

La tenora i la barítona de l'IEC: un punt de trobada de ciència i música

Presentació conceptual dels seus programes de recerca



Jordi Campos
amb la *barítona*

Joaquim Agulló i Batlle
membre de la Secció de
Ciències i Tecnologia



Institut
d'Estudis
Catalans

La *tenora* i la *barítona* de l'IEC: un punt de trobada de ciència i música.

Joaquim Agulló i Batlle, membre de la Secció de Ciències i Tecnologia.

Resum

La ciència ha tingut poca incidència en els instruments de l'orquestra perquè en construir-se en tan gran quantitat, han arribat a un perfeccionament molt elevat. Però pot ajudar a millorar els instruments tradicionals que, en construir-se en poca quantitat, sovint es troben lluny del grau de perfeccionament desitjat. Dos programes de recerca de l'IEC han aprofitat la feina feta des dels anys setanta en diverses tesis doctorals de la UPC sobre l'acústica de la *tenora* i el *tible* per incidir en el disseny del grup de xeremies de la cobla. Un d'ells per dissenyar la *tenora* que ha donat resposta al conjunt de millores desitjables concretades pels músics amb motiu del 150 aniversari d'aquest instrument. El bon resultat obtingut va impulsar el segon programa per dissenyar un nou company de la *tenora* i el *tible*: la *barítona*, promoguda per Lamotte de Grignon el 1948, però que cap constructor havia gosat prendre el repte de fer-la. A partir de l'anàlisi de les característiques acústiques del so de la *tenora*, i de la descripció del seu funcionament, s'exposa la metodologia seguida en els dos dissenys. La *barítona* ha estat ben acceptada per part dels músics i ja va fent camí en l'àmbit de la cobla i altres formacions. Un nombre creixent de músics ha participat en la composició i arranament de peces per a la *barítona*.

Abstract

The science of musical instruments has had little incidence on the evolution of the orchestra instruments. They are produced in such high quantities that the trial-and-error process has already lead to a high level of perfection. Usually, this is not the case of traditional instruments, where production is artisanal and low. In this case, musical acoustics can be of great help to obtain a fairly good instrument through scientific calculation. Two research programmes of the IEC have take advantage of the research developed since the 70s in several doctoral thesis of the UPC on the acoustics of the *tenora* and *tible* (tenor and treble shawms). A first programme devoted to the design the *tenora* has lead to an improved instrument fulfilling all the conditions proposed by musicians during the celebration of the 150 years of the *tenora*. The success of that programme lead to the second one, intended to design a lower pitch companion of the *tenora* and *tible*: the *baritone*, an instrument already promoted by Lamotte de Grignon in 1948 but never developed. The methodology followed in the two designs is presented from the sound analysis of those instruments and the physical phenomena implied in their sound production. The *baritone* has been well accepted by musicians and it is already being included in the *cobla* and other ensembles. Last but not least, an increasing number of musicians is already composing and arranging music for the *baritone*.

Paraules clau: tenora, barítona, xeremia, autoexcitació, ressonància, columna d'aire, doble canya.

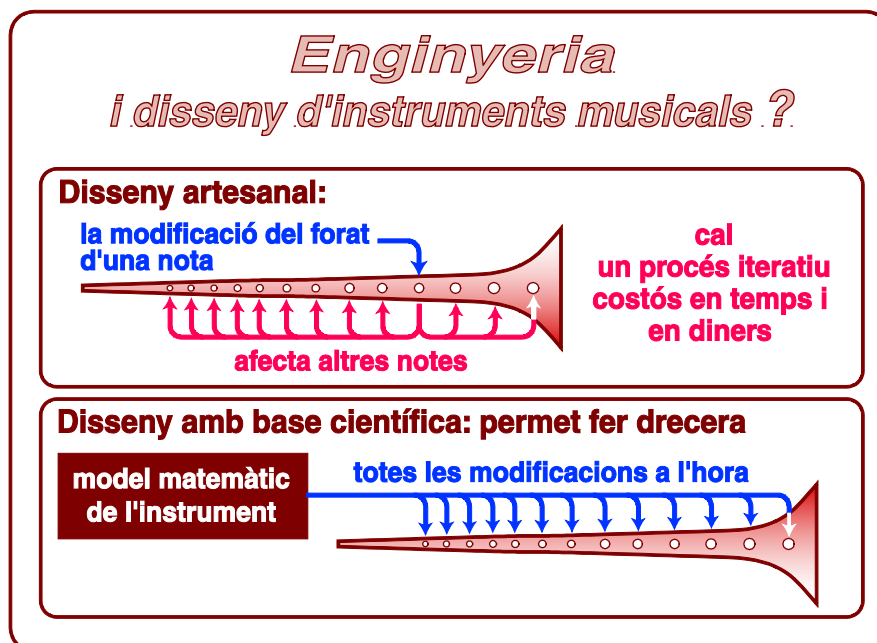
Contingut

- Introducció.
- El redisseny de la *tenora* i el disseny d'un nou instrument, la *barítona*, dos programes de recerca de l'Institut d'Estudis Catalans.
- Com és el so d'aquest instruments?
- Com funcionen?
- Què ha calgut fer i què s'ha aconseguit?
- BIBLIOGRAFIA
- ANNEX. L'equip de recerca

Introducció.

Pot sorprendre que uns instruments musicals hagin estat dissenyats amb els procediments de l'enginyeria. Però un instrument musical és un artefacte al qual s'exigeixen unes característiques físiques molt precises, i aconseguir-ho és ben propi l'ofici d'enginyer.

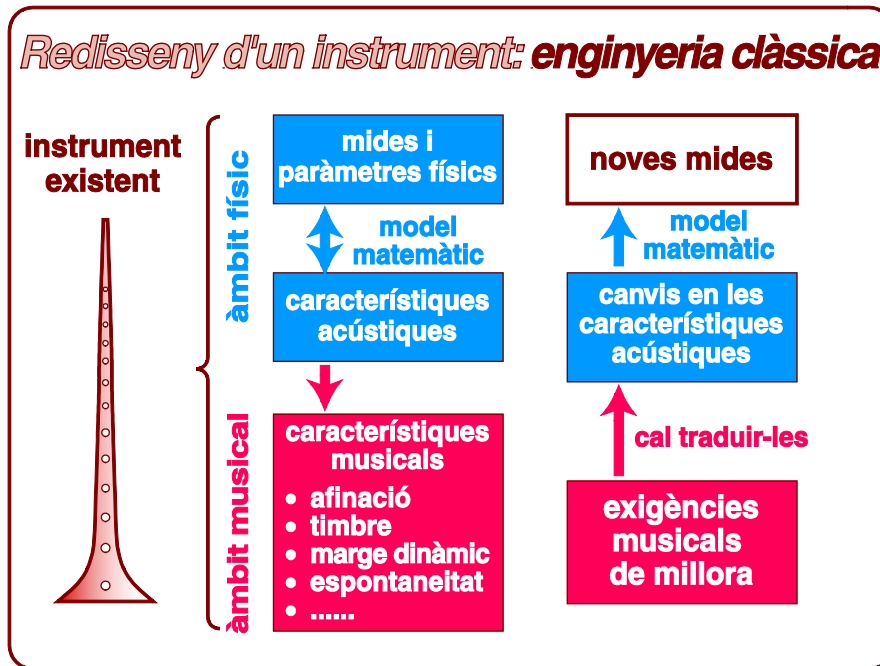
És cert que l'enginyeria ha tingut poc a dir en el disseny dels instruments de l'orquestra. Se'n construeixen en tan gran quantitat, que el procés d'evolució i selecció natural propiciat per l'habilitat dels constructors i l'exigència dels músics els ha portat a un grau tan elevat de perfeccionament, que difícilment l'enginyeria els podria fer anar més enllà.



Però en el cas dels instruments tradicionals la situació és ben diferent, atès que se'n construeixen en menys quantitat, i perquè un retoc fet per a corregir una nota n'afecta d'altres, que caldrà corregir. El mètode artesanal, que es planteja una correcció rere l'altra, porta a un procés iteratiu que en molts casos ha quedat lluny encara de la perfecció buscada.

L'enginyeria permet fer drecera: si es disposa del model matemàtic de l'instrument, tots els canvis poden ser considerats a l'hora abans de fer un prototip, i això fa que amb uns pocs prototips s'arribi al grau de perfeccionament cercat. No s'encerta a la primera, però, per causa dels inevitables errors de model.

En el cas del redisseny d'un instrument per millorar-ne algunes característiques musicals, el seu model matemàtic relaciona les seves mides i paràmetres físics amb les característiques acústiques, i d'aquestes en depenen les característiques musicals: afinació, timbre, marge dinàmic –capacitat de tocar *piano* i *forte*–, espontaneïtat –que és la facilitat per a iniciar les notes–, ...



