

# **IDENTIFICACIÓ DE LES VOCALS TÒNIQUES DEL CATALÀ**

**METODE D'IDENTIFICACIÓ MITJANÇANT LES FREQUÈNCIES RELATIVES DELS  
INTERVALS F0~F1, F1~F2 I F2~F3 I LA FREQUÈNCIA D'F0 DE LES VOCALS**

**SÍLVIA PLANAS MORALES**

Tesis doctoral presentada por **Sílvia Planas Morales** en 2000,  
para optar al título de *Doctora en Filología*.

Dirigida por el Dr. **Eugenio Martínez Celdrán**  
**Universitat de Barcelona**



***Biblioteca Phonica, 5 - 2007***

Referencia bibliográfica:

Sílvia Planas Morales (2007): *Identificació de les vocals tòniques del català*. Biblioteca Phonica, 5.

[www.ub.es/lfa](http://www.ub.es/lfa)

*A en Xavi,*

JORDANA (*acostant-s'hi*): Us heu cansat d'escoltar sons?

FONTANELLA: Sí. És un exercici molt absorbent. Jo, que estava orgullós de les meves vint-i-quatre vocals distintes, em sento completament derrotat per les cent trenta vostres. Us he de confessar que en molts casos no percebo la diferència.

JORDANA (*somriu satisfet; s'acosta al piano, pren la plàtera i ofereix bombons a Fontanella. Ell també n'agafa*): Oh! és qüestió de pràctica. Al començament, les vocals afins es confonen, però després, a força d'esmolat l'orella, arriben a semblar-vos tan distintes com la *a* i la *u*.

(*Pigmalió* de Joan Oliver (1957). Acte segon)

## Índex

Introducció .....	3
Capítol 1. Marc teòric .....	9
1.1 La teoria de la Invariança Acústica (Stevens i Blumstein, 1981).	
1.2 Els trets distintius (Halle, 1980).	
1.3 Mètodes de càlcul	
1.3.1 Càlcul lineal	
1.3.2 Càlcul logarítmic (I): La banda crítica de 3Bark.	
1.3.2 Càlcul logarítmic (II): Els intervals de freqüència relativa.	
1.4 El paper del to fonamental	
1.5 Recapitulació.	
Capítol 2. Metodologia .....	33
2.1 Obtenció de les dades per al corpus.	
2.1.1 Anàlisi acústica de les vocals.	
2.2 Corpus.	
2.3 Càlcul de la freqüència relativa dels intervals.	
2.3.1 La freqüència relativa a l'interval $F_0 \sim F_1$ .	
2.4 La base de dades.	
Annex I: Dades obtingudes de l'anàlisi acústica de les vocals.	
Annex II: Oscil·lograma, espectrograma, espectre, LPC i corba melòdica.	

Capítol 3. Resultats .....	86
3.1 Freqüències relatives dels intervals.	
3.2 Interval F0~F1.	
3.2.1 Distribució del triangle vocàlic.	
3.3 Interval F1~F2.	
3.4 Interval F2~F3.	
3.5 Recapitulació.	
 Capítol 4. Discussió .....	 157
4.1 Els correlats acústics dels trets distintius.	
4.1.1 Interval F0~F1.	
4.1.2 Interval F1~F2.	
4.1.3 Interval F2~F3.	
4.1.4 Resum dels correlats.	
4.2 Verificació.	
4.2.1 Experiment 1: Vocals normalitzades.	
4.2.1.1 Síntesi de les vocals.	
4.2.1.2 Test de percepció.	
4.2.2 Experiment 2: Aplicació del mètode a vocals de l'anglès americà.	
4.2.2.2 Comparació amb les vocals catalanes.	
4.3 Recapitulació	
4.3.1 Interval F0~F1, les extensions d'F0 i els trets [alt] i [baix].	
4.3.2 Interval F1~F2 i els trets [posterior] i [arrel avançada].	
4.3.3 Interval F2~F3 i el tret [labial].	
4.3.4 Les oposicions binàries.	
 Capítol 5. Conclusions .....	 217
 Referències bibliogràfiques .....	 227

## **Introducció**

Les vocals sempre han estat en el punt de mira de la recerca sobre la producció i la percepció dels sons de la parla, però encara no és del tot clara la manera en què es descodifica el senyal acústic de les vocals per a la seva identificació. On sí hi ha acord és en el fet que les característiques acústiques que defineixen el grup de les vocals són els formants i el que defineix cadascuna de les vocals, classificant-la i identificant-la dins del sistema d'una llengua, és la distribució dels formants (Fant 1960, Fry 1979, Stevens 1998).

Jakobson i Halle (1956) defineixen acústicament el tret distintiu vocàlic/no vocàlic per la presència (vs. absència) d'una estructura formàntica clarament definida, que articulatòriament es caracteritza per la vibració de les cordes vocals i perquè no es produeix cap obstrucció al tracte vocal. Per a Fant (1960:215), una estructura formàntica clarament definida és la materialització física d'un model formàntic, és a dir, d'F1, F2 i F3, i el domini de la distribució d'aquests tres formants per sobre dels formants superiors (F4, F5, etc.), el formant nasal i el so inharmonic.

Les vocals sempre mantenen la seva distribució formàntica característica malgrat que la freqüència dels formants variï segons el to fonamental, la longitud del tracte vocal del parlant i l'efecte coarticulatori provocat pel context fònic; perquè hi hagi un canvi de vocal hi ha d'haver un canvi quàntic.

