temperada.

Avui en dia sembla clara la influència de l'escala temperada en la construcció dels nostres instruments. Resulta interessant plantejar-se com eren les escales dels *gaiters* que no reberen la ajuda dels afinadors electrònics i es guiaven per la trompa, el millor afinador del que disposaven. És un estudi que tal vegada comencem aviat. Però en el cas de les *gaites*, utilitzar l'escala temperada tal qual té problemes més greus que els habituals en el cas d'altres instruments com el piano o el clarinet. Les *gaites* tenen els bordons, que estan contínuament produint la tònica del *punteiro*. El més normal serà que es produeixin freqüències de batut si les notes del *punteiro* no estan afinades segons entonació temperada. El problema s'aguditza perquè el so de la trompa està dues octaves per baix de la del *punteiro*. La freqüència de batut entre notes tan allunyades entre sí és més exagerada que si ambdues notes pertanyessin a la mateix octava. Moltes de les pauses de les melodies es realitzen sobre les tres notes que componen l'acord major de la tònica, és a dir, el primer, tercer i quint grau de l'escala. Per aquest motiu la majoria de les notes llargues de les melodies són alguna d'aquestes tres. Amb la quinta i la quarta no hi ha problema ja que quasi coincideixen en escales naturals i temperades. La tercera major temperada provocarà desafinació amb les trompes en aquestes situacions i, per esser llargues aquestes notes, es notarà molt. L'efecte és menys evident en les altres notes que solen ser notes més curtes per ser de pas. Per això, en una *gaita*, el tercer rau de l'escala té que afinar-se segons l'entonació natural i no temperada, si no la desafinació és bastant

escandalosa. Es pot comprovar tot això d'una forma molt senzilla: a base de *fixo* (material gomós i aferradís emprat per tapar, i així afinar, el forat dels gralls) es pot dur el Mi d'un *punteiro* de Do (o la nota equivalent en qualsevol altre punteiro) fins a l'afinació que exigeix l'afinador (és afinació temperada). Quan hàgim convertit l'afinació en temperada podrem comprovar com el nostre nou Mi desafina amb la trompa.

CONCLUSIÓ: UNA PROPOSTA D'AFINACIÓ EN ENTONACIÓ NATURAL PER A LA GAITA

L'escala en entonació natural que proposem en aquest treball seria perfectament aplicable a la *gaita*. Representaria aconseguir una afinació més pura, més dolça. Estendre els beneficis que obtenim per al tercer grau de l'escala als altres. Es pagaria el preu de què una escala d'aquest tipus no es tan versàtil tonalment com l'escala temperada, però aquest és un preu barat. Els *gaiters* tradicionals no toquem més que en una tonalitat en els seus modes major i menor. Algunes melodies estan en mode major amb el setè grau alterat descendentment. Qualsevol d'aquestes variacions es pot realitzar en entonació natural. Afortunadament, els *gaiters* no tenim que tocar melodies en Fa# menor amb un *punteiro* en Do ni coses per l'estil, pel què la pèrdua de la capacitat que tenen els instruments temperats de passar d'unes tonalitats a altres a nosaltres no ens afecta gaire.

Lògicament, qualsevol persona que llegeixi aquestes línies es preguntarà si valdrà la pena passar-se a una escala com aquesta tenint en compte que, actualment, les *gaites* sonen bastant bé tal com estan. L'única resposta vàlida seria la que cada un obtingués provant d'utilitzar aquesta escala i, un cop acostumada la nostra oïda a ella, veure si som capaços de tornar a utilitzar l'escala vella tan a gust com abans. Quan érem novells, a cap ens molestava massa que la trompa estigués desafinada, però avui en dia no som capaços de toca així. Això no és més que un problema d'educació de l'oïda, ni més ni manco, i el de la utilització d'una o altra entonació, també ho és.

La qüestió principal és que hem exposat la teoria i els principis sobre els que es basa la construcció d'escala i hem donat resposta a la qüestió que ens fa fer començar aquest treball. Esperem que això serveixi per a augmentar el coneixement de les particularitats del nostre instrument i ajudi a cada un a prendre decisions ben fundades sobre l'afinació més convenient per a ell. Hi ha gent que no podrà escapar de l'afinació temperada ja que té que sonar juntament amb altres instruments, però els *gaiters* que sonen amb parella (o en estol) tindran la llibertat de cercar aquesta afinació si la troben més interessant.