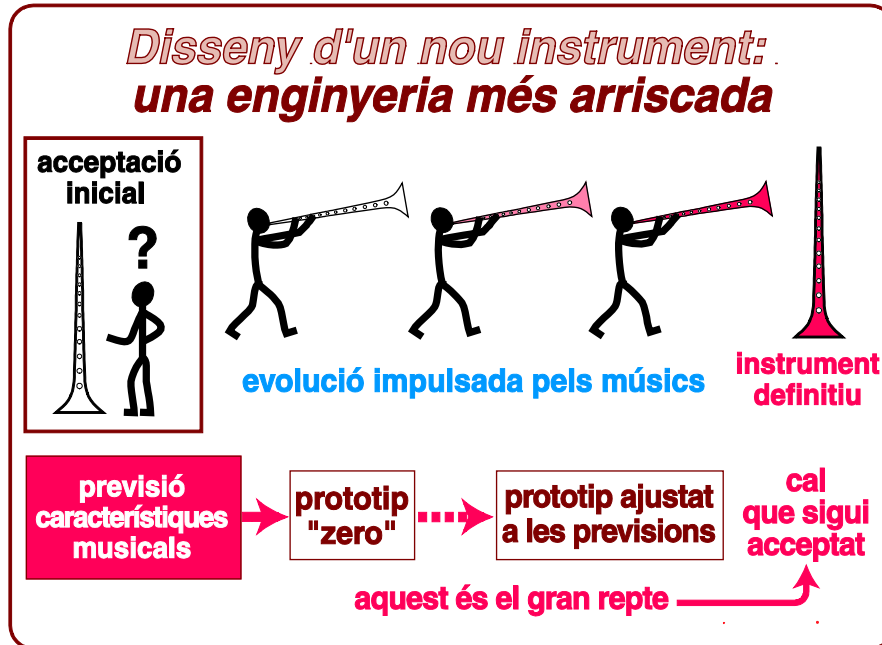
A partir d'unes exigències musicals de millora plantejades pels músics cal traduir-les en canvis de les característiques acústiques. I a partir d'aquestes, d'una sola tacada, el model matemàtic ens porta a les noves mides.

Reconec que, en començar, aquesta traducció no va ser fàcil. Els músics han anat creant un llenguatge propi per referir-se al funcionament dels seus instruments que no és al DIEC i que va caler descobrir

Aquest ha estat el cas de la *tenora* de l'IEC. Com que calia porta-la a un grau molt elevat de perfeccionament exigít pels músics –i també perquè era la nostra primera experiència en el disseny d'un d'aquests instruments–, van caler, de fet, cinc prototips.

El mètode de l'enginyeria és, però, encara més decisiu si es tracta de crear un instrument nou condicionat per les seves característiques musicals.

Un instrument nou –si més no en un àmbit musical– ha de ser acceptat inicialment, i aleshores els músics n'impulsen l'evolució fins que cristal·litza en l'instrument definitiu.



A partir de la previsió de característiques musicals per al nou instrument, es procedeix a dissenyar el prototip "zero", se n'avaluen les desviacions respecte a l'instrument que es cerca, i es procedeix a corregir-les.

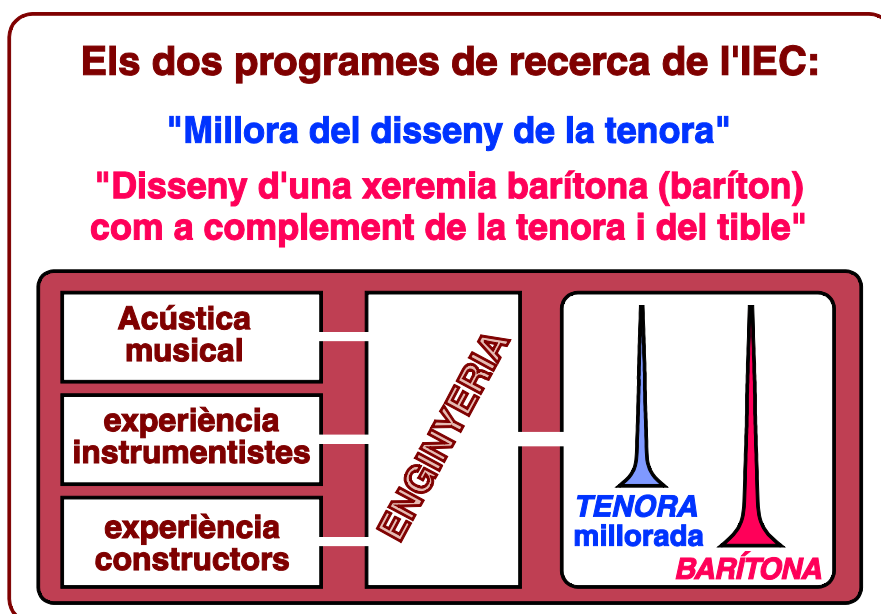
Amb pocs prototips es pot arribar l'instrument ajustat a les previsions. Ara cal que aquest sigui acceptat en l'àmbit musical i comenci el camí d'adaptació i perfeccionament. Aquests és el gran repte!

Aquest ha estat el cas de la *barítona* de l'IEC. L'experiència que havíem adquirit amb el projecte de la *tenora* i el fet que en aquest cas el concepte de perfecció fos poc definit: només calia que la *barítona* fos prou adequada per a ser acceptada pels músics, amb el prototip "zero" i dos més n'hi va haver prou.

Usualment en el treball de l'enginyeria es troben fets tots els models matemàtics de la Física i algorismes que calen a l'hora de fer projectes. Però aquest no ha estat el cas a l'hora de dissenyar aquests instruments musicals. Ha calgut desenvolupar diversos models i algorismes que, sorprenentment, havien quedat per fer.

El redisseny de la *tenora* i el disseny d'un nou instrument, la *barítona*, dos programes de recerca de l'Institut d'Estudis Catalans.

En els dos programes de recerca de l'IEC, es tractava de refondre, per mitjà dels procediments de l'enginyeria, els coneixements d'acústica musical d'aquests instruments i l'experiència dels instrumentistes i constructors, per aconseguir una *tenora* millorada i el nou instrument buscat: la *barítona*.



En el cas de la *tenora*, tot i les millores que s'havien anat introduint des de la innovadora *tenora* de Turon (de Perpinyà), quedava camí per fer. I permeteu un incís: Turon l'havia dissenyada pensant en les bandes militars, considerava –amb encert– que a l'aire lliure la *tenora* era preferible als clarinets. Però va ser un estrepitós fracàs. L'exèrcit francès no n'hi va comprar ni una. Sort va tenir d'en Pep Ventura.

La celebració del 150 aniversari de la *tenora* propicià reunions de músics, instrumentistes i constructors que van concretar un conjunt de millores desitjables.

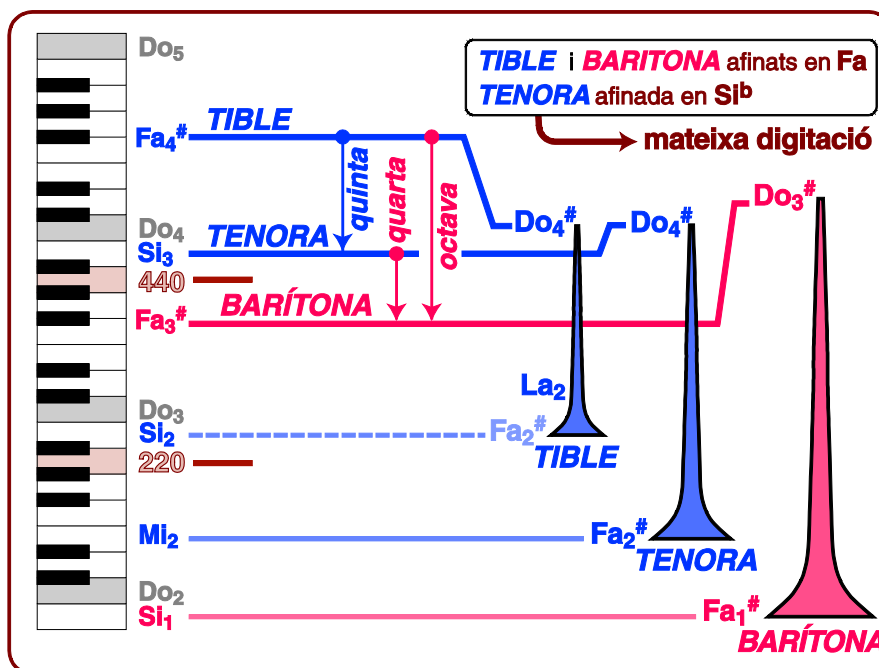
En el cas de la *barítona*, se'n parlava des de 1948 quan fou promoguda per Ricard Lamotte de Grignon com a una desitjable companya greu per al grup de les dobles canyes de la cobla. Però cap constructor no va gosar emprendre'n la construcció.