La teoria quàntica (Stevens 1972, 1989) explica que la relació entre l'articulació i el senyal acústic no és pas lineal, de manera que certes variacions articulatòries no han de produir necessàriament diferències acústiques importants, amb la qual cosa no tenen cap repercussió perceptiva pel que fa a la identificació del so. En el cas de les vocals una *diferència acústica important* produiria un canvi de timbre i, per tant, un canvi de vocal.

Keith Johnson (1997) explica molt bé la relació no lineal entre el senyal acústic i l'articulació fent una comparació amb els controls del volum i del dial de la ràdio. Segons Johnson la relació lineal és com la que hi ha entre el mecanisme que fa pujar i baixar el so de l'emissió i el volum de veu que surt pels altaveus: si es mou el control del volum, el so de veu es farà, proporcionalment, més alt o més baix. La relació no lineal és com la relació que hi ha entre el control del dial i la freqüència d'una emissora: un moviment del dial tant pot fer que es canviï d'emissora com que es continuï, amb més o menys interferències, en l'emissora ja sintonitzada. De la mateixa manera és la relació entre l'articulació i el senyal acústic: un canvi articulatori és una condició necessària per produir un canvi acústic, però no pas una de suficient.

Un altre dels problemes importants que ens troben en l'anàlisi per a la classificació i identificació de les vocals és la variació de freqüències entre parlants per les diferències fisiològiques que es produeixen per l'edat i el sexe. No és el mateix el tracte vocal i les cordes vocals d'un nen i d'un adult del mateix sexe, ni els de dos adults de la mateixa edat, però de sexes

diferents. Una persona al llarg de la seva vida pateix modificacions en el tracte vocal i en les cordes vocals no només per qüestions de creixement (neonat → nen → adolescent → adult), sinó perquè amb la maduresa i el pas dels anys el to fonamental es fa més greu en el cas de les dones i es fa més agut en el cas dels homes. Però, malgrat els canvis i les evolucions del nostre aparell fonador, el parlant d'una llengua identifica un fonema vocàlic del sistema, independentment de l'edat i el sexe de l'emissor, perquè realitza un procés de normalització. La normalització de les vocals és un procés perceptiu hipotètic en el qual s'elimina la variació entre parlants perquè la identificació perceptiva de la vocal es interpreta tenint en compte un referent de la vocal més que no pas els valors absoluts (Hz) dels paràmetres acústics (Johnson 1990).

Per solucionar les diferències entre parlants, el millor és utilitzar un mètode de càlcul no lineal. El que defensem en aquesta tesi és el càlcul en freqüència relativa de la distància entre pics espectrals. Actualment, però, el més habitual és calcular les distàncies espectrals entre formants i entre F0 i F1 en Bark (Chistovich i Lublinskaya 1979; Syrdal i Gopal 1986; Traunmüller 1981, 1982, 1998).

L'escala Bark es basa en les propietats no lineals del sistema d'audició humana i per aquest motiu és utilitzada per aquells investigadors que analitzen el senyal acústic des de la perspectiva auditiva. Els investigadors d'aquesta línia (Chistovich, Lublinskaya, Syrdal, Gopal, Miller, Hillenbrand i Gayvert, per citar alguns investigadors de les teories auditives) bàsicament parteixen de la hipòtesi d'un model de percepció humana que implica un procés de



reconeixement en el qual l'ona acústica de la parla es converteix en una cadena de codis de categoria fonètica que es corresponen amb els al·lòfons de la llengua. El seu objectiu és arribar a maximitzar les diferències entre vocals i minimitzar les variacions entre parlants.

En aquest sentit, la tesi que defensem també proposa un mètode que, com els de Syrdal (1984), Peterson (1961) i Miller (1989), seria classificat per Neary (1989) com a mètode intrínsec perquè es basa en la relació de les propietats del període estable (F0, F1, F2 i F3) de les vocals.

Miller (1989) estableix l'antecedent de les teories auditives en la teoria de Lloyd (1890a, b)<sup>1</sup>, coneguda com *Formant-ratio theory*, que estableix que el timbre de la vocal depèn dels intervals que hi ha entre formants i ho pas dels seus valors absoluts (és a dir, dels Hertz)<sup>2</sup>. Basant-se en experiments realitzats amb vocals sintetitzades, Lloyd defensava que en la percepció de les vocals s'és molt més sensible als canvis que afecten la relació entre formants (*formant ratio*) que no pas als canvis dels valors absoluts dels formants que mantenen la mateixa relació entre ells. Amb aquesta afirmació, però, no desmereixia pas el paper que sens dubte juga la freqüència absoluta dels formants en la percepció de les vocals, condició sine qua non per al seu reconeixement. Una altra de les bases de la teoria de Lloyd va ser la relació que mantenen els tons en les composicions musicals (és a dir, els intervals musicals, els quals es poden construir a

---

<sup>1</sup> També a Lloyd, 1891 i 1892. Totes dues referències són la continuació de 1890b.

<sup>2</sup> Lloyd parla de *ressonàncies*.

partir de l'escala de Pitàgores, l'escala natural o de Zarlino i l'escala temperada; per a la comparació de les escales vegeu Zamacois 1954).