APÈNDIX: HERTZS I CENTS

Al llarg de tot el text hem utilitzat les freqüències per a definir els son. No obstant, als intervals els caracteritzem per la relació entre les freqüències dels dos sons que el formen. Dividint una freqüència per l'altra tenim una idea de la distància que separa ambdós sons. Mentre aquesta distància es mantingui noltros reconeixem sempre el interval. És curiós donar-se compte de que a mesura que els sons es fan més aguts la distància en hertz que representa cada interval es va fent cada cop major. El *La* patró té una freqüència de 440 Hz, la seva octava: 880 Hz, i l'octava d'aquest: 1.760 Hz. Els intervals mesurats en hertz van duplicant la seva amplitud, a pesar de que noltros seguim reconeixent a tots aquests intervals com a octaves. Aquesta és la raó per la que s'utilitzen relacions entre freqüències i no freqüències absolutes per a identificar els intervals.

La mesura d'amplitud d'interval que més s'utilitza és el *cent*. La base d'aquesta mesura és també la divisió de la freqüència d'una nota per la de l'altre, però es realitzen una sèrie de correccions matemàtiques per a aconseguir dividir cada semitò temperat en cent parts i que aquesta divisió sigui igual sense importar quines són les freqüències reals. Cada una d'aquestes parts es denomina *cent* i l'octava queda dividida en 1.200 *cents*. Una oïda ben educada pot percebre diferències d'uns tres *cents*, per tant els *cents* són unitats el suficientment petites.

La fórmula per a calcular la distància en *cents* entre dues notes coneixent la seva freqüència és:

$$Cents = \left[\frac{\log\left(\frac{f_1}{f_2}\right)}{\log 2} \right] \times 1200 \quad f_1 \text{ i } f_2 \text{ són les freqüències de les notes.}$$

Els afinadors electrònics marquen la diferència entre el patró i la nota del nostre instrument en *cents*. Si volem utilitzar un d'aquests aparells per afinar una *gaita* segons l'entonació natural, l'única que hem de fer és conèixer la distància que separa a les notes naturals de les temperades. Per aquests últimes notes la indicació de l'afinador és zero, les notes naturals estaran per damunt o per davall de zero.

A la Taula 3 s'indiquen aquestes distàncies.

Taula 3. Afinació mitja de dotze *punteiros* de diferents trons i artesans. Les notes s'indiquen com si fossin d'un *punteiro* en Do a pesar de que són de tonalitats diferents. Hem mesurat els intervals en *cents* front a la tònica de cada *punteiro*, el que ens permet comparar-los entre sí.

Nota	Entonació natural	Entonació temperada	Mitja
Do	1200	1200	1212
Si	1088	1100	1118
Sib	1018	1000	1014
La	884	900	909
Lab	814	800	807
Sol	702	700	699
Fa	498	500	503
Mi	386	400	386
Mib	316	300	329
Re	182	200	207
Do	0	0	0
Si	134	100	101

També s'indiquen les distàncies per a un *punteiro* de Sol que interessa afinar per a tocar amb un *punteiro* de Do afinat segons l'entonació natural.

AGRAÏMENTS

Els autors hem d'agrair a *Juan J. Presedo* el seu interès per aquest treball i l'oportunitat que ens ha donat d'incloure-ho en la seva pàgina web per a que els *gaiters* que estiguin interessats en ell puguin consultar-ho. Ell ha sigut també el que l'hi ha donat els retocs de format necessaris per a la seva publicació a Internet però, per suposat, les errates, fallides de tot tipus i omissions varies segueixen essent responsabilitat exclusiva dels autors.

BIBLIOGRAFIA

Benade, A. H. (1990). *Fundamentals of musical acoustics*. 2^a edició. Dover Publications, Inc. New York.

Helmholtz; H. L. (1885). *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music*. Segunda edición inglesa, traducida del alemán y comentada por A. J. Ellis. Edición facsímil, 1954. Dover Publications, Inc. New York.

Fletcher, N. H.; Rossing, T. D. (1991). *The physics of musical instruments*. Springer Verlag New York, Inc. New York.

Piles Estellés, J. (1982). *Intervalos y gamas. Temas de musicología*. Instituto Valenciano de Musicología Alfonso el Magnánimo. Ed. Piles. Valencia.

NOTA DEL TRADUCTOR

Aquest estudi, tal i com es diu a l'enunciat, està basat en la *gaita*. Per tant s'ha intentat respectar el nom d'aquest instrument en tot moment, podent-ne interpretar *gaita* com a **Xeremia**, i *punteiro* com a **Grall**. De la paraula *ronco* se n'ha obviada la seva inclusió (emprada originàriament pels autors) essent traduïda en tot moment com a **Trompa**.