

BASES ACÚSTIQUES DE LA VEU – ACÚSTICA DE LA VEU CANTADA
Ponència al II Congrés de l'ACPC
Badalona, 9 de febrer de 2008

M. Pilar Murtró Ayats. Llicenciada en Medicina i Cirurgia, foniatra i màster en logopèdia. Professora de la Fundació Universitària del Bages. Centre FONOLOGOS

Aquest estudi té com a objectiu oferir una mirada sobre els aspectes més rellevants de l'acústica del cant a partir de les troballes publicades des del segon terç del segle passat i fonamentalment, els darrers 30 anys.

Entenent que no es disposa aquí del temps ni de l'espai per revisar en profunditat els fonaments de física acústica ni és aquest el propòsit d'aquesta comunicació, s'ha procurat explicar molt breument els punts bàsics de major utilitat per als professionals de la veu.

Les imatges d'anàlisi acústica de vocalitzacions de cantants amb qualificació vocal i estil diversos s'han obtingut amb els programes Multispeech i MDVP (Multidimensional Voice Program) de Kay Elemetrics Co.

La veu és el resultat de la conversió de l'energia aerodinàmica en energia acústica (Titze, 2001) quan el flux d'aire pulmonar travessa i fa vibrar els replecs vocals (figura 1)

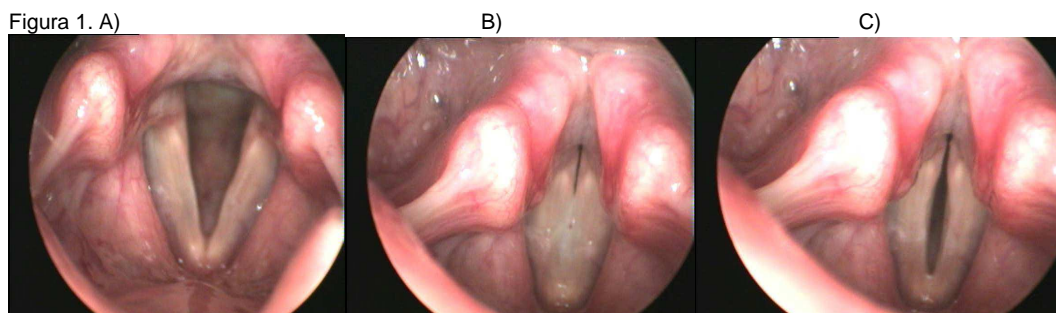


Figura 1. Video-laríngo-estroboscòpia. Vista superior de la glotis en respiració (A) i en fonació (B i C)
 A. Respiració. Glotis oberta. Replecs vocals separats. L'aire passa lliurement.
 B. Fonació. Comença el cicle vibratori. Glotis tancada. Fase tancada del cicle vibratori. L'aire, per sota dels replecs, augmenta de pressió fins separar-los.
 C. Fonació. Glotis tancada. Fase oberta del cicle vibratori. L'aire travessa la glotis i vibra.

L'aire procedent dels pulmons experimenta un augment de pressió per sota de la glotis quan la troba tancada per acció de la musculatura laríngia. És la pressió subglòtica (Psg) que, quan és prou forta per vèncer la resistència (força d'adducció) dels replecs vocals, els fa obrir i l'aire fuig cap al tracte vocal (Fant, 1960), fent augmentar la pressió del tracte vocal (Pt) o pressió supraglòtica (Rothenberg, 1981,1983), (Rothenberg i Mahshie, 1986). S'inicia així el cicle vibratori dels replecs vocals (figura 2)



Figura 2. Les fletxes vermelles representen la força d'adducció a nivell glòtic i les blanques el flux d'aire transglòtic. En un primer moment (A) la Psg augmenta per sota els replecs vocals fins que venç la força d'adducció i els comença a separar (B). La Pt comença a augmentar i al mateix temps, la Psg, en no trobar resistència, comença a disminuir.

El punt de màxim flux d'aire no arriba al primer moment sinó que, per inèrcia, es retarda una mica (Rothenberg, 1981). Mentre la glotis obre i el flux creix, la pressió supraglòtica (P_t) és positiva i es produeix un augment de pressió transglòtica que ajuda a mantenir separades les cordes (Titze, 2001).

Però ara la P_{sg} , en no trobar resistència, ja ha devallat i la glotis comença a tancar però a mesura que tanca, la P_{sg} torna a augmentar. Ara el flux d'aire que ve dels pulmons, en trobar més petita la fenedura glòtica, creix en velocitat intentant mantenir el mateix volum però la inèrcia de l'aire en passar, provoca una davallada molt ràpida de la P_t . Això fa reduir la pressió transglòtica i ajuda al tancament sobtat dels replecs vocals i a la brusca interrupció del flux (de gran importància com es veurà més endavant) (Fant, 1979), (Rothenberg, 1981, 1983), (Sundberg, 1987), (Baken i Orlikoff, en premsa). La pressió subglòtica necessitarà vèncer de nou la resistència dels replecs vocals i el cicle vibratori torna a començar (figura 3)

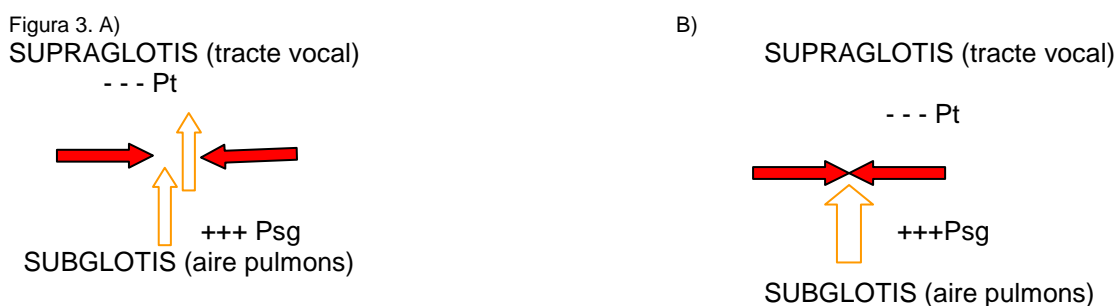


Figura 3. Les fletxes vermelles representen la força d'adducció a nivell glòtic i les blanques el flux d'aire transglotal. Els replecs vocals comencen a tancar (A), la P_{sg} torna a augmentar per sota els replecs vocals, el flux d'aire augmenta la velocitat per mantenir-se constant i La P_t disminueix sobtadament per inèrcia del flux provocant el tancament bruscat dels replecs vocals (B). El cicle vibratori torna a començar.