## **Objectiu**

L'objectiu principal d'aquesta tesi és desenvolupar un mètode d'identificació de les vocals capaç de controlar les diferències entre parlants. Per aconseguir-ho faig servir la freqüència relativa (abreujat,  $fR$ ) que és una unitat de mesura per calcular de forma logarítmica la distància espectral entre formants adjacents (incloent F0).

## Hipòtesi

Aquesta tesi parteix de la hipòtesi que les vocals es poden identificar a partir de l'F0 i de la freqüència relativa dels intervals (distàncies espectrals) entre F0 i F1, F1 i F2, i F2 i F3:

$$\mathbf{F0 \text{ (Hz)} + F0\sim F1 \text{ (fR)} + F1\sim F2 \text{ (fR)} + F2\sim F3 \text{ (fR)}}$$

Les variacions que es produeixen a les distàncies espectrals, per motius de context fònic i de fisiologia del parlant, ha de ser acotada per les freqüències relatives que senyalen el límit de domini dels trets distintius. Aquestes freqüències relatives seran les que marquin el canvi quàntic i, per tant, es perfilen com els correlats acústics dels trets distintius i es troben distribuïdes pels tres intervals.

## **Capítol 1 Marc teòric**

### **1.1 La teoria de la Invariança Acústica (Stevens i Blumstein, 1981).**

La investigació d'aquesta tesi es basa en el model de percepció de la teoria de la Invariança Acústica, segons la qual en el senyal acústic hi ha unes característiques acústiques invariants que caracteritzen i classifiquen els sons de la parla d'una llengua natural (cf. Blumstein i Stevens 1979; Stevens i Blumstein 1979 i 1981).

L'origen d'aquesta teoria es troba en les conclusions de Jakobson, Fant i Halle (1963) referents al fet que els sons de la parla d'una llengua poden ser caracteritzats per un conjunt finit de trets distintius que tenen correspondència amb característiques acústiques invariants derivables del senyal acústic. Les característiques que es corresponen amb els trets distintius romanen sempre estables, malgrat les variacions circumstancials que pugui patir l'estructura acústica d'un so quan és emès. A partir d'aquests postulats sorgits en el si de la Teoria Acústica de la Producció, Stevens i Blumstein (Stevens i Blumstein 1979 i 1981; Blumstein i Stevens 1979 i 1981) van desenvolupar la teoria de la Invariança Acústica que es pot resumir en dos punts fonamentals (Blumstein 1986):

1. Hi ha una invariança en el senyal de la parla que es correspon als trets distintius de les llengües.

Tal afirmació suposa que el senyal de parla està altament estructurat pels correlats acústics dels trets i que aquests correlats o característiques es mantenen invariants en tots els parlants, en tots els contextos fonètics i en totes les llengües.

2. El sistema de percepció és sensible a les característiques acústiques invariants.

És a dir, el sistema de percepció té la capacitat utilitzar les característiques acústiques invariants per :

- (a) Proporcionar el sistema fonètic a una llengua natural.
- (b) Processar els sons de la parla durant la seva recepció.

A l'original de Blumstein (1986), l'autora anomena trets fonètics al que aquí s'ha transcrit com a trets distintius, perquè en el citat article Blumstein utilitza el sistema de trets de Jakobson, Fant i Halle (1963), argumentant que els de Chomsky i Halle (1968)<sup>3</sup> només estan definits articulatòriament, mentre que Jakobson i els seus col·legues donen una classificació acústica dels trets que s'ajusta a les característiques acústiques invariants descrites en les recerques fetes per Stevens i ella mateixa (cf. p.ex., Blumstein i

---

<sup>3</sup> Tot i que a *Preliminaries to Speech Analysis* (Jakobson, Fant i Halle 1952 i 1963) els trets fossin definits en termes acústics (també hi ha la descripció de la configuració del tracte vocal), el que impera, sobretot a partir de *The Sound Pattern of English* (abreujat SPE) (Chomsky i Halle 1968), és la definició dels trets en termes articulatoris, és a dir, en termes que especifiquen quins són els articuladors que són actius en la producció i quina forma o posició.

Stevens 1979; Stevens i Blumstein 1981). Ja fa temps, però, que Stevens treballa sobre la base de trets descrits articulàtorament, centrant la correlació de les característiques acústiques i articulatòries en les constriccions que modifiquen la configuració del tracte vocal (vegeu més endavant).

Stevens i Blumstein (1981) argumenten els dos punts fonamentals de la teoria de la Invariança Acústica basant-se en 3 supòsits:

- (1) La invariança acústica, corresponent a una categoria fonètica en particular o a un tret distintiu, resideix en el senyal acústic

El nostre mètode parteix del supòsit que la invariança acústica de les vocals resideix en els intervals de freqüència relativa.

- (2) La invariança no és pas derivable d'una anàlisi dels components individuals del senyal acústic, sinó que prové de característiques acústiques integrades que poden abraçar diferents components.

Amb aquest supòsit Stevens i Blumstein volen dir que la invariança s'ha de veure o considerar com un tot, perquè el que és rellevant és la manera com es combinen i modifiquen els components individuals. En el cas de les consonants oclusives, per exemple, els components individuals característics del seu senyal acústic són l'explosió, les freqüències d'inici de determinats formants i la direcció de les transicions, però és la forma de l'espectre mostrejat sobre els primers 20 ms del segment fònic de la consonant el que dona el seu patró invariant (Blumstein i Stevens, 1979), perquè és la forma

de l'espectre la que inclou tota la informació acústica compresa en el segment fònic escollit i, en aquest sentit, reflecteix una propietat acústica integrada.