De fet, es va fer l'intent d'adoptar el *sarrussòfon*, instrument proper i de tessitura semblant, però no va tenir acceptació: el timbre era massa foraster al de la *tenora* i el *tible*.

El grup de recerca en Acústica que vaig dirigir a la universitat havia aprofundit l'estudi de l'acústica d'aquests instruments –xeremies o dobles canyes– de la cobla des de començament de la dècada dels 70 per mitjà de diverses tesis doctorals que van donar lloc a nombrosos articles i ponències d'àmbit internacional.

Quan el 2002, en el 150 aniversari de la *tenora*, es van concretar les millores que calia introduir-hi, disposàvem del coneixement per a fer-ho i l'IEC va impulsar el programa de recerca per portar-les a terme. El bon resultat d'aquest programa de recerca ens va esperonar a iniciar el programa per a la creació de la *barítona*.

Aquests dos instruments s'inscriuen en el conjunt de les xeremies –o dobles canyes– de la *cobla*. La figura mostra el *tible*, la *tenora* i la *barítona* representats en dimensions relatives, així com l'extensió de les notes del seu primer registre, referides a les notes del piano.



La *tenora* es troba a una *quinta* per sota del *tible*, i la *barítona*, que és l'octava baixa del *tible*, es troba a una *quarta* per sota de la *tenora*.

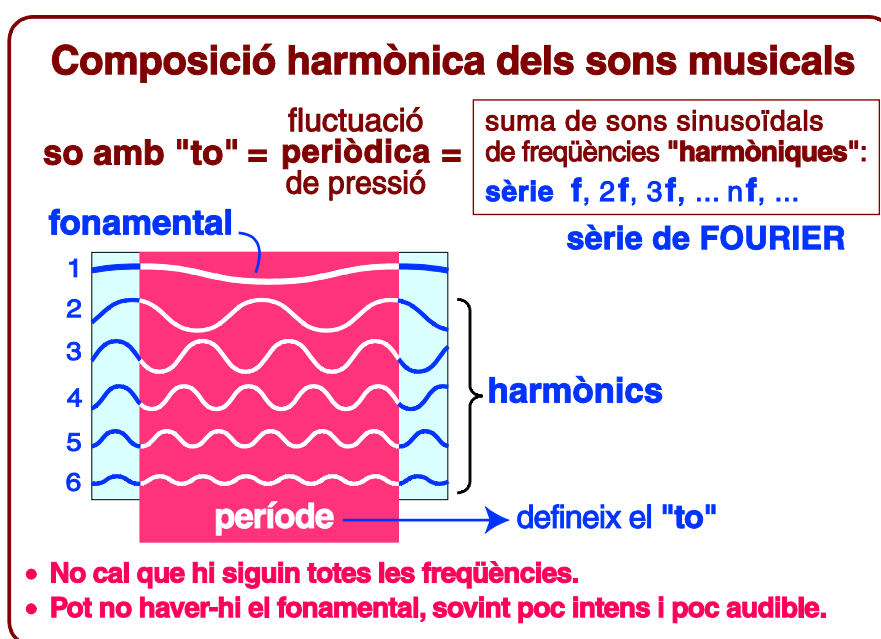
Tots tres instruments són transpositors, el *tible* i la *barítona* estan afinats en *Fa* (el seu Do és un *Fa* del piano) i la *tenora* en *Si bemoll* (el seu Do és un *Si bemoll* del piano), cosa que fa que tots tres tinguin la mateixa digitació i sigui, per tant, fàcil als instrumentistes passar d'un instrument a l'altre.

Permeteu un comentari sobre el gènere d'aquests instruments. Inicialment a la *barítona* n'hi vam dir *baríton*, per anar alternant *tible*-masculí, *tenora*-femení, *baríton*-masculí, -de manera similar a *violí*, *viola*, *violoncel*. Però els músics ho van tenir clar, n'hi van dir *barítona* des del primer moment. En l'àmbit dels instruments musicals, el gènere és del tot imprevisible.

Com és el so d'aquests instruments?

Els sons musicals per excel·lència són aquells als quals es pot associar un "to". I això és característic dels sons periòdics: fluctuacions de la pressió d'aire que es repeteixen amb un cert ritme, que determina el to. El ritme, o freqüència, del so s'amida en Herts (Hz), que descriuen el nombre de repeticions o cicles per segon. El so del La natural de 440 Hz repeteix la fluctuació de pressió 440 vegades per segon.

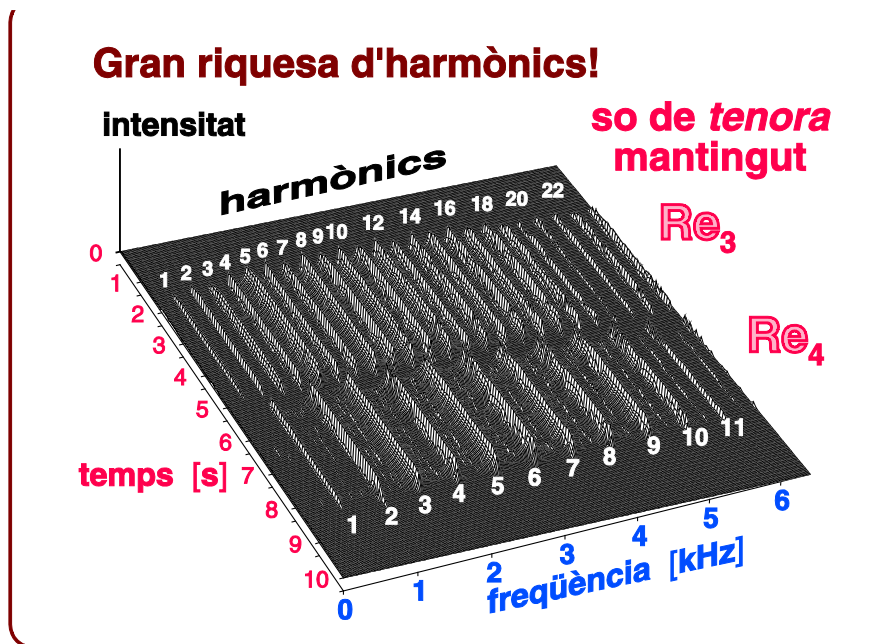
Aquests sons periòdics es poden descriure com la superposició de sons elementals, com el del diapasó, amb freqüències f , $2f$, $3f$, És l'anomenada sèrie de Fourier.



Quan els més greus hi són presents, el de ritme més lent s'anomena *fonamental* i els altres, anomenats *harmònics*, tenen ritmes de vibració 2, 3, 4, ... vegades més ràpids. És a dir: en el temps que el fonamental fa una oscil·lació, el 2n harmònic en fa 2, el tercer 3, etc.

No cal que hi siguin totes les freqüències. Pot no haver-hi el fonamental, sovint poc intens i poc audible. El que compta és la freqüència de repetició de la fluctuació de pressió.

Si passem el so de la *tenora* per un sedàs que ens destruiï els components harmònics trobem, per al Re_3 i el Re_4 mantinguts, les dues col·leccions de components mostrades en la imatge. L'eix vertical és de la intensitat, el lateral és el de la freqüència i el de profunditat és el del temps. Les crestes que s'observen per a cadascuna de les dues notes són representatives del seus components harmònics.



S'observa que els harmònics del Re₄, octava alta del Re₃, coincideixen en freqüència amb els harmònics parells del Re₃. També es veu que en totes dues notes el fonamental hi té una participació escassa.