Així doncs, la pressió supraglòtica, interactuant amb la font, ajuda a mantenir la glotis oberta en la fase d'apertura i a tancar-la ràpidament i fortament en la fase de tancament (Titze, 2001).

La continua alternança de fases oberta i tancada de la glotis allibera polsos d'aire successius originant l'ona de so que passarà pel tracte vocal cap als llavis (Fant, 1960). L'anàlisi acústica de la veu permet l'estudi de les variacions d'amplitud i de freqüència dels diferents components d'aquesta ona al llarg del temps. Veurem la seva relació amb el to, el timbre i la intensitat de la veu.

L'ona generada repeteix el mateix cicle a intervals regulars de temps; periòdica, doncs i com tota ona periòdica aconsegueix el Teorema de Fourier: Està formada per una sèrie infinita d'altres ones periòdiques o harmònics. El que s'anomena sèrie harmònica (Gil, 1993), (Bonavida, 1996), (Baken i Orlikoff, 2000) (figura 4)

Figura 4

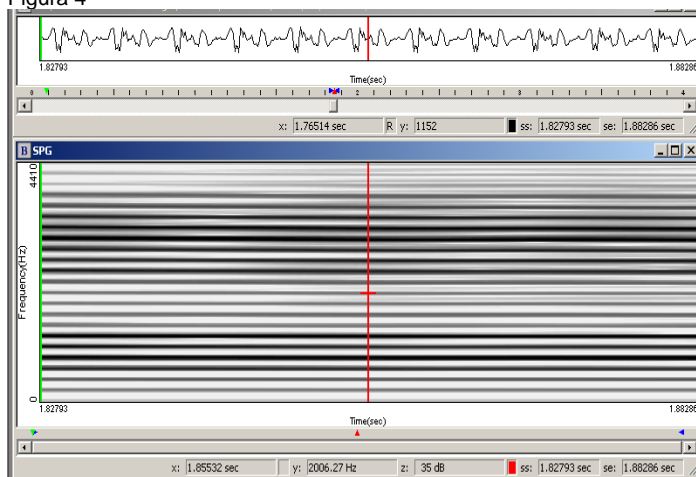


Figura 4. Oscil·lograma i sonograma d'un petit fragment de vocalització (/a/) d'un bariton. Oscil·lograma a la part superior de la imatge. Es pot apreciar la forma, període i amplitud de l'ona o font glòtica al llarg del temps. Sonograma a sota amb harmònics successius a freqüències múltiples de la fonamental (sèrie harmònica). Els de color més intens han resultat amplificats en passar pel tracte vocal. Els més clars, amortits (veure explicació al text).

El primer harmònic és la freqüència fonamental i es percep com a *to* de la veu; el segon té una freqüència doble de la fonamental, el tercer, triple, etc. (Sundberg, 1987), (Gil, 1993), (Bonavida, 1996). Així, si la fonamental és de 200 Hz (el cicle es repeteix 200 vegades per segon) el 10è harmònic tindrà una freqüència de 2000 Hz.

La freqüència fonamental és l'harmònic més potent i els següents tenen menor intensitat a mesura que se n'allunyen. Però l'ona o font glòtica passa a través de les cavitats de ressonància que tenen diferents freqüències pròpies segons la configuració que adoptin en cada moment. Aquestes freqüències reben el nom de formants. Les freqüències formants més interessants del tracte vocal són F1, F2, F3, F4 i F5 (Sundberg, 1987), (Kent, 1992). A partir d'ara la freqüència fonamental s'anomenarà F0 (formant zero)

El tracte vocal actua com un filtre que deixa passar determinades freqüències amplificant-ne unes i amortint-ne d'altres. Aquells harmònics de l'ona de so que coincideixen en freqüència amb alguna de les freqüències formants resultaran amplificats; els harmònics restants resulten amortits (figura 5).

Figura 5

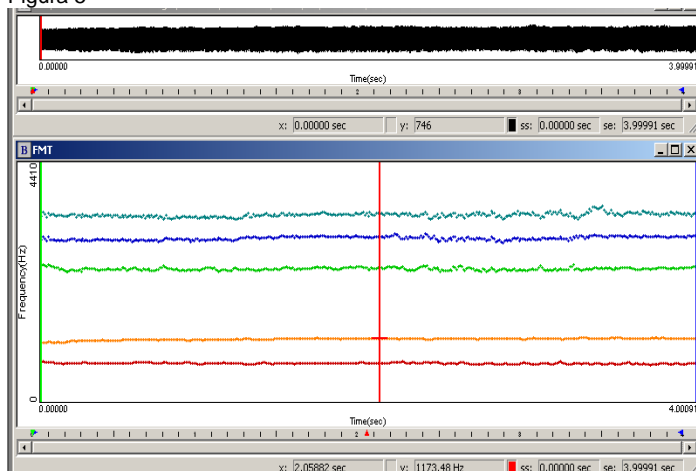


Figura 5. Oscil·lograma i trajectòria de les formants de la mateixa vocal de la figura 4. Oscil·lograma del fragment sencer de la vocalització a la part superior de la imatge. A sota estan representades les freqüències formants del tracte vocal quan el cantant l'ha disposat per produir una /a/. En passar la sèrie harmònica a

través del tracte vocal, excita aquestes ressonàncies. Observi's que coincideixen amb les regions amplificades de la figura anterior.