En el cas de les vocals, els components individuals característics són les freqüències dels formants i la freqüència fonamental, i la invariança de cada vocal prové de la distribució característica dels formants en l'espai espectral. La informació, per tant, de la invariança de les vocals s'ha de buscar en la manera en què es combinen els formants. Segons la nostra tesi, aquesta informació la donen els intervals de freqüència relativa que hi ha entre formants adjacents i entre  $F_0$  i  $F_1$ , perquè les distàncies entre  $F_0 \sim F_1$ ,  $F_1 \sim F_2$  i  $F_2 \sim F_3$  estan subordinades al domini dels trets distintius i, per tant, la freqüència relativa dels intervals ens informa de la relació +/- que té la vocal amb el tret distintiu.

En aquest sentit entenem que les característiques acústiques integrades de les vocals són la relació de vibració (fR) entre  $F_0$  i  $F_1$ , entre  $F_1$  i  $F_2$  i entre  $F_2$  i  $F_3$ , obtinguda a partir de l'espectre promeditat sobre una mostra del segment acústic de la vocal que pot oscil·lar entre els 50ms-80ms.

(3) La naturalesa d'aquestes característiques invariants i la seva relació amb els segments acústics reflecteixen:

- ° La manera en què el mecanisme articuladori delimita els sons possibles d'una llengua,
- ° La manera en què el mecanisme perceptiu delimita els sons

possibles d'una llengua i

- La manera en què els trets defineixen els grups i classes de sons de la llengua.

L'objectiu final d'Stevens (com es pot comprovar a Stevens 1998) és el de postular classes de vocals i consonants naturals amb correlats acústics, articulatoris i perceptius ben definits. Els trets que utilitza Stevens són descrits a Halle (1990), amb qui ha col·laborat en més d'una ocasió (Halle i Stevens 1969, 1971 i 1991). En certa manera, Stevens justifica els trets distintius de base articulatòria (Halle 1990) quan argumenta els correlats acústics (distribució dels formants) i articulatoris (posició i forma dels articuladors) de les configuracions del tracte vocal.

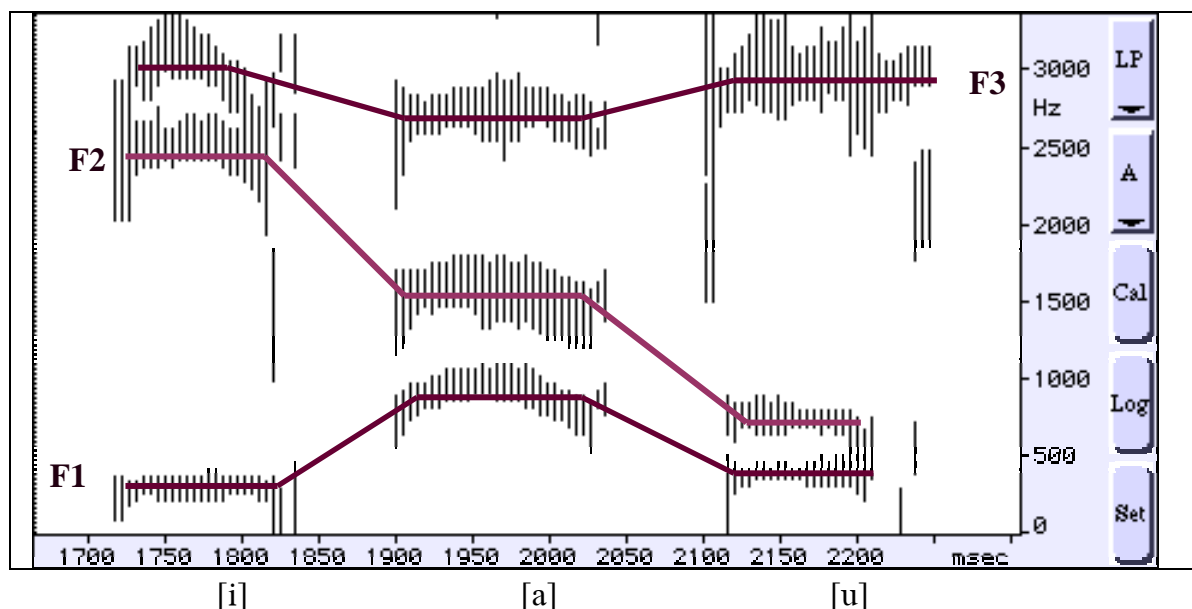
Stevens (1998, cap.6) dóna arguments a favor d'una classe de vocals naturals [+alt, -baix] –en català [ i, u ]–, produïda amb una posició alta del cos de la llengua, una classe [-alt, +baix] –en català [ a ]–, produïda amb una posició baixa de la llengua, i una classe intermèdia que es classificaria [-alt, +baix] –en català, [ e, ε, ə, o ]. En les vocals [+alt, -baix], la freqüència d'F1 és baixa i màximament convergent amb F0, i en les vocals [-alt, +baix], la freqüència d'F1 és alta i màximament convergent amb F2.

