

2. Com han de ser els instruments musicals?

Els instruments musicals han de fer vibrar l'aire del seu entorn en l'àmbit freqüencial dels sons audibles –entre els 20 Hz i els 20kHz– tot brindant a l'instrumentista la possibilitat d'expressió musical per mitjà de sons musicals de característiques acústiques adequades. L'opció més a l'abast és la utilització d'un sistema amb elements mecànics que vibrin a les freqüències adequades i que tingui acoblament amb l'aire. Com que l'instrumentista no pot generar directament amb les seves mans vibracions amb freqüències dels sons de l'àmbit audible, la freqüència de vibració l'ha d'aportar el propi instrument. En l'àmbit estrictament mecànic, que ha estat històricament l'àmbit on s'han desenvolupat els instruments musicals fins l'arribada, al s. XX, dels instruments electrònics, els instruments musicals s'han fonamentat en sistemes vibratoris amb freqüències pròpies adequades i esmorteïment feble. Sovint els paràmetres mecànics del sistema són variables sota l'acció de l'instrumentista, cosa que li permet obtenir diversos tons amb un mateix sistema vibratori i variar-ne les característiques acústiques. Els quatre règims vibratoris –lliure, forçat, autoexcitat, i de variació paramètrica– intervenen en els instruments musicals, per bé que el règim lliure i l'autoexcitat són els més destacats, en tant que el forçat i el de variació paramètrica juguen un paper marginal.

2.1 INSTRUMENTS BASATS EN EL RÈGIM VIBRATORI LLIURE.

El sistema mecànic vibratori elemental d'un sol grau de llibertat (figura 2.1) té una freqüència de vibració, així com un ritme de decaïment de la vibració, que són característics del sistema i que depenen dels seus paràmetres mecànics d'inèrcia, rigidesa i esmorteïment. En règim vibratori lliure, l'energia li és comunicada amb la introducció de les condicions inicials de posició i velocitat. En l'àmbit dels instruments musicals, la condició inicial de desplaçament –*pinçament*– és emprada en alguns instruments de corda, en tant que la de velocitat està associada als de *percussió*, inclòs el cas de percussió de cordes com en el piano.

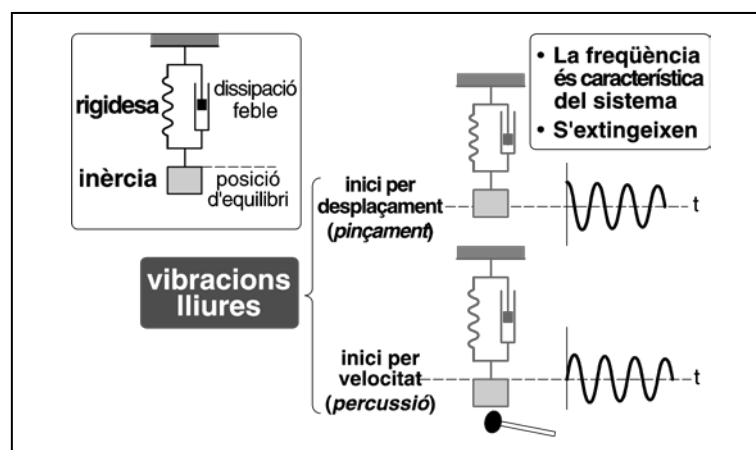


Figura 2.1 El sistema vibratori elemental. Les vibracions lliures.

En el cas d'un sistema vibratori continu, de caràcter lineal per a les seves petites vibracions, el seu comportament vibratori està descrit pel seu conjunt de modes propis de vibració, cadascun dels quals actua com a sistema vibratori d'un sol grau de llibertat amb una freqüència pròpia característica (Figura 2.2).

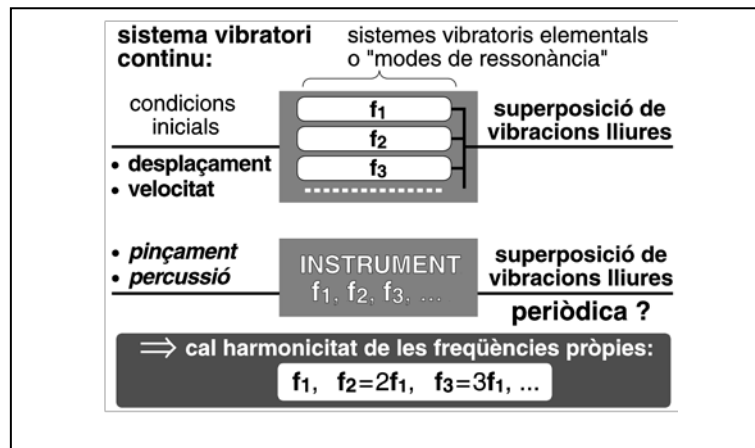


Figura 2.2 Instruments musicals de règim vibratori lliure.