Per altra banda, quan dues ressonàncies s'apropen, s'amplifiquen mútuament i a l'inrevés. Així, depenent de la relació que estableixin entre elles mateixes les diverses formants, percebrem un determinat *timbre* de veu o *qualitat vocal* (Fant, 1960), (Sundberg, 1987), (Kent, 1992)

D'una formant se'n pot descriure la freqüència, l'amplitud i l'ample de banda. A menor ample de banda, més selectiva és la formant per a un determinat harmònic i es percebrà més clarament. La corba que representa aquestes magnituds (transfer function) il·lustra la transmissió del so a través del tracte vocal (figura 6)

Figura 6

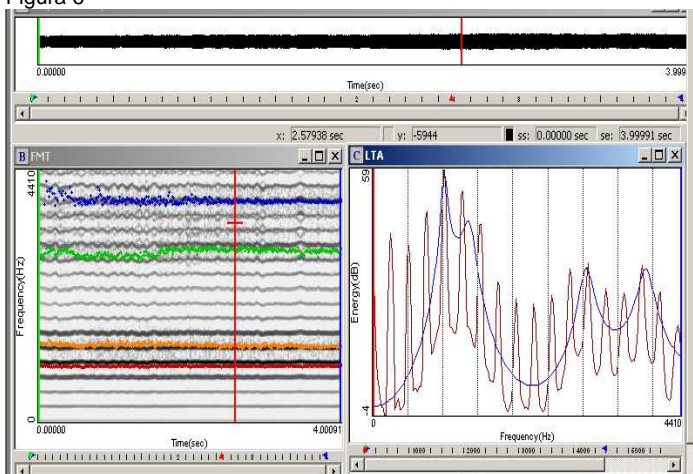


Figura 6. Oscil·lograma d'una /a/ a freqüència de veu parlada d'una mezzosoprano a la part superior de la imatge. Sonograma amb la trajectòria de les formants a la part inferior esquerra. Representació de la funció de transmissió del so (transfer function) a la part inferior dreta. Els pics de color marró representen els harmònics (en gris al sonograma) i els de color blau les formants F1, F2, F3 i F4 en aquest cas (vermell, taronja, verd i blau respectivament al sonograma). S'aprecia que els pics blaus són més aguts (menor ample de banda) quan més selectius són per a un determinat harmònic. La major alçada representa major amplificació.

Les dues primeres formants (F1 i F2) o formants greus determinen el *timbre de la vocal*, permetent distingir de quina vocal es tracta, es a dir, la identificació de la vocal. Les formants agudes (F3, F4, F5) determinen el *timbre vocal*, el color de la veu (Sundberg, 1987), (Kent, 1992) (figura 7)

Figura 7

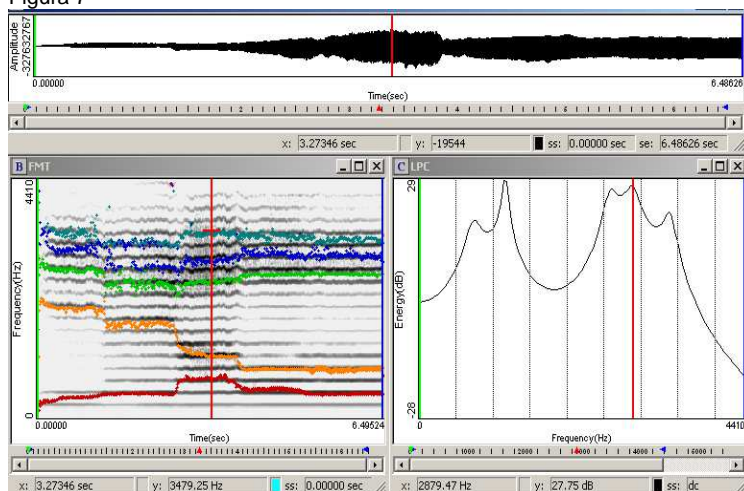


Figura 7. Oscil·lograma, sonograma, trajectòria de les formants i transfer function de la seqüència /i,e,a,o,u/ d'un bariton a freqüència de veu parlada. Observi's que mentre F1 i F2 varien en funció de la vocal, F3, F4 i F5 es conserven estables per mantenir el mateix color de veu.

La freqüència d'aquestes ressonàncies depèn de la morfologia que adopti el tracte vocal a partir de la posició dels articuladors. El nivell d'F1 és inversament proporcional a l'alçada de la llengua respecte al paladar i al grau d'apertura mandibular. Quan més oberta és la vocal, més alta serà la primera formant (figura 8)

Figura 8



Figura 8. Oscil·lograma, sonograma i trajectòria de les formants de la seqüència /i,e,a,o,u/ d'una soprano a freqüència de veu parlada. Observi's màxima separació d'F1 i F2 en el cas de /i/, com varien les freqüències d'aquestes formants amb les diverses vocals.

F2 depèn del grau d'anteriorització o posteriorització de la llengua; quan més anterior, més elevada la formant.

F3 depèn de les dimensions de la cavitat que es formi per davant de l'apex lingual; quan més petita, més aguda la formant.

F4 i F5 varien amb l'amplada i longitud del tracte vocal; quan més curt i estret el tracte, més agudes aquestes formants.

En general, allargar el tracte vocal (protruir llavis, baixar laringe) fa davallar totes les formants enfosquant el color de la veu i escurçar el tracte vocal (retraure comissures labials, pujar laringe) eleva totes les formants produint un timbre més clar (Fant, 1980), (Sundberg, 1987), (Kent, 1992).

En el cant es valora la uniformitat del timbre que resulta de l'estabilitat de les formants; en definitiva, de l'habilitat en mantenir fermament les posicions i relacions dels articuladors.

S'ha parlat anteriorment de la forma en que font glòtica i tracte vocal interactuen tant en el manteniment del flux com en el tancament sobtat de la glotis. El primer fenomen resulta en una davallada del llindar de fonació en afavorir la fase d'apertura (Titze, 1997, 2001) El segon fenomen reforça l'amplitud de tots els harmònics i permet generar l'energia suficient per estimular les freqüències més agudes del ressonador (F3, F4 i F5) i així obtenir una òptima transferència del so (Fant, 1979), (Rothenberg, 1981, 1983), (Sundberg, 1987).