Pel que fa al correlat acústic del tret [posterior], Stevens arriba a la conclusió que per a cada alçada del cos de la llengua, aquesta pot tenir una posició avançada o una posició endarrerida. Com a conseqüència d'això, es produeixen diverses configuracions del tracte vocal, que fan que la



freqüència d'F2 pugui arribar a ser des de màximament alta i propera a F3, vocals [-pos] –en català [i, e, ε]– a màximament baixa i propera a F1, vocals [+pos] –en català [a, ɔ, o u]

Stevens també explica que la conseqüència acústica de l'efecte *lip-rounding*<sup>4</sup> en les vocals posteriors es tradueix en un acostament d'F1 i F2 i en un notable afebliment de les freqüències dels formants superiors (vocal [+pos, +lab], en català [ɔ, o u]).



**Gràfic 1.1** Distribució espectrogràfica d'F1, F2 i F3 de les vocals de les síl·labes [pi], [pa] i [pu].

<sup>4</sup> Un descens de l'àrea d'obertura dels llavis o un increment de la longitud del passatge labial provoca el descens de les freqüències de tots els formants.

A aquest fenomen, Fant (1960, p.63 i ss) l'anomena efecte de Lip-Rounding. Quan la cavitat anterior és estreta, l'arrodoniment dels llavis produeix un passatge labial estret que augmenta la longitud de la cavitat anterior. Quan la cavitat anterior no és estreta, l'arrodoniment agrega una secció addicional a l'extrem dels llavis. Stevens (1998) corrobora les conseqüències acústiques de l'efecte de l'arrodoniment llavis especificant que baixa les freqüències de ressonància de la cavitat anterior.

Pel que fa al paper del tret [arrel avançada] ([AA], hi ha vocals classificades [-alt, +baix] que poden ser configurades amb una posició avançada de l'arrel de la llengua, la qual cosa fa que s'eixampli la cavitat faríngia (com en les vocals altes). Aquesta configuració permet distingir entre vocals que tenen la mateixa d'obertura i el mateix punt d'articulació. La conseqüència acústica en les vocals [-alt, -baix, -AA] (en català [ɛ, ɔ] és que la distància entre F1 i F2 disminueix en relació a la distribució d'aquests dos formants en les vocals [-alt, -baix, +AA] (en català [e, o]).

## 1.2 Els trets distintius (Halle, 1990).

Els trets distintius de Halle (1990) ([alt], [baix], [posterior], [arrel avançada] i [labial])<sup>5</sup> són *articulator-bound features* (Halle i Stevens 1991), és a dir, trets limitats pels articuladors, però tenen un correlat directe en el sistema de trets acústics de Jakobson, Fant i Halle (1952 i 1963), a excepció del tret [AA], que és posterior a Chomsky i Halle (1968) (taula 1.1).<sup>6</sup> L'objectiu és inventariar un sistema binari de trets universal, viable per a la descripció fonològica de qualsevol llengua.<sup>7</sup> La classificació fonològica emprada en aquest treball és la de Bonet i Lloret (1998:27) (taula 1.2).

---

<sup>5</sup> En la terminologia anglesa, el terme utilitzat per indicar la protusió labial o *labialització* de les vocals és [round] ([arrodonit]).

<sup>6</sup> Per a la comparació entre els sistemes de Jakobson *et al.* (1963) i Chomsky i Halle (1968) vegeu Hyman (1975) i Martínez Celdrán (1984).

<sup>7</sup> Els sistemes de trets binaris es basen en que un segment pot tenir l'opció marcada (+) o l'opció no marcada (-) d'un tret distintiu, però no hi ha pas una grau intermedi.

Els trets [alt] i [baix] fan referència al grau d'alçada lingual: un so vocàlic és [+alt] quan la llengua és per sobre de la seva posició neutra o de repòs i és [+baix] quan la llengua és per sota de la posició neutra. El tret [posterior] fa referència a l'avançament o endarreriment de la llengua (el seu punt d'articulació) i el tret [labial], a l'arrodoniment dels llavis.

**Taula 1.1.** Relació dels trets distintius assignats a les vocals.

<b>Jakobson, Fant i Halle (1952, 1963)</b>	<b>Chomsky i Halle (1968)</b>	<b>Halle (1990)</b>
<b>difús</b>	<b>alt</b>	<b>alt</b>
<b>compacte</b>	<b>baix</b>	<b>baix</b>
<b>greu</b>	<b>posterior</b>	<b>posterior</b>
<b>bemolitzat</b>	<b>labial</b>	<b>labial</b>
<b>—</b>	<b>—</b>	<b>Arrel Avançada</b>

El tret [arrel avançada] (en endavant, [AA])<sup>8</sup> marca la distància entre l'arrel de la llengua i la paret faríngia, essent [+AA] aquelles vocals que poden tenir l'arrel de la llengua màximament separada de la paret faríngia. Aquest tret s'introdueix com a distintiu per caracteritzar sistemes amb més de tres graus d'obertura vocàlica. Amb els trets [alt] i [baix] només es poden fer tres tipus de combinacions: [+alt, -baix], per a les vocals altes, [-alt,

<sup>8</sup> En anglès [ATR], abreviatura d' *Advanced Tongue Root* . Vegeu Steward (1967) i Halle i Stevens (1969).

+baix], per a les vocals mitjanes, i [-alt, +baix], per a les vocals baixes. La combinació [+alt, +baix] no és pas possible, per aquest motiu, quan cal contrastar dues parelles de vocals mitjanes es recorre al tret [AA].