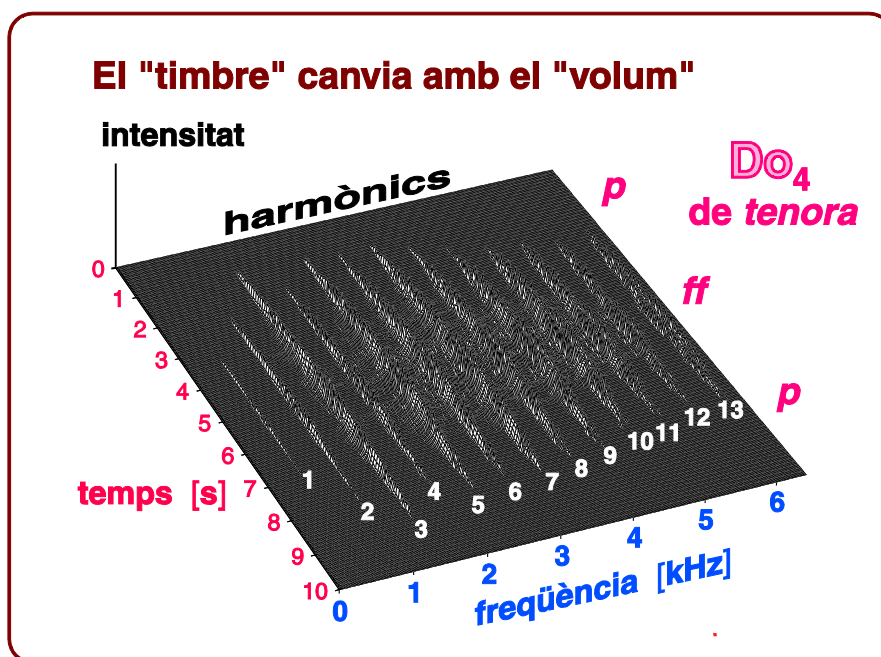
Tanmateix, el tret més important és la gran riquesa d'harmònics –fins a vint-i-tants en el Re₃– que cobreixen abastament la banda freqüencial de màxima sensibilitat auditiva. Aquesta característica fa que el so de la *tenora* sigui molt adequat per a una dansa a l'aire lliure en què els sorolls poden emascarar diversos harmònics. Els que arriben als balladors els forneixen la informació precisa del “to”.

No és que l'oïda faci aquesta anàlisi en el seu procés de percepció del to. El que detecta és la freqüència de repetició del so periòdic, freqüència que es manté encara que alguns components harmònics s'emascarin o afebleixin

Aquesta gran riquesa es pot aconseguir en instruments de doble canya de notable rigidesa que es tanca violentament. En el cas de la trompeta, la riquesa en harmònics és molt inferior perquè, tot i que els llavis de l'instrumentista tanquen, com que són tous, ho fan amb poca violència.

A més, el conjunt d'harmònics condiciona el “timbre” del so. El timbre és la característica del so que permet identificar el tipus d'instrument que emet la nota, i si bé està condicionat pel contingut harmònic, hi intervenen altres factors, molt particularment l'atac o inici de cada nota, que és molt característic del funcionament de cada instrument. És l'atac que ens permet identificar, com ara la intervenció d'un oboè que passa a fer un arpegi dins d'un *tutti* de gran orquestra.

Per a cada nota d'aquests instruments, però, el "timbre" no és únic perquè no ho és llur composició harmònica, aquesta depèn del "volum" del so: depèn de si es toca *piano* o *forte*, com es pot observar en la imatge, on veiem com evoluciona la composició harmònica del Do₄ d'una *tenora* que comença amb volum *piano*, passa a *fortissimo* i torna a *piano*.



Amb un volum *piano* hi ha pocs harmònics –el fonamental és inexistent– mentre que en passar a *forte* la riquesa en harmònics augmenta.

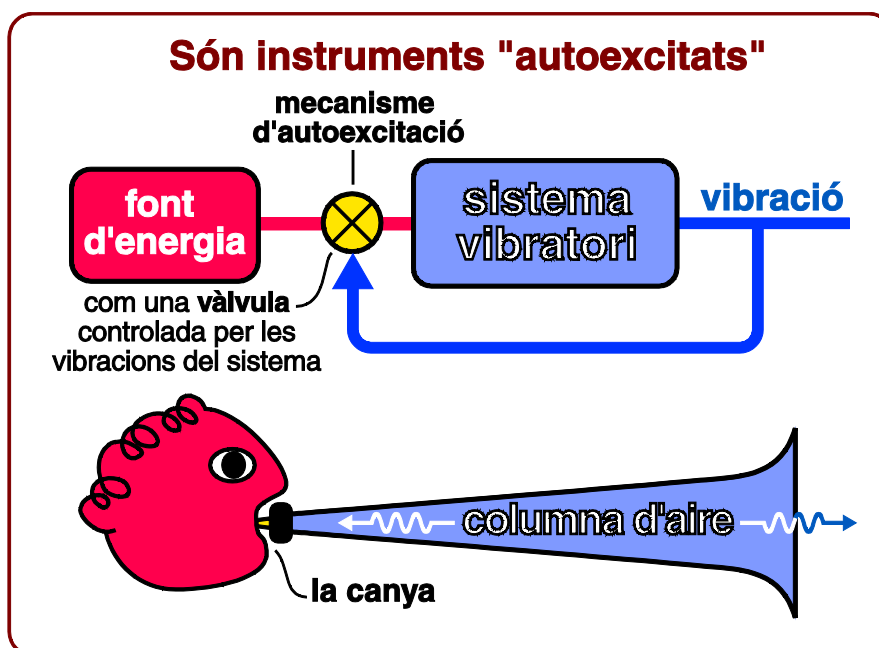
Aquest lligam entre "volum" i "timbre" és el que ens permet saber que una tenora toca *forte* encara que la sentim fluix perquè en som lluny. És com amb la veu de les persones, sabem si criden o parlen, independentment de la distància.

Els sons analitzats en aquesta imatge i en l'anterior van ser produïts per l'extraordinari tenorista Jaume Vilà, que ens ha fet costat al llarg de les quatre dècades de recerca.

Com funcionen?

Sovint se'n dona una descripció trivialitzada del seu funcionament segons la qual la canya vibra, per causa del buf de l'instrumentista, i produeix un so que és amplificat i tramès a l'exterior pel cos de l'instrument talment com ho faria un megàfon.

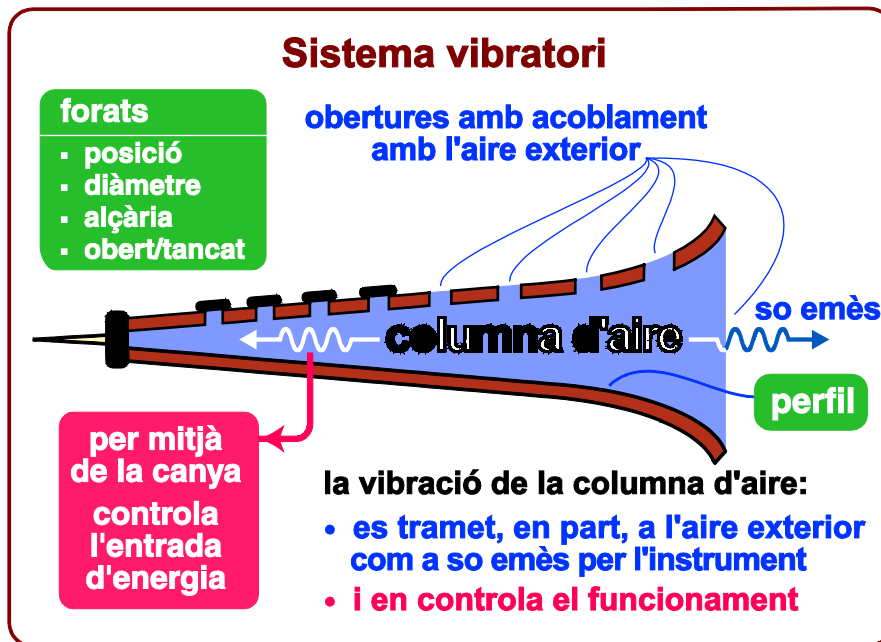
El cos de l'instrument té, però, un paper molt més important que fer de simple megàfon, perquè té molta incidència en el moviment de la canya: de fet en controla les vibracions. Es tracta d'instruments "autoexcitats":



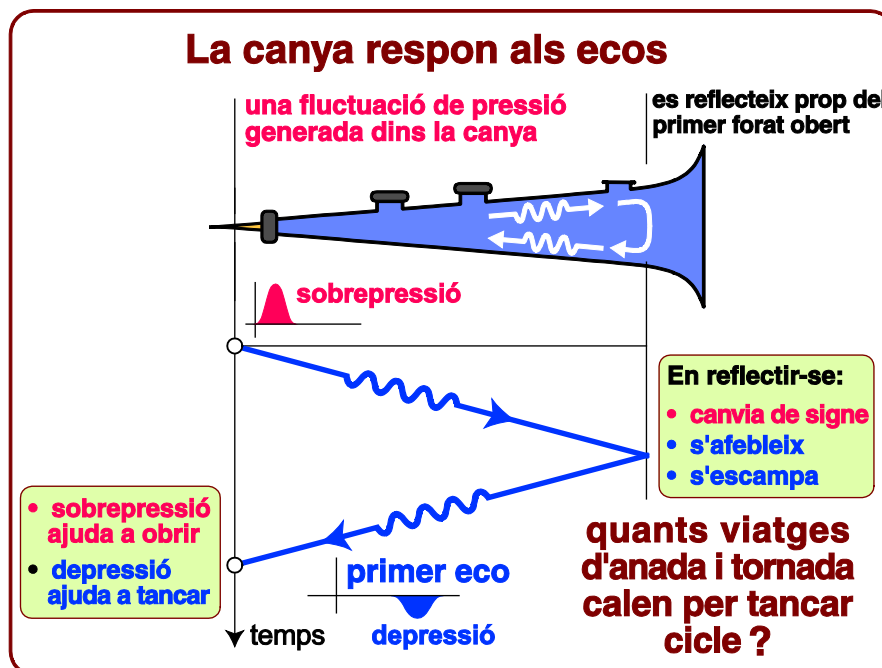
Tal com es mostra a la figura, es posa a disposició de l'instrument –format fonamentalment per un sistema vibratori– una font d'energia, i és la pròpia vibració d'aquest que en controla l'entrada per mitjà de l'anomenat *mecanisme d'autoexcitació*, que actua com a vàlvula d'entrada de l'energia.