Acústicament parlant, en el cant es persegueixen el baix llindar de fonació (facilitat d'emissió) i l'eficient transferència del so (màxima transmissió amb el mínim esforç)

Es veurà que totes dues depenen de la interacció entre la font glòtica i el tracte vocal: Per una banda, de l'equilibri entre la pressió de l'aire procedent dels pulmons (Psg) i el grau d'adducció dels replers vocals i per l'altra, de la configuració que adopti el ressonador en cada moment de l'emissió (Sundberg, 1974).

Equilibri Psg – Adducció. Per tal que la pressió subglòtica pugui vencer la resistència de la glotis i provocar-ne l'apertura cal que el diafragma estigui actiu i que la força d'adducció cordal estigui en un punt que deixi passar un bon flux d'aire però sense que la glotis perdi la seva fase tancada. És el que Sundberg (1987) anomena *fonació fluida*. Els dos extrems, per excés i per defecte, són *fonació oprimida* i *fonació bufada o fluixa*.

En fonació oprimida passarà poc volum d'aire a molta velocitat. Donat que l'amplitud de la fonamental és directament proporcional al valor màxim de flux transglotal en un període (Sundberg, 1987) i per altra banda, els harmònics aguts depenen de la velocitat del flux, trobarem una fonamental dèbil amb harmònics aguts conservats. El resultat serà una veu brillant però punyent perquè tindrà poca presència d'harmònics greus que depenen de la fonamental.

En fonació fluixa o bufada, pel contrari, potser hi haurà abundant flux transglòtic però serà molt lent; això farà que el tancament de la glotis no sigui sobtat i fort sinó lent i fluix (o que no arribi mai a tancar) amb la qual cosa no s'estimularan les formants agudes. Així veurem que a l'espectre predomina la fonamental i la resta de freqüències decau ràpidament.

La fonació fluida, en tenir quantitat i velocitat de flux adequades, tindrà una qualitat vocal òptima (veure quadre 1)

QUADRE 1

	fonació oprimida	fonació fluida	fonació fluixa
Quantitat flux	+	+++	++++
Velocitat flux	++++	+++	+
Amplitud F0	+	++ / +++	++ / +++
Formants agudes	++ / +++	++++	+
Qualitat vocal	Estrident	òptima	pobre, bufada

Quadre 1. Quantitat i velocitat de flux, amplitud de la fonamental i de les formants agudes i tipus de qualitat vocal. Comparació entre els tres tipus de fonació: oprimida, fluida i fluixa o bufada.

Considerant ara l'altre factor que influeix en la transmissió del so com és la *configuració del tracte vocal*, s'ha de dir que quan la interacció font – tracte és afavoridora de la vibració cordal i de la propagació del so, es parla de *tracte vocal inertiu*. Des del punt de vista acústic, aquesta situació només es presenta quan el valor de la primera formant es manté per sobre del de la freqüència fonamental ($F1 > F0$) (Titze, 2001, 2006)

Sundberg, en treballs de síntesi de veu de soprano, on pot manipular les freqüències formàntiques, troba que a elevades F0 la veu sembla més natural si F1 es situa al voltant de 4 st més alta que F0 (Sundberg, 2003).

En aquest sentit podem aportar dades de 10 sopranos amateurs que emeten 60 vocalitzacions de cada vocal /a/, /i/, /u/ a una freqüència fonamental de 262 Hz (do3). S'han determinat els valors mitjans d'F1 (que han coincidit amb els de Peterson i Barney, 1952) i s'ha calculat la mitjana de les distàncies entre F1 i F0 per a cada vocal (veure taula adjunta on figura també la distància entre F0 i F1 en Hz i el nombre de semitons a que correspon).

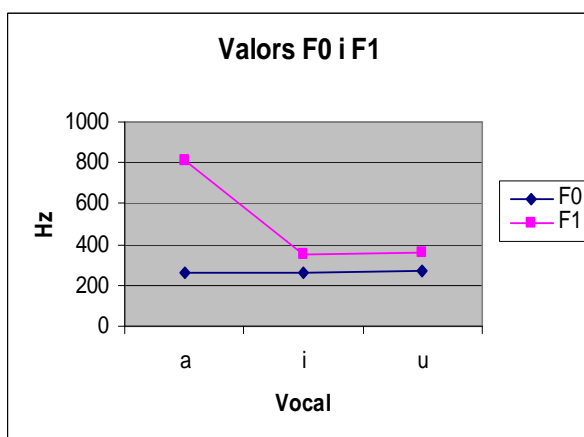
Els resultats mostren que la primera formant de /a/ s'ha mantingut al voltant del tercer harmònic (com era esperable) mentre que les de /i/ i /u/ on, típicament, la primera formant i la fonamental són tan properes que als sonogrames apareixen sobreposades (veure figura 8) realment, estan 4 i 4,6 semitons per sobre, respectivament (veure Taula I i gràfica 1)

TAULA I

Vocal	F0 Hz	F1 Hz	d(F0, F1) en Hz	d(F0, F1) en st
/a/	262	812	558	25
/i/	262	353	91	4
/u/	262	364	102	4.6

Taula I. Mitjanes d'F0 i F1 per a les vocals /a/, /i/, /u/ i de la distància que les separa en Hertz i en semitons

Gràfica 1



Gràfica 1. Mostra els valors d'F1 trobats per a les diverses vocals /a/, /i/, /u/ amb respecte a la freqüència fonamental (F0)

La *intensitat* d'una vocal depèn sobretot de l'amplitud de la primera formant (F1) ja que és la més propera a la fonamental encara que a elevadas F0 aquest paper pot ser assumit per F2 (Schutte y Miller, 1990) I, per altra banda, l'amplitud d'F0 depèn de la quantitat de flux transglotal (Sundberg, 1987) Però la percepció de sonoritat en gran mesura ve donada pel reforçament que experimentin les freqüències al voltant dels 3000 Hz que com s'ha vist depèn de la velocitat de flux (Fant, 1979), (Sundberg, 1987).

La raó és que l'oïda humana gaudeix d'especial percepció a aquestes freqüències i per altra banda, destaquen per sobre de l'enorme so d'una orquestra doncs la majoria dels instruments no les generen.