**Taula 1.2** Classificació per trets distintius de les vocals [i, e, ε, a, ə, o, u] del català. Segons Bonet i Lloret (1998:27).

	<b>i</b>	<b>e</b>	<b>ε</b>	<b>a</b>	<b>ə</b>	<b>o</b>	<b>u</b>
<b>alt</b>	+	-	-	-	-	-	+
<b>baix</b>	-	-	-	+	-	-	-
<b>pos</b>	-	-	-	+	+	+	+
<b>AA</b>	+	+	-	-	-	+	+
<b>lab</b>	-	-	-	-	+	+	+

Al sistema fonològic del català, el tret [alt] distingeix les vocals [i] i [u] de les vocals [e, ε, a, ə, o], i el tret [posterior] distingeix [i] i [u] entre si (en aquest cas el tret [labial] és redundant).

La vocal [a] esdistingeix de [i, e, ε] pel tret [posterior] i es distingeix de [ɔ, o, u] pel tret [labial]. El tret [baix]<sup>9</sup> distingeix el grau d'obertura de la vocal [a] dels de les vocals [e, ε, o, ɔ].

Tant el tret [posterior] com el tret [labial] distingeixen [e, ε] de [o, ɔ], però per distingir [e] de [ε] i [o] de [ɔ] cal recórrer al tret [AA] (cf. Mascaró 1978:48; Palmada 1994:32; Serra 1996:325).

### 1.3 Mètodes de càlcul

El nostre sistema auditiu és capaç de descomposar les ones periòdiques complexes (vocals) en ones periòdiques simples, cadascuna de les quals té un cicle vibratori que es mesura en Hertz, com si fos un analitzador amb la fórmula matemàtica de la transformada de Fourier.

A l'oïda humana li és més fàcil detectar petits canvis en freqüències baixes, per sota dels 2000Hz, que no pas en freqüències superiors, per exemple, entre 8000Hz i 9000Hz. Per aquest motiu, un canvi de 500Hz per sota dels 2000Hz, p.ex, entre 500Hz i 1000Hz, no és perceptivament igual que un canvi de 500Hz per sobre de 4000Hz, p.ex. entre 4000Hz i 4500Hz. En el primer cas percep la diferència d'una octava, mentre que en el segon cas la

---

<sup>9</sup> Mascaró (1978) utilitza el tret [CP] (*Constricted Pharynx*) en comptes del tret [baix]. La vocal [a] es defineix com [+CP] en front de la resta de vocals, que són [−CP]. Sobre el tret [CP], vegeu també Perkell (1971).

diferència és insignificant (la 9/8 d'una octava). D'altra banda, percep la mateixa diferència entre 500Hz-1000Hz (una octava) i 4000Hz-8000Hz (una octava), **la qual cosa implica que el sistema auditiu no percep de manera lineal, sinó logarítmica.**<sup>10</sup>

El Hertz és una unitat de mesura lineal, per aquest motiu en psicoacústica es recorre a l'escala en Mels per mesurar la sensació auditiva (Beranek, 1949).<sup>11</sup> S'entén que la freqüència (Hz) és una propietat física del so i el to (Mels) és la sensació auditiva.<sup>12</sup> Una altra unitat de mesura, utilitzada en els estudis auditius i perceptius recents, és el Bark.<sup>13</sup>

### 1.3.1 Càlcul lineal

Tradicionalment s'ha considerat que amb la freqüència absoluta dels formants més baixos n'hi ha prou per identificar correctament una vocal determinada d'una determinada llengua (Delattre et al.1952, Miller 1953 i Carlson et al.1975).

Amb la freqüència (Hz) d'F1 i F2 de les vocals es poden realitzar cartes de formants que mostrin la distribució de les vocals d'una llengua, d'un grup de

---

<sup>10</sup> Sobre el tema consulteu Borden *et al.*(1994: cap.3), Isalgué (1995: cap.4), Johnson (1997: cap.3), Malberg (1974:89-91), Stevens (1998: cap.3) i Orduño (1996: cap.14).

<sup>11</sup> La podeu trobar a Fant (1973).

<sup>12</sup> L'objectiu dels estudis psicoacústics és el de determinar les relacions quantitatives entre la sensació auditiva  $\psi$  i l'estímul físic  $\phi$  que la produeix. Les escales de Fons i de Sons mesuren el volum sonor i la de Mels, l'altura sonora. Sobre aquest tema, consulteu Tosi (1992).

<sup>13</sup> Sobre la relació Hz-Mels-Bark, consulteu Ladefoged (1962:81).

parlants o d'un parlant en concret. Quan s'ha analitzat més d'una mostra per vocal, les cartes de formants poden representar els valors mitjans o bé incloure tots els valors per vocal, amb la qual cosa s'obté una representació visual del camp de dispersió de les freqüències que poden tenir els formants d'una vocal sense que li canviï el timbre.<sup>14</sup>

Per a les vocals de l'espanyol, Martínez Celadrán (1995 i 1998) va establir un sistema de reconeixement de les vocals, relacionant els límits dels camps de dispersió amb el límits de domini dels trets distintius. Va assignar el tret [alt] a F1 i els trets [anterior] i [central] a F2, atenent a la classificació bàsica de les cinc vocals de l'espanyol (taula 1.3).<sup>15</sup> Els informants foren un grup de cinc homes i un grup de cinc dones, amb edats compreses entre els 20 i els 30 anys. Els resultats per a la veu adulta masculina van ser:

- Si  $F1 < 375$  llavors  $V = [+alt]$  si no,  $V = [-alt]$ .
- Si  $F2 > 1650$  llavors  $V = [+ant]$  si no,  $V = [-ant]$ .
- Si  $F2 > 1200$  i  $< 1650$  llavors  $V = [+central]$  si no,  $V = [-central]$ .