Pel que fa a l'escorament, com que el pas a les coordenades dels modes propis en absència d'escorament pot no diagonalitzar la matriu associada a l'escorament, en principi hi ha acoblament dels modes propis, condició poc rellevant en el cas dels instruments musicals. La vibració lliure és superposició de les vibracions dels diversos modes propis. Tindrà el caràcter periòdic demanat als sons musicals? Per tal que el tingui, cal que les freqüències pròpies siguin harmòniques, és a dir, que siguin múltiples d'una freqüència fonamental. Aquesta és la gran exigència que trobarem també en els instruments basats en el règim vibratori autoexcitat i que fa de les cordes i de determinades columnes d'aire els elements vibratoris per excel·lència en els instruments musicals.

2.2 CAS DEL RÈGIM VIBRATORI FORÇAT.

En el sistema vibratori elemental d'un sol grau de llibertat (Figura 2.3) amb escorament feble sotmès a una força sinusoidal, el règim vibratori permanent –una vegada extingit el règim transitori– és sinusoidal de la mateixa freqüència que la de la força. L'amplitud de vibració, però, és funció d'aquesta freqüència i, per a escoraments febles, passa per un màxim quan coincideix, molt aproximadament, amb la pròpia del sistema –pic de ressonància–.

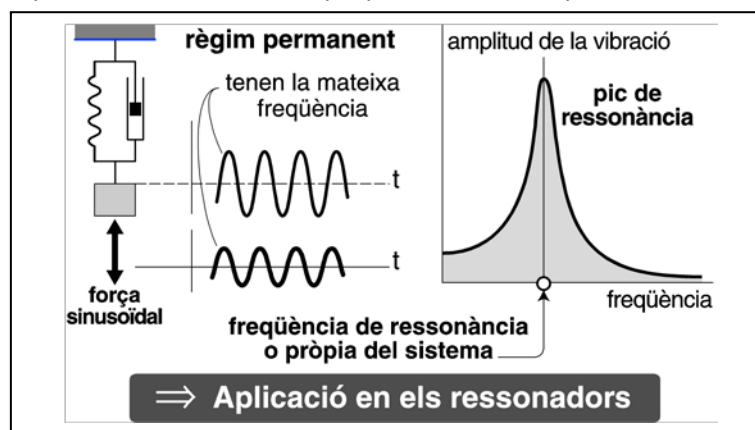


Figura 2.3 Les vibracions forçades. La ressonància.

Com ja s'ha dit, la limitació freqüencial de l'actuació directa de l'instrumentista no permet fonamentar els instruments musicals en el règim forçat, per bé que, en primera aproximació, sigui emprat de manera auxiliar en el cas d'elements vibratoris amb acoblament feble amb l'aire, com és el cas de les cordes, per tal que les seves vibracions siguin trameses de manera efectiva a l'aire en forma de so. La vibració d'aquests elements es fa actuar en elements que tenen un acoblament adequat amb l'aire: els *ressonadors* (Figura 2.4).

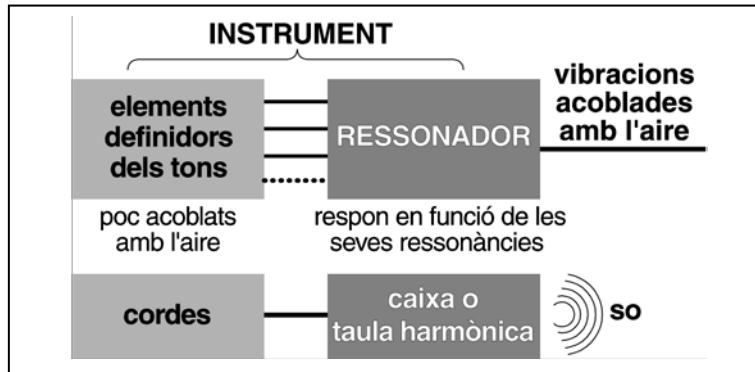


Figura 2.4 Les vibracions forçades en els instruments musicals. Els ressonadors.