Una orquestra té un gran volum de so entre els 500 Hz i els 1000 Hz. En aquesta regió els harmònics del cantant no hi poden competir i resulten inaudibles però, gràcies a una diferent distribució d'energia a l'espectre, el cantant acumula una gran àrea de ressonància cap als 3000 Hz (Bartholomew, 1934). L'existència d'una distància constant entre harmònics (recordem la sèrie harmònica de l'ona periòdica) permet que l'oïda humana *reconstrueixi* les freqüències enmascarades i *percebi* la F0 (Sundberg, 1977).

Per això les veus grans del món occidental han desenvolupat l'anomenada formant del cantant (Fs) que s'observa en aquesta regió dels voltans dels 3000 Hz i s'obté per l'agrupament d'F3, F4 i F5 (anteriorment s'ha vist que les ressonàncies es reforcen quan s'apropen) (Sundberg, 1974, 1978, 2001) (figura 9)

Figura 9

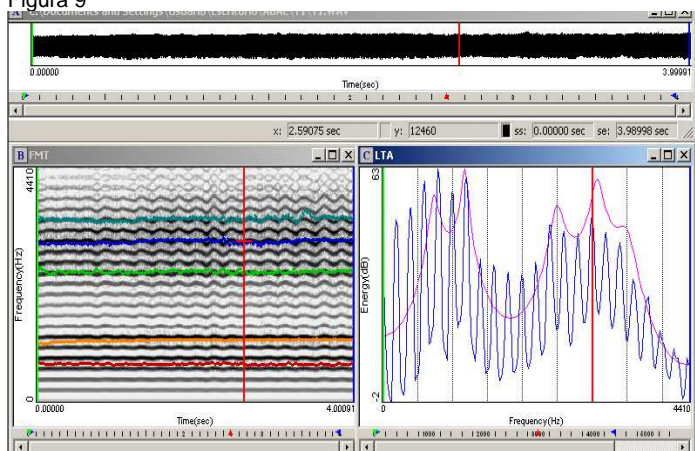


Figura 9. Oscil·lograma, sonograma, trajectòria de les formants i transfer function d'una /a/ cantada per un tenor a 200 Hz on es pot veure (dreta inferior) la regió de gran ressonància que determina l'agrupament d'F3, F4 i F5. Al

sonograma s'observa vibrato. El cursor assenyala (de dreta a esquerra) un fragment d'un segon on es veuen les modulacions de freqüència en nombre de 6 per segon (veure explicació al text més endavant)

Per altra banda, el volum de fonació incideix en el timbre de forma que intensitats majors exciten més els harmònics aguts aportant brillor a la veu.

A la figura 10 es poden comparar dues produccions, una parlada i l'altra cantada d'una mezzosoprano. L'espectre, que representa les amplituds dels harmònics a les diferents freqüències, mostra que la ratio entre harmònics aguts i greus és clarament més favorable als aguts en la veu cantada. També s'observa l'aparició d'un vibrato regular amb sincronia de freqüència i amplitud.

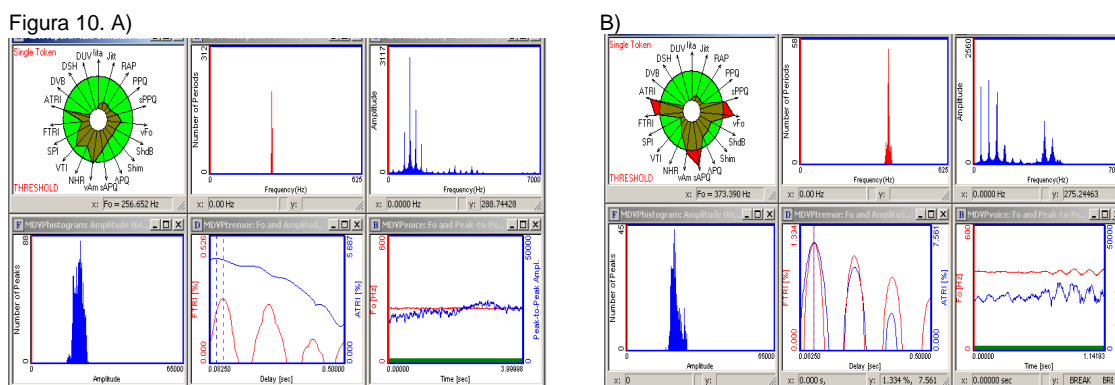


Figura 10. Diferències entre veu parlada (A) i cantada (B) en l'anàlisi multidimensional (MDVP) de la veu d'una mezzosoprano. En B els harmònics aguts estan molt més reforçats a l'espectre (quadre superior dret) i la ràtio aguts/greus és superior. Apareix vibrato regular amb sincronia de freqüència i amplitud (quadre inferior mig i superior esquerra)

S'ha de dir que la soprano és un cas especial. Per comprendre'l cal parlar de com el cantant, tot i que sovint inconscientment, va adaptant el tracte vocal per a la millor transferència del so (Miller y Schutter, 1991) Al sonograma s'evidencia que les formants busquen els harmònics i en fan coincidir les freqüències. Es tracta de la *sintonització de formants* (Sundberg, 1977)

La soprano no pot agrupar formants perquè a una F0 elevada els harmònics estan molt separats i els desintonitzaria; per això no es pot dir que la soprano tingui una autèntica Fs però per altra banda no la necessita doncs obté la *veu ressonant* obrint molt la mandíbula de forma que sintonitza F1 (que, si mantingués el ressonador en condicions normals de parla, quedaria per sota de la fonamental) amb F0. Després, cada un dels altres harmònics actua com una formant (Sundberg, 1979).