El mecanisme és molt senzill. Les freqüències d'F1 per sota de 375Hz entraran en el domini que classifica a les vocals com [+alt]. El mateix procediment es realitza amb la freqüència d'F2, però amb la singularitat que en aquest formant limiten dos dominis: el del tret [anterior] i el del tret

---

<sup>14</sup> Per al català vegeu Llisterra (1984).

<sup>15</sup> Chomsky i Halle (1968) caracteritzen les vocals amb 3 trets bàsics: [alt], [baix] i [posterior]. Els dos primers fan referència al grau d'alçada lingual i el tercer al grau d'avançament lingual, essent aquesta una propietat única marcada per [+pos] vs [-pos]. En lloc de [baix] i [posterior], Martínez Celadrán utilitza [central] i [anterior], respectivament.

[central].<sup>16</sup> Si F2 es situa per sobre de 1650Hz, la vocal serà identificada com a [+ant] i si és entre 1200Hz i 1650Hz, serà [+central].

**Taula 1.3** Classificació de les vocals de l'espanyol i correspondència dels trets amb F1 i F2, segons Martínez Celdrán (1995).

		i	e	a	o	u
F1	Altes	+	-	-	-	+
F2	Anteriors	+	+	-	-	-
F2	Centrals			+	-	-

L'anàlisi de les vocals del grup de dones va donar unes freqüències límit significativament més altes. Per solucionar el desfasament de freqüència entre ambdós grups, Martínez Celdrán recorre a una fórmula matemàtica que li permet predir els valors formàntics d'un sexe a partir de les dades de l'altre:

- F1:  $y = 1'178x + 16$
- F2:  $y = 1'278x - 148$

A on  $x$  és el valor del formant en veu masculina i  $y$  és el valor del formant en veu femenina.

El sistema vocàlic de l'espanyol i l'elecció dels trets faciliten a Martínez Celdrán classificar les vocals reduint els formants a només F1 i F2. Només

---

<sup>16</sup> Martínez Celdrán utilitza el tret [central] en lloc del tret [baix] i prescindeix del tret [labial], perquè el considera innecessari per a classificar les vocals de l'espanyol.



calen els trets [alt] i [anterior] per classificar i caracteritzar les tres vocals extremes [i, a, u]. Amb aquests dos trets classifica i distingeix sense problemes la vocal [e] de l'espanyol de la resta de vocals de l'idioma (taula 1.3). L'elecció del tret [central] i l'assignació del seu domini a F2 permeten a Martínez Celdrán:

- (a) fer la distinció entre [a] i [o] ([a] és [+central] i [o] és [-central]), sense haver de recórrer al tret [labial], el qual resulta difícil de definir amb un únic formant, i
- (b) mantenir la reducció de paràmetres acústics a només F1 i F2.

Aquest sistema de reconeixement no funcionaria, però, en llengües que tenen més de tres graus d'obertura (p.ex. català, portuguès i anglès) i vocals anteriors labialitzades (p.ex. francès i danès).

A més, el problema de la variable F0 no està resolt de manera del tot satisfactòria perquè el sistema només pot identificar les vocals per grups de parlants, no per parlants en general. La divisió dels parlants en grups en funció del sexe dificulta la identificació de les vocals d'aquells parlants que no sempre produeixen les vocals dins dels valors que s'han establert per al seu grup. En l'anàlisi acústica de la nostra recerca hem pogut comprovar que en parlants d'entre 20 i 35 anys, hi ha freqüències d'F0 que apareixen tant en veu masculina com en veu femenina.

### 1.3.2 Càlcul logarítmic (I): La banda crítica de 3 Bark

Les investigacions basades en les teories auditives (vegeu, per exemple, Syrdal 1985, Syrdal i Gopal 1986, Miller 1989, Traunmüller 1994) utilitzen el Bark per als sistemes d'identificació perquè és una unitat de mesura auditiva, mentre que el Hertz és una unitat de mesura física.

El Bark s'obté del Hertz aplicant la fórmula de Zwicker i Terhardt (1980), on  $B$  és el valor de la banda crítica en Bark i  $f$  és la freqüència en kHz:

$$B = 13 \arctan(0'76 f) + 3'5 \arctan(f/5'5)^2,$$

Una altra fórmula per passar de l'escala física del Hertz a l'escala auditiva del Bark és la que descriu Traunmüller (1990) i a on  $z$  són els Bark i  $f$  és la freqüència en Hertz:

$$z = [28'81f / (1960 + f)] - 0'53 \quad (\text{per a } f > 200\text{Hz})$$

$$f = 1960 (z + 0'53) / (26'28 - z) \quad (\text{per a } f > 200\text{Hz})$$

L'objectiu de les recerques auditives és el de crear un model de normalització de les vocals que sigui capaç de complir els dos requisits que Disner (1980) estableix per a aquest tipus de model:

- (A) Maximitzar les diferències entre les categories vocàliques i

- (B) Minimitzar les diferències entre les realitzacions d'una mateixa vocal emesa per diferents parlants.