Les ressonàncies d'aquests elements han de tenir freqüències adequades i pics de ressonància no excessivament intensos per no transmetre a l'aire, com a so, les vibracions dels elements vibratoris de manera massa diferent segons sigui la seva freqüència. Aquesta descripció, diferenciant els elements vibratoris i els ressonadors en un instrument, és una simplificació: en realitat hi ha un únic sistema vibratori continu, que té el seu conjunt de freqüències pròpies. És cert que n'hi ha que són properes a les dels elements vibratoris, però no coincideixen exactament amb les que tindrien si els ressonadors fossin infinitament rígids. La dinàmica vibratòria dels ressonadors afecta la seva dinàmica. Elements vibratoris i ressonadors actuen acoblament.

2.3 INSTRUMENTS BASATS EN EL RÈGIM VIBRATORI AUTOEXCITAT.

En el cas del règim autoexcitat, l'energia per fer vibrar el sistema es comunica tot al llarg de la vibració –no a l'instant inicial com en el cas del règim lliure– però sense imposar cap ritme temporal. Es posa una font d'energia a disposició del sistema vibratori, i és aquest qui per mitjà de la seva vibració controla el flux energètic d'entrada (Figura 2.5).

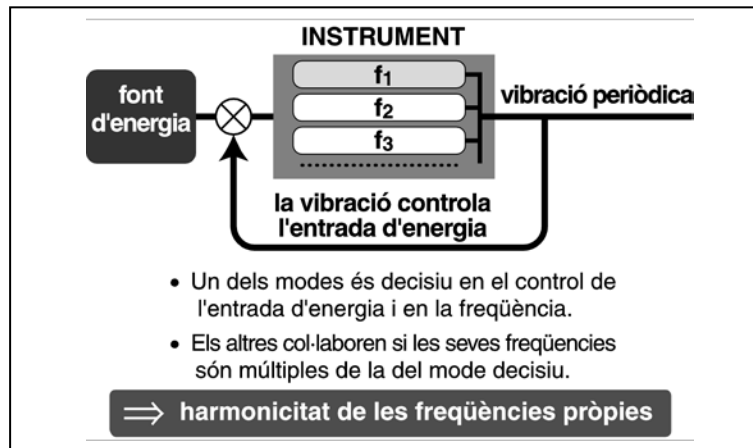


Figura 2.5 Els instruments musicals de sons mantinguts. L'autoexcitació.

El fenomen físic per mitjà del qual la vibració del sistema controla l'entrada d'energia, que s'anomena *mecanisme d'autoexcitació*, és de característiques no lineals i sol condicionar que un dels modes propis del sistema sigui decisiu i imposi una freqüència de vibració pròpia a la seva. Si els altres modes tenen freqüències múltiples de la d'aquest, poden col·laborar en el procés. Novament apareix la conveniència de l'harmonicitat de les freqüències pròpies del sistema vibratori de l'instrument. En ser periòdica la vibració, verifica la propietat essencial dels sons musicals. Els instruments de règim autoexcitat produeixen sons musicals mantinguts.

En determinades circumstàncies, dos modes propis de freqüències no harmòniques poden pugnar pel control de l'autoexcitació sense que cap dels dos l'acabi controlant. El so produït no és periòdic, presenta fluctuacions erràtiques. Sovint correspon a sons defectuosos –“galls”– per bé que d'alguns d'aquests sons se n'ha fet un ús musical en el *jazz* i en la música contemporània, són els anomenats sons *multifònics*.

En els instruments basats en el règim autoexcitat tenim, doncs, que la seva vibració, per una banda, actua sobre el mecanisme que regula l'entrada d'energia i, per l'altra, es trameta a l'exterior per mitjà de l'acoblament amb l'aire. Però l'acoblament amb l'aire permet també que les vibracions de l'aire actuïn sobre el sistema vibratori de l'instrument i puguin tenir una influència en l'autoexcitació. Aquest fet fonamenta la propietat de l'autosincronisme (Figura 2.6) dels sistemes autoexcitats, particularment important en el cas dels instruments musicals: si dos instruments –de règim autoexcitat– propers emetrien per separat dues notes molt properes, la influència mútua en l'autoexcitació fa que se sincronitzin i passin a funcionar com un instrument únic.

