

Capítol 6

CONCLUSIONS

El treball de recerca que s'ha realitzat ha consistit a estudiar, en el domini temporal, el mecanisme d'autoexcitació de bisell i obtenir un model complet dels instruments que generen el so mitjançant aquest mecanisme.

Partint de l'esquema base dels instruments autoexcitats, proposat per McIntyre, Schumacher i Woodhouse (1983), s'han estudiat, per una banda, l'element no lineal, que és el mecanisme de bisell (capítol 2), i per l'altra, l'element lineal o passiu, que és el tub (capítols 3 i 4).

En la descripció del mecanisme de bisell s'han utilitzat els resultats de Bickley (1937) pel que fa a la descripció del doll, i s'ha proposat un nou model de càlcul per a la deflexió del doll. Aquest model, que s'ha expressat com una integral de convolució, proposa una interacció entre el doll i el camp acústic de tipus viscos i descriu, de manera més realista que els models precedents, el moviment del doll al llarg de la finestra. Per a la generació del doll s'han implementat dos models de bufada, d'activació ràpida i d'activació lenta, que pretenen simular, respectivament, l'accionament mecànic o manual d'aquests tipus d'instruments. El model proposat, però, permet una implementació en temps real amb els valors de la velocitat de bufada obtinguts de mesures reals.

La deflexió del doll en arribar al bisell ha servit de punt de partida per calcular les fonts de volum i de quantitat de moviment responsables de la generació d'ones estacionàries dins el tub de l'instrument. S'ha comprovat que, tal com havia posat de manifest Coltman (1976, 1981), la injecció de volum és predominant respecte de la transferència de quantitat de moviment. Una altra de les innovacions proposades en aquest treball ha estat la descripció de la interacció entre el doll i la columna d'aire. Aquesta s'ha modelitzat amb el càlcul de l'increment de velocitat que experimenten les ones propagatives que viatgen en ambdós

sentits dins el tub. Aquests increments s'han introduït dins el tub de manera estesa d'acord amb el concepte de regió de mescla proposada inicialment per Elder (1973). La novetat en aquest aspecte és que se n'ha fet una formulació en forma d'integral de convolució.

Per a la descripció de la columna d'aire s'han presentat dos mètodes: el mètode de la multiconvolució i el mètode de les matrius de transferència.

El mètode de la multiconvolució, proposat inicialment per Martínez (1997), permet calcular la resposta temporal d'una columna d'aire a partir de la consideració de les diferents reflexions i transmissions que experimenten les ones propagatives que viatgen en ambdós sentits de la columna d'aire quan incideixen en una discontinuïtat. Les formulacions de les funcions de reflexió elementals i de l'esmoreïment sofert per les ones propagatives en els trams entre discontinuïtats permeten un càlcul recurrent de la funció de reflexió global de la columna d'aire. Aquest mètode de la multiconvolució s'ha millorat respecte del mètode original en el sentit de permetre la localització arbitrària de les discontinuïtats (Cardona, Barjau i Puig, 1992*b*; Barjau, Keefe i Cardona, 1999).

El mètode de les matrius de transferència (Munjal, 1987; Jordi, 1999) permet calcular la matriu de transferència global d'una columna d'aire que relaciona, en el domini freqüencial, dues variables d'estat –habitualment pressió i velocitat– entre els dos extrems de la columna, a partir de les matrius de transferència elementals de les discontinuïtats i dels trams entre discontinuïtats. Aquesta matriu de transferència global, juntament amb la descripció de l'extrem lliure de la columna d'aire mitjançant la impedància d'extrem (Rayleigh, 1896) o la funció de reflexió freqüencial (Levine i Schwinger, 1948; Martínez, 1987), permet obtenir la funció de reflexió global de la columna d'aire en el domini freqüencial. Finalment, s'obté la resposta temporal de la columna d'aire mitjançant la transformada de Fourier.

El fet de presentar dos mètodes per descriure la columna d'aire ha estat motivat pel fet que el mètode de la multiconvolució presentava problemes d'inestabilitat numèrica per a un tub amb un nombre gran de discontinuïtats. Aquest problema detectat en el mètode de la multiconvolució pot ser objecte d'un futur estudi.

Els dos mètodes de descripció de la columna d'aire parteixen de les equacions de l'acústica i, per tant, estan plantejats per a variacions de la pressió i la velocitat sense component continu. En l'exemple d'un tub amb els dos extrems oberts s'ha posat de manifest que la funció de reflexió d'extrem obert filtra el component continu de la pressió però dobla el component continu de la velocitat. Apareix, per tant, un creixement irreal de la velocitat que circula dins el tub. En modelitzacions d'instruments de bisell prèvies a l'estudi presentat es filtra el senyal d'entrada al tub per evitar els problemes que planteja l'existència del component continu. Això resta realisme al model, ja que l'existència d'un component continu de cabal que circula des del bisell fins a l'extrem lliure és evident en aquest tipus d'instruments. La solució que s'ha proposat consisteix a realitzar un doble càlcul. Per una

banda, calcular les ones propagatives de pressió amb les funcions de reflexió ja existents i, per altra banda, calcular les ones propagatives de velocitat amb unes noves funcions de reflexió que en filtren el component continu. Això fa que, per a baixes freqüències, la pressió i la velocitat deixin d'estar relacionades per la impedància característica.

El model complet d'instrument de bisell s'ha aplicat al cas d'un tub d'orgue i al d'una flauta de bec contralt (capítol 5).

En el cas del tub d'orgue s'ha observat que variant la velocitat de sortida del doll s'aconsegueix que les ones establertes estiguin controlades pel primer, segon i tercer mode de la columna d'aire. Els valors de la velocitat o pressió de bufada per als quals es produeix el canvi de registre són, en comparació amb resultats obtinguts en estudis previs, més baixos. També s'ha observat, en les simulacions realitzades, l'existència de components de baixa amplitud no harmònics del so fonamental. Aquesta presència, fruit de la no-linealitat del sistema, fa pensar en l'aparició de fenòmens característics de dinàmica caòtica.

En el cas de la flauta de bec contralt s'han realitzat simulacions amb tots els forats tapats (Fa 4) i diferents velocitats de bufada. Aquestes simulacions han permès observar el fenomen de l'eixamplament de la distància entre harmònics previst per diversos autors (Benade, 1959 i 1976; Coltman, 1990) per a tubs de les característiques dels de les flautes de bec. També s'han realitzat simulacions amb les digitacions de les notes La 4, Re 5 i Fa 5 del primer registre i la nota Do 6 del segon registre. En totes aquestes la freqüència de les notes obtingudes està dins el rang de ± 33 cents respecte de l'afinació temperada corresponent. En la simulació de la nota Do 6 del segon registre és especialment remarcable la presència d'oscil·lacions associades al primer mode en el transitori d'atac. La utilització del forat de registre fa que sigui el segon mode el que acaba controlant el règim vibratori. Finalment, s'han comparat els valors de la pressió de bufada utilitzats en les simulacions amb els obtinguts experimentalment per Martin (Fletcher i Rossing, 1991). S'observa que els valors de la pressió de bufada de les simulacions estan per sota dels valors que Martin indica com a valors de bufada per als quals s'obté la nota amb afinació exacta. La dificultat per escollir el valor de la pressió de bufada idònia per a l'obtenció de cadascuna de les notes, tal com es fa de manera intuïtiva en fer sonar una flauta de bec real, la dificultat per ajustar els diferents paràmetres del model i el fet que la flauta simulada no és exactament la utilitzada per Martin en els seus experiments expliquen aquestes diferències. Això no resta, però, realisme al comportament global de les simulacions realitzades.