En els instruments que ens ocupen, el buf de l'instrumentista és la font d'energia, la columna d'aire és el sistema vibratori i la doble canya fa de vàlvula d'entrada controlada per la vibració de la columna d'aire.

El sistema vibratori, doncs, està format per l'aire contingut dins l'instrument que està acoblat a l'aire exterior per mitjà dels forats oberts i per l'extrem obert del pavelló. La vibració interior és tramesa, en part, a l'exterior com a so emès per l'instrument, però bona part queda retinguda dins de l'instrument i controla l'entrada d'energia ajudant a obrir i tancar la canya.

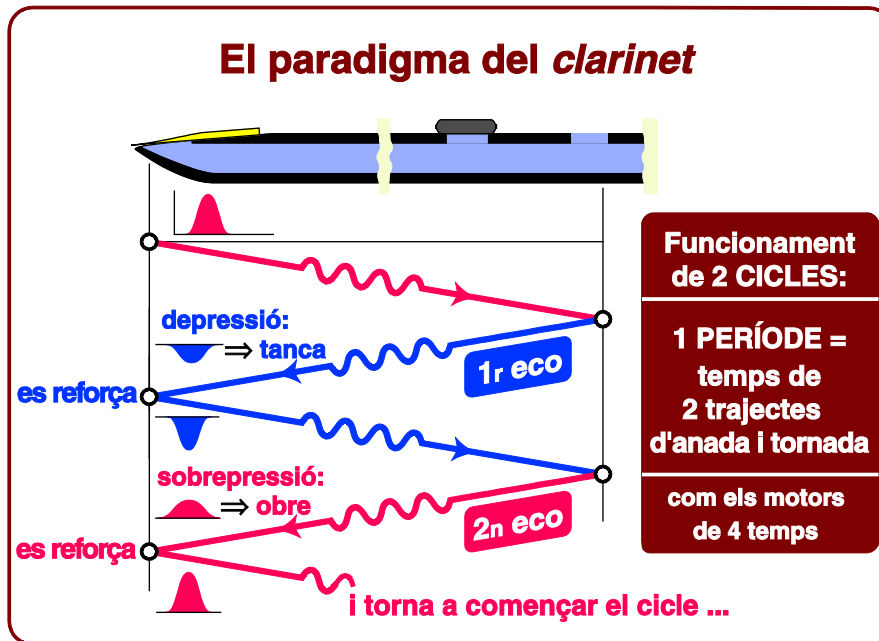


És doncs el so que menys surt a fora –el que menys sentim, que és el de freqüències baixes i molt particularment el fonamental– qui controla el funcionament de l'instrument. Podem dir, doncs, que la canya respon als ecos.



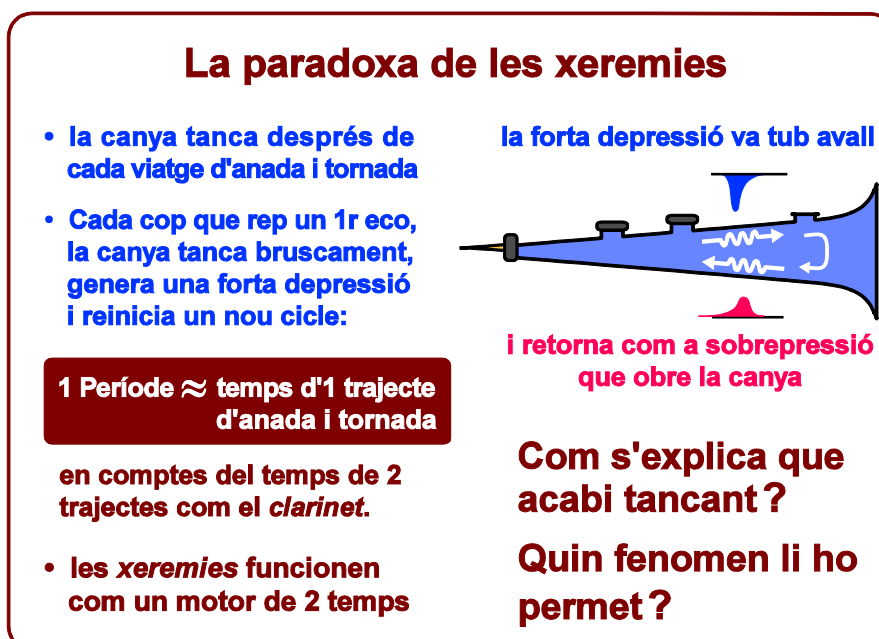
Una sobrepressió que entri dins la canya, es propagarà tub avall, es reflectirà prop del primer forat obert –tot canviant de signe, afeblint-se i escampant-se en el temps– i arribarà, com a un primer eco, a la canya. Si el que arriba és una depressió tendeix a tancar-la, i si és una sobrepressió, a obrir-la. Per tal de tancar cycle i tornar a començar, quants viatges d'anada i tornada calen?

Tenim el paradigma del *clarinet*:



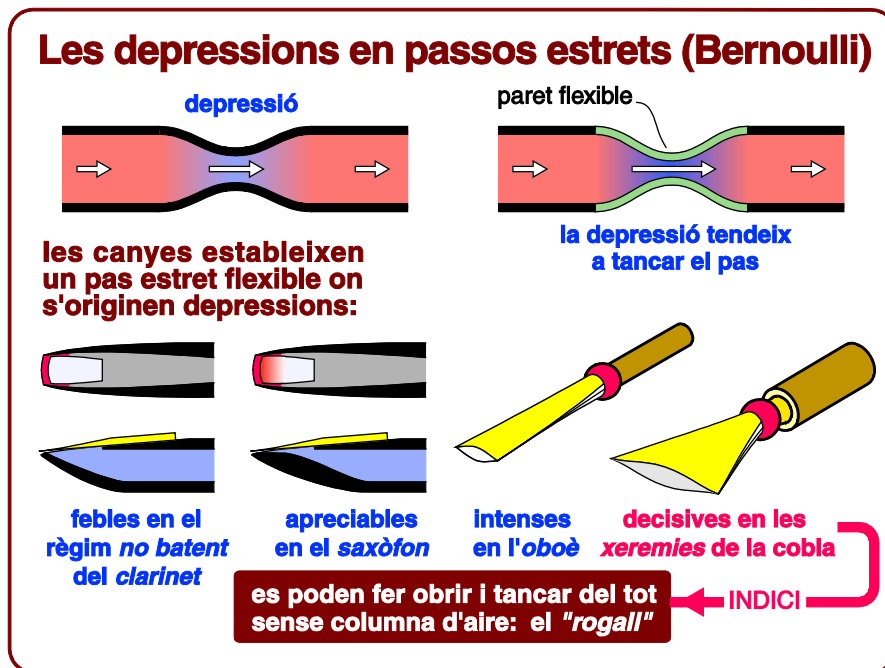
Una sobrepressió que es propaga tub avall, retorna com a depressió que, en tendir a tancar la canya –sense tancar-la del tot– reforça la depressió que, tot seguit, es propaga tub avall, per retornar reflectida com a sobrepressió, amb la qual cosa recomença el cicle. Calen, doncs, dos viatges d'anada i tornada per tancar cicle; és un funcionament semblant al dels motors de 4 temps.

Les xeremies, però, ens plantegen una paradoxa: la canya tanca després de cada viatge d'anada i tornada. L'arribada de cada eco desencadena el recomençament de cicle. En això s'assemblen als motors de 2 temps.



Com que les dobles canyes de les xeremies tanquen bruscament, originen una intensa depressió que es propaga tub avall i retorna com a sobrepressió. Com s'explica que aquesta sobrepressió, que d'entrada allò que fa és obrir la canya, acabi ocasionant que tanqui violentament? Quin fenomen li ho permet?