Això explica que la intel·ligibilitat de les vocals sigui menor a altes F0 com és el cas de la soprano doncs va variant la disposició de la llengua i la mandíbula per poder acostar F1 a F0. La resta de formants sintonitzen amb els harmònics de la font però ja no guarden les mateixes relacions que en la parla (figura 11)

Figura 11

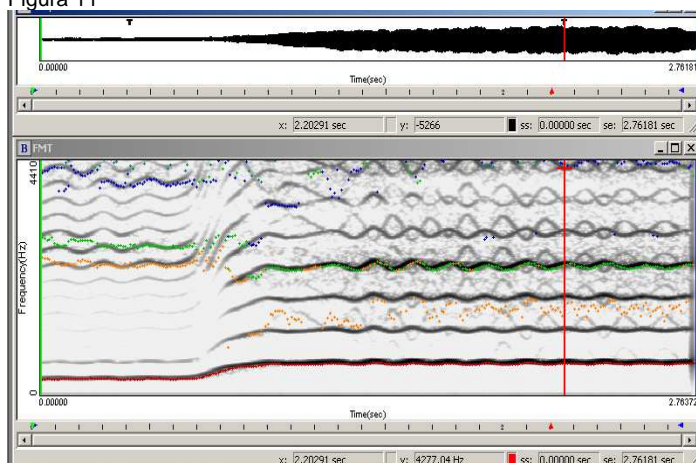


Figura 11. Oscil·lograma, sonograma i trajectòria de les formants d'una /i/ d'una soprano a 356 Hz fent un salt d'octava. A la primera part del sonograma s'identifica perfectament la /i/ mentre que a la segona part, F1 puja sintonitzada amb la fonamental i la resta de formants també sintonitzen els altres harmònics perdent les relacions habituals de veu parlada.

L'apropament de les formants agudes en la formant del cantant (F_s) es pot aconseguir fonamentalment de dues formes: O bé fent descendir la laringe (Sundberg, 1987) o bé adelantant i elevant la llengua fent estrenyer el vestibul laringi o epilaringe (Titze, 2001) en sentit anteroposterior fins formar un petit ressonador que tingui una longitud aproximada d'1/6 de la longitud total del tracte vocal i la seva àrea tingui una secció d'1/6 de l'àrea de la faringe (Sundberg, 1987) No hi ha constricció; al contrari, les bandes ventriculars es retrauen i s'aplanen, creant una paret que dilata el ventricul de Morgagni

El cert és que hi ha importants diferències en les estratègies que adopten els diversos cantants per obtenir el millor resultat acústic i molts canten molt bé amb la laringe alta. Depen, en definitiva de les seves característiques anatòmiques i fisiològiques i de les seves necessitats: Un cantautor, que utilitza amplificació, no tindrà la formant del cantant però sí l'anomenada formant del parlant (F_p) que correspon a F_4 i a vegades a F_3 i es detecta en tota persona habituada a parlar en públic (Sundberg, 1987).

Cal remarcar que en el cant coral, les coses s'aparten una mica del que s'ha dit fins ara perquè el cantaire ha d'aprendre a adaptar el seu propi timbre al de la resta de companys del cor (Bonet i Murtró, 2003). S'ha observat que un cantant mostra més energia a la zona aguda de l'espectre si canta un mateix fragment vocal com a solista que com a integrant d'un cor (Rossing et al, 1986)

En el cant es donen alguns fenòmens que mereixen un comentari com és en primer lloc el *vibrato*. Es defineix com la *modulació* de freqüència i amplitud de la veu del cantant. Modulació és la variació sistemàtica d'un paràmetre cíclic (ex. amplitud o freqüència) cada diversos cicles de fonació (Titze, 1995).

En el vibrato el mecanisme primari és la modulació de freqüència fonamental i secundàriament es veu afectada l'amplitud (Marqués - Girbau i Fernández - González, 2006). La freqüència fonamental i els seus harmònics varien cíclicament mentre que les formants no experimenten canvis. La variació sincrònica amb F_0 fa que els harmònics siguin arrossegats i s'apropin o allunyin de les formants veient-se més o menys reforçats de manera que la modulació en amplitud esdevé passivament quan coincideixen amb les curves positives o negatives de la transfer function. És la RHI (interacció ressonància - harmònics) de Horii i Hata (1988).

A part de la *intensitat*, en el vibrato es poden distingir la *freqüència de vibrato* que acostuma a ser d'entre 5,5 i 7,5 cicles per segon (Hz) i l'*extensió* (increment o descens de freqüència en un cicle de vibrato) que pot abarcar de 1 a 2 semitons (Marqués - Girbau i Fernández - González, 2006) A la figura 9 s'observa un vibrato molt regular mentre que el de la figura 12 presenta més irregularitats.

Figura 12

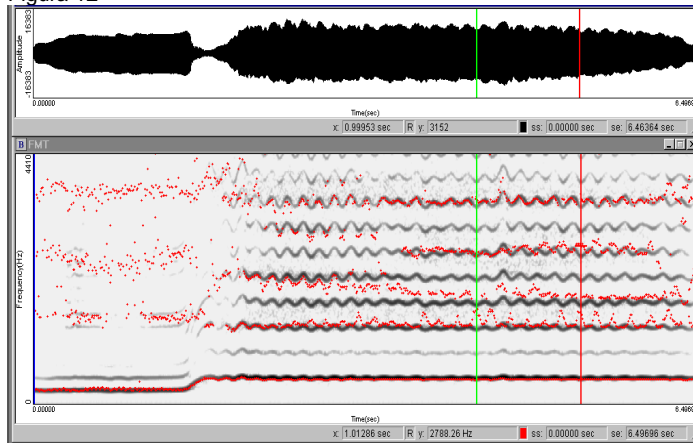


Figura 12. Salt d'octava amb consonant nasal /m/ en una soprano. Sintonització de formants i vibrato irregular amb una freqüència de 6,5 Hz (contant des del límit dret de la imatge fins al cursor)

Quan no s'obté vibrato de forma natural i el cantant busca la modulació d'amplitud per mitjà de moviments diafragmàtics o de mandíbula, es produeix el *trémolo* que resulta artificial i desagradable.

El segon dels fenòmens a comentar és el dels *subharmònics*. Al sonograma apareixen línies intercalades entre els harmònics indicant que, en determinats moments, els replecs vocals vibren a una freqüència que és la meitat de la fonamental. Aquesta freqüència ($F_0/2$) és feble i inconstant, per això no es reconeix, ni perceptualment ni instrumentalment, com una nova fonamental sinó com a rudeses de la veu. S'han atribuït a asimetries mecàniques o geomètriques entre els replecs vocals (Titze' 1998), combinació de de dos models vibracionals (F_0 i $F_0/2$) i desincronització en la vibració anteroposterior (Svec. et al, 1996). Apareixen freqüentment en fonació oprimida i se senten moltes vegades en veu parlada als finals de frase molt greus.