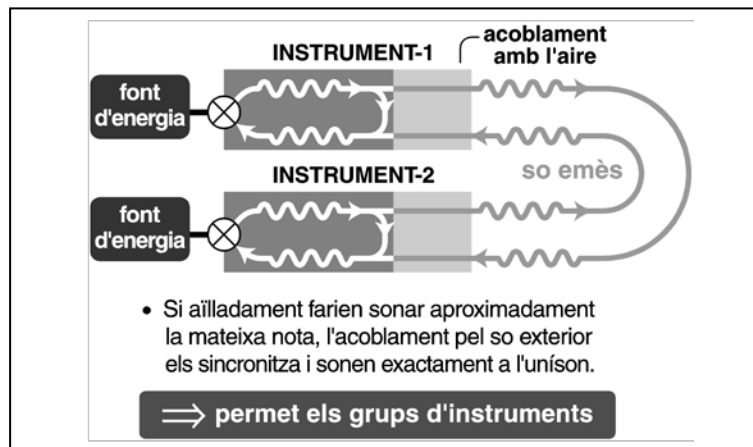


Figura 2.6 L'autosincronisme en els instruments musicals de règim vibratori autoexcitat.

Aquesta propietat és la que permet els grups instrumentals en l'orquestra, grups formats per instruments de règim autoexcitat com són els d'arc i els de vent. Aquests grups es van fer particularment necessaris amb l'esdeveniment de l'orquestra simfònica, que requereix gran volum de so. Cal tenir en compte que doblar el nombre d'instruments d'un grup ocasiona un increment de només 3 decibels en la intensitat sonora.

2-4 CAS DE LA RESSONÀNCIA PARAMÈTRICA.

Un mode propi d'un sistema vibratori pot ressonar quan un paràmetre que l'afecta varia periòdicament a una freqüència que li és propera, sense que aquesta variació paramètrica impliqui un desplaçament del sistema a partir de la posició d'equilibri i, per tant, una excitació. Aquest règim vibratori, tot i no fonamentar cap instrument musical, hi pot ser present marginalment. Aquest seria el cas, com ara, d'un conjunt de cordes que incidissin perpendicularment en un ressonador. Les vibracions del ressonador no constituïrien una excitació per a les cordes però, en variar periòdicament la tensió d'aquestes, podria induir ressonàncies paramètriques.

2-5 ELS ELEMENTS VIBRATORIS PER EXCEL·LÈNCIA EN ELS INSTRUMENTS MUSICALS.

La condició d'harmonicitat de les freqüències pròpies –que és estrictament necessària en els instruments de règim lliure si les seves vibracions han de ser rigorosament periòdiques, i convenient en els de règim autoexcitat per tal que hi hagi col·laboració modal amb el mode que controla l'autoexcitació– és molt exigent i hi ha pocs elements vibratoris que la verifiquin, entre els quals les cordes i les columnes d'aire són els més rellevants (Figura 2.7). Les freqüències de ressonància de les vibracions transversals d'una corda –idealitzada com a perfectament flexible– tensada entre dos punts fixos, formen una sèrie harmònica completa

$f_1, 2f_1, 3f_1, \dots$

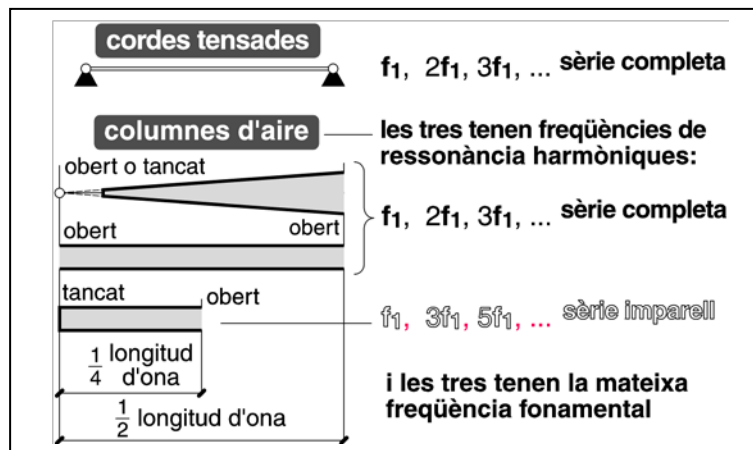


Figura 2.7 Els elements vibratoris adequats per excel·lència.

Tenen també freqüències de ressonància que formen un sèrie harmònica completa les vibracions longitudinals de columnes d'aire cilíndriques amb els dos extrems oberts –com és aproximadament el cas de les flutes i la majoria dels tubs d'orgue– i les còniques amb poc truncament, amb l'extrem gran obert i el petit obert o tancat –cas de les xeremies i cornetes–. Per a les columnes d'aire cilíndriques amb un extrem obert i un de tancat, les freqüències de ressonància formen una sèrie harmònica imparell $f_1, 3f_1, 5f_1, \dots$ –cas del clarinet i de les trompetes–.