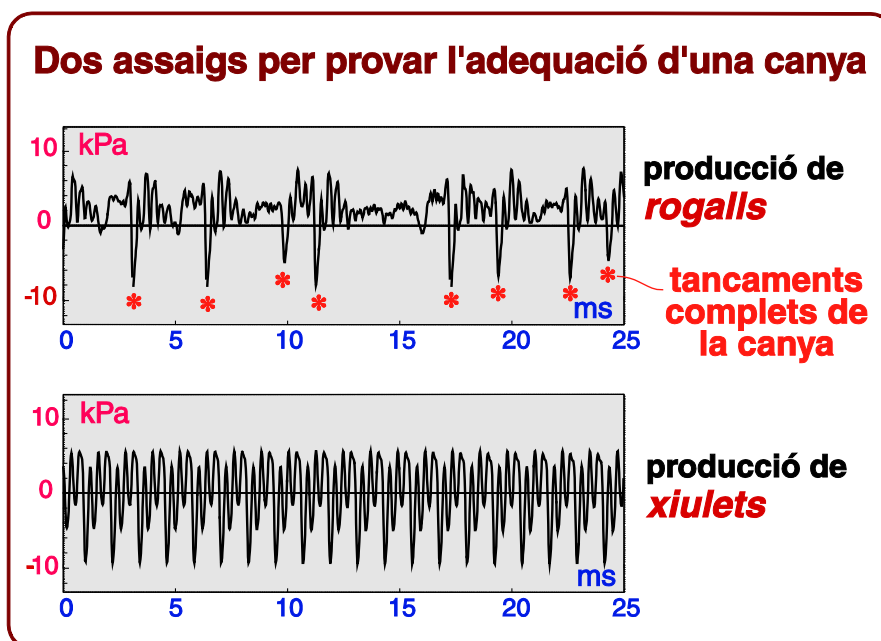
Hi ha un gran aliat de la causa del tancament. Són les depressions en passos estrets: si en una conducció hi ha un pas estret, allí s'establirà una depressió –com ho estableix el Principi de Bernoulli, i com en treu profit l'efecte Venturi emprat, com ara, en els carburadors de motors d'explosió–.



Si la paret del pas estret és flexible, aquesta depressió tendeix a tancar el pas, i hi ha una velocitat de circulació crítica per damunt de la qual el tancament arriba a ser total. Arribats a aquest punt, la manca d'entrada d'aire fa desaparèixer la depressió i la paret retorna vers la seva posició inicial; però en fer-ho passa a circular novament l'aire amb velocitat creixent, i passa a produir-se un nou tancament.

En els instruments de canyes, aquestes estableixen un pas estret flexible on s'originen les depressions. El paper que tenen és feble en el *clarinet*, apreciable en el *saxòfon*, intens en l'*oboè*, i decisiu en les *xeremies de la cobla*. Tant és així, que aquestes depressions poden fer tancar i obrir del tot la doble canya sense estar acoblada a l'instrument. Aquest procés vibratori ocasiona el que s'anomena *rogall*, que és un dels dos assaigs que fan els instrumentistes per provar l'adequació d'una canya. Aquests són els únics instruments que coneixem que emprin el *rogall* com a prova de l'adequació de les canyes.

A la imatge superior hi ha representada la fluctuació de pressió dins del tudell – element on es fixa la doble canya– en la producció d'un *rogall*. Aquesta pressió és molt propera a la que actua dins la canya. Per produir-lo, el tudell no es troba unit a l'instrument, i l'instrumentista bufa fortament tot deixant molt lliure la canya entre els llavis.



S'observa que de tant en tant es presenta una forta depressió que correspon a un tancament complet de la canya. Aquests tancaments no es produeixen amb regularitat, i per aquest motiu el so és rogallós. Però el fet que es produeixin posa de manifest l'adequació de la canya per tocar les notes més greus de la *tenora*.

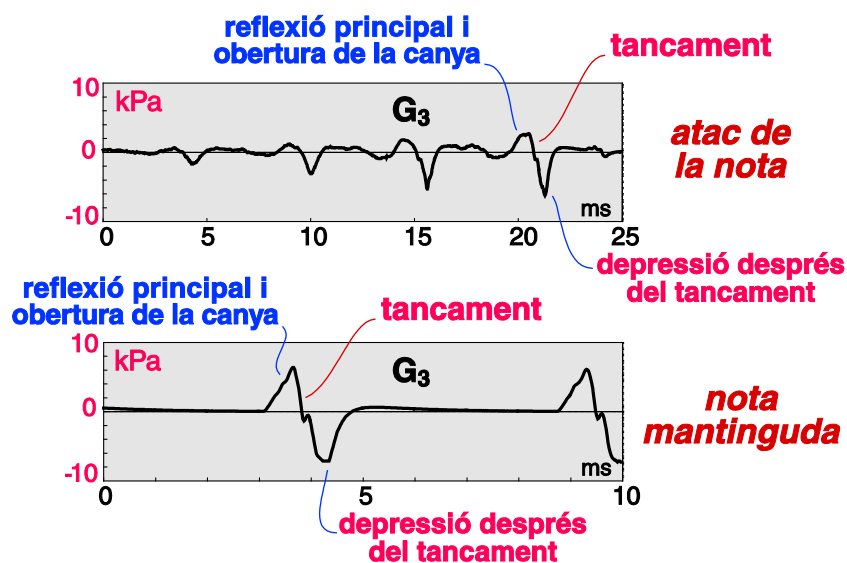
Quan el tudell s'acobra a l'instrument, els ecos a les depressions intenses actuen com a marcapàs que regularitza els tancaments de la canya, amb la qual cosa el so passa a tenir un "to".

Amb més pressió dels llavis sobre la canya en comptes del rogall s'obté un so de "to" agut: el xiulet –correspon a la imatge inferior– que prova l'adequació de la canya per a les notes agudes.

I posats a observar el so dins la canya –ben diferent del que surt a fora com a so emès– passem ara a visualitzar la fluctuació de pressió en l'inici d'una nota, i després una vegada la nota ha passat a ser mantinguda.

La imatge superior ens mostra la fluctuació de pressió captada per un micròfon inserit en el tudell –i per tant, pràcticament la pressió dins la canya– en el procés d'iniciar una nota, és el que s'anomena "atac" de la nota.

Pressió dins del tudell



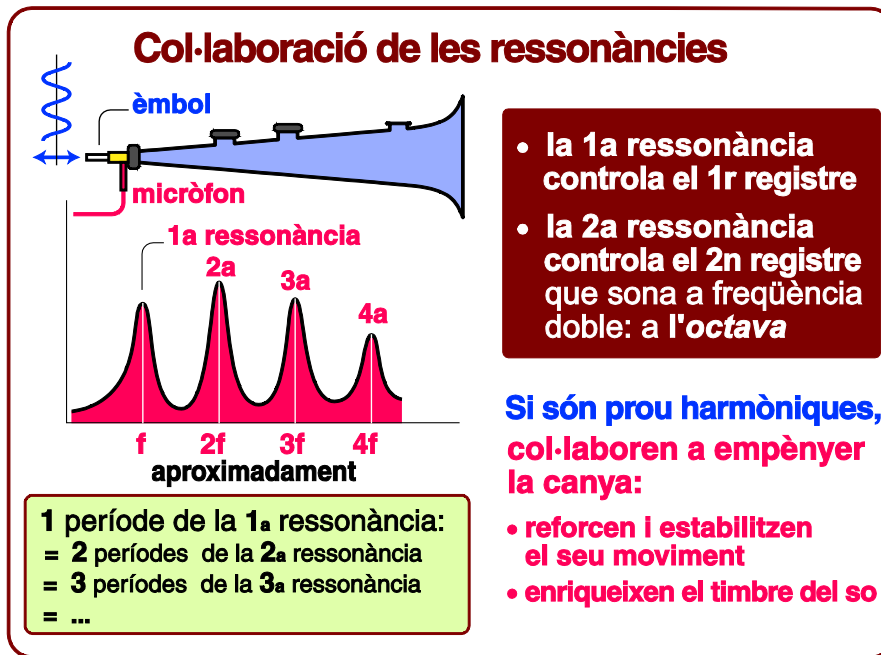
S'observa que la fluctuació inicial ocasionada pel buf de l'instrumentista –formada per una petita sobrepressió seguida d'una depressió lleugerament més intensa associada al tancament parcial de la canya– s'amplifica amb l'arribada de cada eco, fins que s'arriba, amb pocs cicles, al tancament complet.

La imatge inferior ens mostra la fluctuació de la pressió una vegada la nota ha passat a ser mantinguda. Hi apareixen molt clarament: l'arribada de la sobrepressió –eco de la depressió enviada tub avall pel cicle anterior–, el tancament brusc de la canya amb una lleugera sobrepressió ocasionada per l'aire expulsat bruscament de l'interior de la canya en tancar i, finalment, la intensa depressió ocasionada pel tancament complet.

En la forma d'aquestes fluctuacions de pressió per a notes mantingudes, diferent de la de l'atac de les notes, intervé un nou element associat al comportament vibratori de la columna d'aire. Es tracta de l'efecte acumulatiu, cicle rere cicle, ocasionat per les ressonàncies de la columna d'aire.