El cant clàssic els evita, en canvi és un efecte molt sovint buscat i apreciat en el cant modern (figura 13)

Figura 13

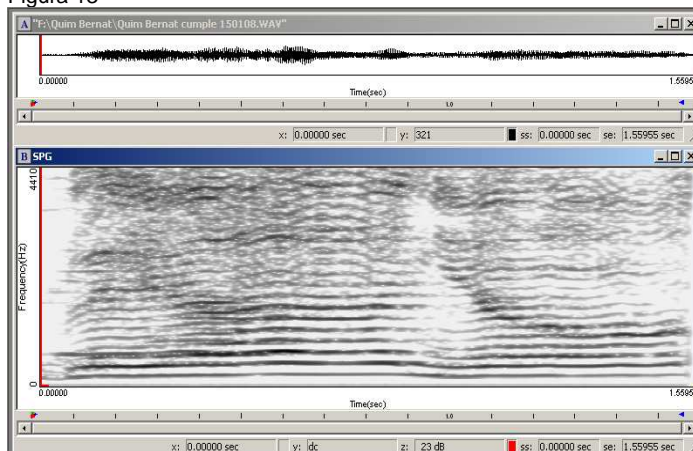


Figura 13. Subharmònics apareixen com a línies intercalades entre els harmònics al terç esquerra del sonograma. Veure explicació al text.

Finalment, un altre aspecte a considerar és la *nasalitat*. L'acoplament del tracte nasal al ressonador esdevé quan el vel del paladar permet el pas de l'aire cap a les fosses nasals (en condicions normals només passa per produir les consonants nasals). D'aquesta forma s'afegeix una branca colateral al ressonador oral introduint una antiressonància al sistema (Kent, 1992). L'antiressonància fa disminuir l'energia espectral per amortiment del so al voltant seu. Al sonograma s'observa una pèrdua d'harmònics a determinades freqüències i pot aparèixer una formant de nasalitat entre els 250 Hz i els 500 Hz.

Pot rebaixar el nivell de so (Kent, 1992). La veu serà menys potent però amb sensació ressonant. Això explica que les consonants nasals siguin útils per a l'entrenament vocal (Titze, 2001) (figura 14)

Figura 14

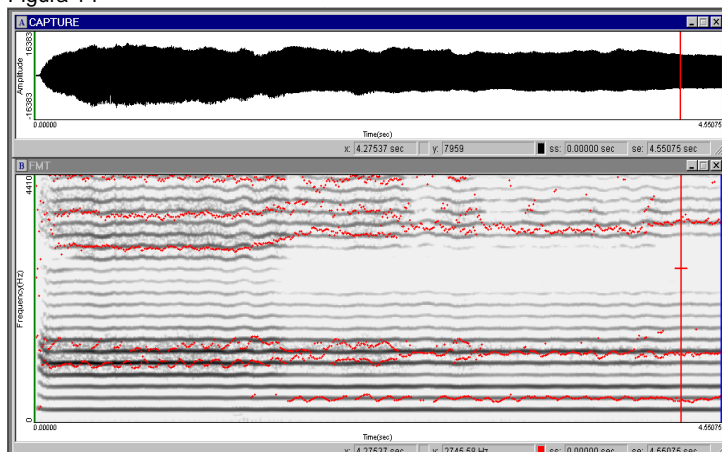


Figura 14. /a/ nasalitzada. En començar l'acoplament del tracte nasal s'observa pèrdua d'amplitud en l'oscil-lograma, pèrdua espectral al sonograma i aparició de la formant de nasalitat al voltant dels 400 Hz

Alguns cantants tenen habitualment un cert grau de nasalitat (pas obert en alguna mesura) però l'escapament d'aire no és proporcional al grau d'apertura sinó que depèn de les resistències nasals i dels ajustaments que es realitzin en tot el tracte (Baken i Orlikoff, 2000).

Cal distingir-ho del *twang*. Aquest és un determinat timbre vocal que sembla localitzar-se al nas però en canvi, *no té nasalitat*, el pas està tancat. S'obté amb la faringe i epilaringe estretes (Estill et al, 1983). Pot ser que no agradi el timbre però el cert és que en aquestes condicions el tracte vocal experimenta el major grau d'inertança (Titze, 2001) (figura 15)

Figura 15

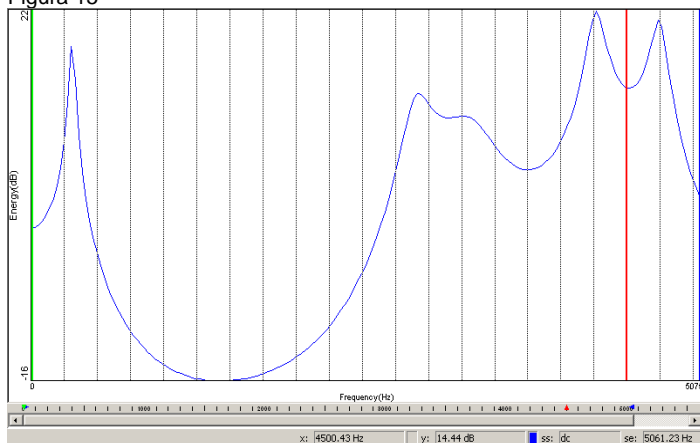


Figura 15. Transfer function de la vocal /i/ amb twang, en una soprano. S'observa la gran amplitud d'F4 i F5.