De la mateixa manera que un gronxador té un ritme propi d'oscil·lació, i si li apliquem empentes amb el mateix ritme aconseguim animar-lo a oscil·lar amb amplitud gran encara que les empentes siguin petites, la columna d'aire d'una xeremia té diverses ressonàncies que corresponen a oscil·lacions amb un ritme propi.

Aquestes ressonàncies de la columna d'aire es poden experimentar per mitjà d'un èmbol que actuï a l'entrada del tudell –allí on s'insereix la canya– amb una oscil·lació sinusoidal d'amplitud de velocitat constant però freqüència variable. Un micròfon inserit en el tudell detectarà com el so augmenta en apropar-se la freqüència a cadascuna de les de ressonància de la columna d'aire.



En el cas de la columna d'aire de les xeremies –que és aproximadament cònica– aquestes freqüències de ressonància formen aproximadament la sèrie harmònica $f, 2f, 3f, \dots$. En els instruments de columna d'aire aproximadament cilíndrica –com és el cas del clarinet i de les trompetes–, les freqüències de ressonància formen la sèrie harmònica imparell: $f, 3f, 5f, \dots$

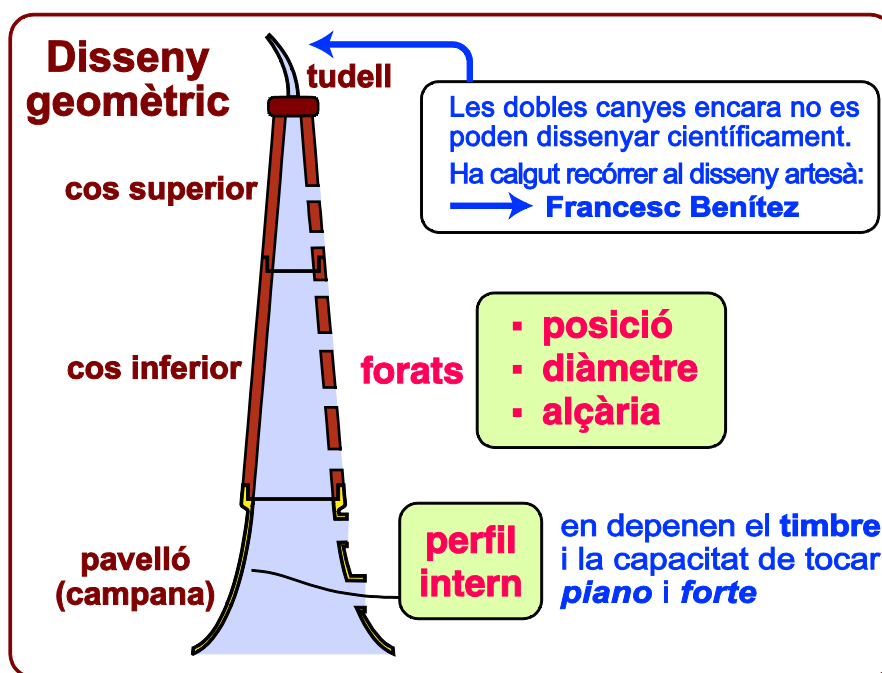
Si el ritme de tancament de la canya –i per tant de producció de les depressions que tenen el paper d'empentes– coincideix amb el d'una ressonància, aquesta passa a oscil·lar amb gran amplitud, amb la qual cosa es reforça el so, i es reforça i es fa més estable la vibració de la canya.

En les xeremies la primera ressonància per a cada digitació controla l'afinació de les notes del primer registre, i la segona ressonància –amb freqüència aproximadament doble– controla l'afinació de les notes del segon registre, que sona a l'octava del primer.

Si el ritme de vibració d'una ressonància és el doble, triple, etc. del de tancament de la canya, també se'n reforça la vibració –és com si apliquéssim l'empenta al gronxador cada dues, tres, ... oscil·lacions–. És a dir, diverses ressonàncies de la columna d'aire poden col·laborar per enriquir el so en harmònics. Cal que tinguin les freqüències relacionades harmònicament, és a dir, que formin part de la sèrie $f, 2f, 3f, \dots$

Què ha calgut fer i què s'ha aconseguit?

El disseny geomètric de la columna d'aire ha implicat determinar el perfil intern de l'instrument en les diverses parts –tudell –on es fixa la canya-, els 2 cossos intermedis de fusta i el pavelló metàl·lic– i determinar la posició, diàmetre i alçària dels forats.



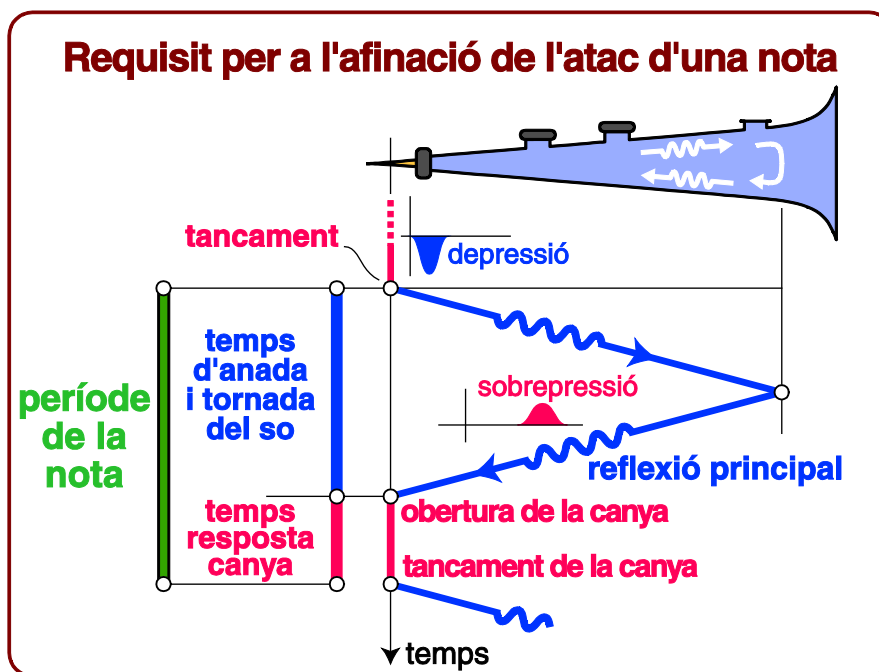
El perfil intern és l'element que planteja el gran repte perquè és decisiu en el "timbre" i en la capacitat de l'instrument per tocar *piano* i *forte*. A més, modificar el perfil interior no és el mateix que modificar la posició i mida dels forats: cal construir un nou joc de mandrins –un per al tudell, dos per buidar els dos cossos de fusta i un per a repulsar el pavelló metàl·lic –o campana–, que són elements de cost elevat. Una vegada es té un perfil adequat sempre és possible establir el conjunt de posicions i mides dels forats per fer les notes.

El perfil va ser dissenyat de manera que, per a les digitacions de les notes més greus, les tres freqüències de ressonància més baixes es trobessin en una relació propera a 1, 2 i 3. Les desviacions precises van ser trobades a partir de mesures fetes en *tenores* de gran qualitat, com les Catroi –o Soldevila– considerades els *Stradivarius* de les *tenores*.

Pel que fa a les dobles canyes, encara no es poden dissenyar científicament. Ha calgut recórrer al disseny artesà, per al qual hem tingut la col·laboració inestimable de Francesc Benítez, reconegut expert en la construcció de canyes per a diversos instruments musicals.

Per a determinar la posició i mida dels forats l'estratègia a seguir és doble. Cal garantir l'afinació de l'atac de les notes, però també l'afinació de les notes mantingudes.

Pel que fa a l'afinació de l'atac, el requisit és l'il·lustrat a la figura:



El període ha de coincidir amb el temps d'anada i tornada associat al forat obert corresponent, més el temps de resposta de la canya fins a tancar del tot després d'arribar la reflexió. Aquest temps de resposta és pràcticament igual a una mil·lèsima de segon per a les notes del primer registre de la *tenora*. En el càlcul del temps d'anada i tornada, la ubicació precisa de l'indret de la reflexió es veu influïda pel diàmetre i alçària del forat. La velocitat de propagació del so en els tubs cònics és la mateixa que la del so a l'aire lliure.

Per garantir que es mantingui afinada quan la nota es manté, cal fer atenció a les freqüències de ressonància. Cal imposar que: la freqüència de la primera ressonància per a cada digitació del 1r registre sigui adequadament propera a la de la nota, i que la freqüència de la segona ressonància per a cada digitació del segon registre sigui adequadament propera a la de la nota. Per diverses raons hi ha una desviació entre la freqüència de la ressonància que controla les notes d'un registre i la freqüència de la nota corresponent.

Les desviacions adequades, inicialment obtingudes a partir de mesures en tenores considerades de gran qualitat, van ser finalment establertes per la condició d'afinació de les notes mantingudes.

El càlcul i el mesurament de les freqüències de ressonància, que són l'eina fonamental de disseny emprada, presenta el doble avantatge de la gran precisió en el càlcul i en l'amidament, junt amb la simplicitat del mètode experimental.



En aquesta imatge es veu a Sergi Soler –responsable del component experimental dels dos programes de recerca– i Jordi Campos –tècnic acústic i tenorista, que també formà part de l’equip de recerca– mesurant les freqüències de ressonància d’un prototip de *tenora*.

He de reconèixer que per portar a terme aquests programes de recerca vaig tenir la gran sort de gaudir d’un extraordinari equip multidisciplinari –presentat a l’ANNEX– que va reunir experts dels àmbits científic, musical i de la construcció d’instruments. Sense la participació entusiasta i competent de tot l’equip, la *tenora* millorada i la *barítona* no haurien estat possibles. A tots ells el meu més profund agraïment.

Fent balanç de resultats, la *tenora millorada* va ser molt ben valorada en afinació, timbre, espontaneïtat i marge dinàmic, en la *Trobada de tibles i tenores* que es va celebrar a l'IEC el gener d'aquest any. I la *barítona* ha estat acceptada pels músics com de la família de les xeremies de la *cobla*, i ja va fent camí en les seves mans. Aquest era el gran repte!

Com a enginyer ha estat un goig cloure d'aquesta manera una enriquidora incursió en els àmbits de la Música i de la Física que ha durat 40 anys!

I fins aquí la nostra feina com a investigadors. Després ha estat el torn dels músics, amb els quals la *barítona* ha anat fent camí aquest darrer any en diversos concerts i s'ha apropiat al món de la cobla, fins arribar al concert al Pati de l'Institut d'Estudis Catalans del passat 18 de setembre amb la cobla La Principal del Llobregat, passant, entre altres, pel Concert de Fi de Curs de Música Tradicional de l'ESMUC, el concert de presentació a pati de l'IEC –amb un grup de cinc instrumentistes que incloïa bateria i contrabaix i un programa amb obres d'àmbits musicals molt diversos-, el Concert de Cap d'Any de TV3 amb l'Orquestra Filharmònica de Catalunya en el qual participà com a solista en el "*Tango*" d'Isaak Albènic, i, més recentment, un concert a Ceret per a quatre xeremies de la cobla amb motiu del *Dia del Joglar*.

Què hem aconseguit ?

TENORA millorada

a la "**Trobada de tibles i tenores**"
(IEC, 25 de gener de 2014)
va ser molt ben valorada en →

- afinació
- timbre
- espontaneïtat
- marge dinàmic

BARÍTONA

- ha estat acceptada pels músics com de la família de les xeremies de la *cobla*, aquest era el gran repte!
- Ja va fent camí de la mà dels músics.

Com a enginyer ha estat un goig cloure d'aquesta manera una enriquidora incursió en els àmbits de la Música i de la Física que ha durat 40 anys!

En el decurs d'aquest trajecte, Jordi Campos ha adaptat convenientment a la barítona un pavelló de clarinet baix que millora la radiació del so, i fa que l'instrumentista el senti més bé, i Francesc Benítez n'ha anat millorant les canyes.

D'altra banda, un nombre creixent de músics han participat en la composició i arranament de peces per a la *barítona*, i d'aquesta manera li han obert les portes a la música del nostre país. L'Institut d'Estudis Catalans els agraeix profundament a tots ells la feina que han fet.

I ja van fent camí

Concert de Fi de Curs de Música Tradicional a l'ESMUC
(13.06.2013)



Concert de Cap d'Any de TV3
(1.01.2014)



BIBLIOGRAFIA

Agulló J (2014) *Física i enginyeria en el disseny d'instruments musicals*. Memòries de la Reial Acadèmica de Ciències i Arts de Barcelona. 3^a Època Núm. 1035, Vol. LXV Núm.8. pp.367-414. ISBN: 0368-8283

Agulló J (2014) *La barítona un nou company de la tenora i el tible dissenyat científicament*. Sonograma Magazine, Núm 02211 (29.01.14). ISSN 1989-1938. Revista Catalana amb Accés Obert www.sonograma.org

Agulló J (2014) *La tenora i la barítona de l'IEC, port d'arribada d'una llarga travessia*. Trobada de tibles i tenores, 25 de gener de 2014, IEC

Agulló J (2013) *La barítona de l'IEC, un nou instrument dissenyat amb base científica*. Discurs en el concert de presentació de la barítona. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona (19.09.13)

Agulló J (2010) *Instruments musicals i ciència. Una vella relació que està canviant en les últimes dècades*. El Butlletí de l'IEC, secció Opinió Núm. 143, juny 2010. ISSN 2013-4630. www.iec.cat/butlletí/143/opinió.htm

Agulló J (2007) *La tenora és un instrument que ha despertat una forta curiositat i admiració*. El Butlletí de l'IEC, secció Actualitat – Protagonistes del Centenari 1907-2007. Entrevista en el marc del International Symposium on Musical Acoustics (ISMA). Núm 107 ISSN 2013-4630. www.iec.cat/butlletí/107/Agullo.htm

Agulló J (1995) *L'acústica dels instruments musicals en la darrera dècada* Arxiu de les Seccions de Ciències, Institut d'Estudis Catalans, Vol. 100, pp. 487-499 (12.95) ISBN: 84-7283-298-8

Agulló J, Cardona S, Barjau A (1985) *Introducció a l'acústica de la tenora. Part II* Butlletí de la Societat Catalana de Ciències Físiques, Químiques i Matemàtiques, 2a època, Vol. VI, No. 2, pp. 153-172.

Agulló J, Cardona S, Sau A (1981) *Introducció a l'acústica de la tenora. Part I*. Butlletí de la Societat Catalana de Ciències Físiques Químiques i Matemàtiques, 2a època, Vol. I, No. 4, pp 233-253. Publicat de nou a Ciència, Fascicle 59, Vol. VI, 1987.

ANNEX. L'equip de recerca.

Joaquim Agulló i Batlle, membre de l'IEC i coordinador del programa. És Dr. Enginyer Industrial i expert en acústica musical.

Ana Barjau i Condomines, Dra. en Física i experta en acústica musical. La seva tesi doctoral "*Contribució a l'estudi dels instruments de canya de la cobla*" va ser una primícia mundial en simular el funcionament d'una xeremia en el domini temporal. En l'àmbit dels instruments de canya, fins aleshores només s'havia portat a terme la simulació en el domini temporal del *clarinet*, de complexitat molt inferior. Com a codirectora dels dos programes de recerca, va ser la responsable dels models i algorismes matemàtics.

Sergi Soler i Rocasalbas, Enginyer Superior en Electrònica, especialitat Imatge i So, és expert en experimentació acústica. Va ser responsable dels amidaments de la *impedància acústica* dels prototips, a partir dels quals es trobaven les freqüències de ressonància.

Jordi Campos i Temporal, té la doble condició d'acústic i instrumentista de *tible* i *tenora*, i ara també de *barítona*. Enginyer Tècnic en Telecomunicacions, especialitat So i Imatge i Professor superior de xeremia *tible* i *tenora*. Va ser responsable dels càlculs de la *impedància acústica* de la columna d'aire dels dissenys dels prototips, i va participar en l'avaluació musical dels prototips de *tenora* i de *barítona*.

Ester Cierco i Molins, Enginyera Tècnica en Telecomunicacions, especialitat So i Imatge. Va ser responsable de l'optimització del perfil intern de la columna d'aire de la *tenora* i de la *barítona* per mitjà, entre altres, d'*algorismes genètics*.

Jaume Vilà i Figueras, Instrumentista de *tenora*, ha estat tenor solista en cobles tan prestigioses com *La Principal de la Bisbal* i *Principal del Llobregat*. Assessor en la recerca de l'acústica de la *tenora* portada a terme durant els darrers 40 anys. Va participar en l'avaluació musical dels prototips de *tenora* i de *barítona*.

Pau Orriols i Ramon, *Lutier* professional d'instruments de vent de fusta, de prestigi internacional en la construcció d'oboès barrocs. Va ser el responsable de la construcció dels prototips de *tenora* i de *barítona*.

Alfons Sibila i Fíguls, *Lutier* de *tibles* i *tenores*. Va col·laborar en la construcció dels prototips de *tenora* i de *barítona*.

Francesc Benítez i Campos, intèrpret de *tible*, *saxòfon* i *fagot*. Reconegut constructor de dobles canyes. Va intervenir decisivament en el disseny de les canyes per a la *barítona*.