El twang aporta molt de brillo a la veu i s'utilitza en determinats moments en els diversos estils de cant però molt especialment en el belting (Evans, 1993) (figura 16)

Figura 16

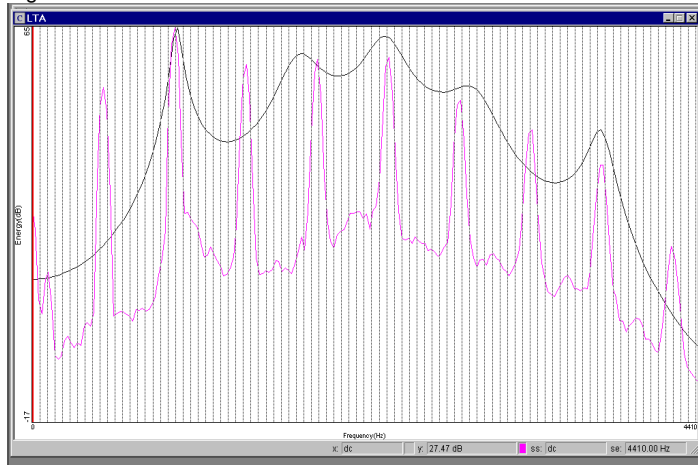


Figura 16. Transfer function de la vocal /e/ d'una soprano en belting. Màxima transmissió del so.

Les conclusions que es deriven d'aquesta mirada sobre els principals trets acústics de la veu cantada es podrien resumir dient que els cantants obtenen la facilitat d'emissió i l'eficient transmissió del so amb estratègies fonoarticulatòries que impliquen la concurrència dels següents factors:

- 1) Equilibri entre pressió subglòtica i força d'adducció dels replècs vocals
- 2) Tracte vocal inertiu ($F1 > F0$)
- 3) Sintonització de formants
- 4) Apropament d'F3, F4 i F5

BIBLIOGRAFIA

- Baken R J. & Orlikoff R F. Clinical Measurement of Speech and Voice. *Delmar. Singular Publishing Group*. 2000
- Baken R J. & Orlikoff R F. (in press) Phonatory response to step function changes in supraglottal pressure. *Vocal Fold Physiology: Laryngeal Function in Phonation and Respiration*. San Diego, CA: College-Hill Press.
- Bartholomew T. A physical definition of "good voice quality" in the male voice. *J Acoust Soc Amer* 1934;6:25-33
- Bonavida A. Notas básicas de Física Acústica. A García-Tapia, R., Cobeta, I. Diagnóstico y Tratamiento de los Trastornos de la Voz. Garsi. Madrid, 1996
- Bonet M, Murtró P. La Voz Adulta en el Coro. *Revista Española de Foniatría*. Salamanca, 2003;13: 63-75
- Estill J, Baer T, Honda K and Harris S. Supralaryngeal activity in a study of six voice qualities. *Proc. of Stockholm Music Acoustics Conference 1983 (SMAC 83)* (nº 1), ed. A. Askenfeld, S. Felicetti, E. Jansson and J. Sundberg, pp. 157-174. Stockholm: Royal Swedish Acad. of Music

- Evans M , Howard DM. Larynx closed quotient in female belt and opera qualities: A case study. *Voice*, 1993;2:7-14
- Fant G. Acoustic Theory of Speech Production. *Mouton*. The Hague, 1960
- Fant G. Glottal Source and Excitation Analysis. *Speech Transmission Laboratory and Quarterly Progress and Status Report (KTH, Stockholm)* 1979;1:85-107
- Fant G. The relations between area functions and the acoustic signal. *Phonetica*, 1980;37: 55-86.
- Gil J. Los Sonidos del Lenguaje. *Síntesis*. Madrid, 1993.
- Horii Y, Hata K. A note on phase relationships between frequency and amplitude modulations in vocal vibrato. *Folia Phoniatr* 1988; 40:303-311.
- Kent R D, Read Ch. *The Acoustic Analysis of Speech*. Singular Publishing Group, Inc. San Diego, California, 1992
- Marqués Girbau M, Fernández González S. Vibrato de la Voz Cantada. Caracterización acústica y bases fisiológicas. *Rev Med Univ Navarra* 2006;50:3:65-72.
- Titze IR. Acoustic Interpretation of Resonant Voice. *J. Voice*. 2001;15(4):519-528
- Miller DG, Schutte HK. Formant tuning in a professional baritone. *J Voice* 1990;4:231-7
- Rossing TD, Sundberg J, and Ternström S. *Acoustic comparison of voice use in solo and choir singing*. *JASA* 1986; 79: 1975-81
- Rothenberg M. Acoustic Interaction between the Glottal Source and the Vocal Tract; in Stevens KN, Hirano M (eds): *Vocal Fold Physiology*. University of Tokyo Press, Tokyo, 1981;pp 305-328.
- Rothenberg M. Source-tract acoustic interaction and voice quality. In: Lawrence VL, ed. *Transcripts of the 12th Symposium Care of Professional Voice, Part I*. New York, NY: The Voice Foundation; 1983:25-31
- Rothenberg M, Mahshie J. Induced transglottal pressure variations during voicing. *Journal of Phonetics* 1986;14: 365 – 371
- Schutte HK, Miller DG. Acoustic details of vibrato cycle in tenor high notes. *J Voice* 1990;5:217-23
- Schutte HK, Miller DG. Belting and Pop Nonclassical Approaches to the Female Middle Voice. Some Preliminary Considerations. *J Voice* 1993;7:142-150
- Sundberg J. The Science of the Singing Voice. *Northern Illinois University Press*. Dekalb, Illinois. 1987
- Sundberg J. Articulatory interpretation of the “singing formant”. *J Acoust Soc Amer*. 1974; 55:838-844
- Sundberg J. Level and center frequency of the singer’s formant. *Journal of Voice*. 2001;15(2):176-186
- Sundberg J. Research on the singing voice in retrospect. *TMH-QPSR*. 2003;45
- Sundberg J. The Acoustics of the singing Voice. *Scientific American*. March, 82-91. 1977
- Svec JG, Schutte HK, Miller DG. A subharmonic vibratory pattern in normal vocal folds. *Journal of Speech and Hearing Research* . 1996; 39:1:135-143.
- Titze IR. Workshop on Acoustic Voice Analysis. *National Center for Voice and Speech*. 1995

- Titze IR. Acoustic interactions of the voice source with the lower vocal tract. *J Acoust Soc Am.* 1997;101:2234-2243
- Titze IR. What is a subharmonic?. *Journal of singing.* November/December 1998
- Titze IR. The F0-F1 Crossover Exercise. *Journal of singing.* 2006;62(3):295-297