Syrdal i Gopal (1986) proposen un model perceptiu quantitatiu, format per dos nivells, que representaria el sistema de reconeixement humà de les vocals. En un primer nivell, que representaria l'estadi de processament auditiu, el model calcula si les distàncies espectrals entre formants i entre F0 i F1 (dimensions F1-F0, F2-F1, F3-F2, F4-F2 i F4-F3) de cadascuna de les vocals analitzades supera la banda crítica de 3 Bark.<sup>17</sup> En un segon nivell, que representaria el processament fonètic, les vocals són classificades segons si superen o no la banda crítica de 3 Bark en cadascuna de les dimensions (taula 1.4). L'origen de la banda crítica de 3 Bark es troba en les investigacions de Chistovich i Lublinskaya (1979) sobre l'efecte perceptiu del centre espectral de gravetat, segons el qual, si la distància entre dos formants és petita, el que es percep és un únic formant situat en una freqüència intermèdia. Chistovich i les seves col·legues van establir que en les vocals del rus aquest fenomen es produïa quan la distància espectral entre dos formants adjacents no excedia els 3-3'5 Bark.

El corpus utilitzat per la recerca de Syrdal i Gopal (1986) varen ser les freqüències de les vocals de l'anglès americà de la base de dades de Peterson i Barney (1952). Els paràmetres acústics d'aquesta base de dades són les freqüències absolutes (Hz) d'F0, F1, F2, F3 i F4 de les vocals [i, I, ε, æ, ɜ, Λ, α, ɔ, U, u], extretes del corpus de paraules `heed, hid, head,

*heard, had, hud, hod, hawed, hood, who'd*. Els informants foren 33 homes, 28 dones i 15 nens nadius (edats sense especificar).

Syrdal i Gopal no van pas mantenir la divisió prèvia dels parlants (homes, dones i nens), sinó que van unir tots els parlants en un sol grup i van comprovar com, amb la introducció d'F0 com a paràmetre intrínsec, es minimitzaven les diferències entre les realitzacions d'una mateixa vocal emesa per diferents parlants.

Segons la seva classificació, les dimensions clau per a les vocals de l'anglès americà analitzades [i, I, ε, æ, ɜ, ʌ, α, ɔ, ʊ, u] serien F1–F0 i F3–F2. La dimensió F1–F0 representaria l'alçada (o obertura) de la vocal i classificaria amb [+alt] aquella vocal que tingués la diferència F1–F0 més petita o igual a 3 Bark; en canvi la dimensió F3–F2 distingiria el punt d'articulació i classificaria amb [+pos] la vocal que tingués la diferència F3–F2 més petita o igual a 3 Bark. Amb aquest mètode, doncs, maximitzarien les diferències entre les dues categories vocàliques bàsiques: obertura ([±alt] vs [±baix]) i punt d'articulació ([+pos] vs [–pos]), establint el límit quàntic de 3 Bark a les distàncies espectrals entre F0 i F1 i entre F2 i F3.

**Taula 1.4.** Classificació de les vocals de l'anglès americà basada en la diferència crítica de 3 Bark de cinc distàncies espectrals, segons Syrdal i Gopal (1986).

vocals	Dimensions				
	F1–F0	F2–F1	F3–F2	F4–F2	F4–F3
	< 3 Bark	< 3 Bark	< 3 Bark	< 3 Bark	< 3 Bark

<sup>17</sup> Seguint la fórmula de Zwicker i Terhardt (1980). Vegeu també Syrdal (1985).

i	+	-	+	+	+
ɪ	+	-	+	-	+
ɛ	-	-	+	-	+
æ	-	-	+	-	+
ɜ		-	+	-	-
ʌ	-	-	-	-	+
ɑ	-	+	-	-	+
ɔ		+	-	-	+
ʊ	+	-	-	-	+
u	+	-	-	-	+

L'avantatge d'aplicar la banda crítica de 3 Bark a un sistema de síntesi o de reconeixement és que els simplifica enormement. Només cal anar classificant la vocal segons si la distància entre formants és superior o inferior a 3 Bark. Però en aquesta mateixa simplicitat és on resideix el seu major problema, perquè, com es pot comprovar a la taula 1.4, hi ha vocals de l'anglès americà que no es distingeixen entre si, tot i comptar amb la informació complementària de les dimensions F4—F2 i F3—F2. No es distingeixen entre sí [ʊ] i [u], [ɛ] i [æ] ni [ɑ] i [ɔ]. En el cas de [ɑ]/[ɔ], la vocal [ɔ], al mateix que [ɜ], no està pas marcada en la dimensió F1—F0, malgrat que els autors de la recerca considerin aquesta dimensió clau per a la identificació de les vocals. Així, si segons els seus resultats [ɜ] i [ɔ] no queden pas caracteritzades en la dimensió F1—F0 en funció de la banda crítica de 3 Bark, no els poden pas aplicar cap regla de normalització.

### 1.3.2 Càlcul logarítmic (II): Els intervals de freqüència relativa

La nostra proposta és que les distàncies espectrals entre formants (incloent-hi F0) són *intervals de freqüència relativa*

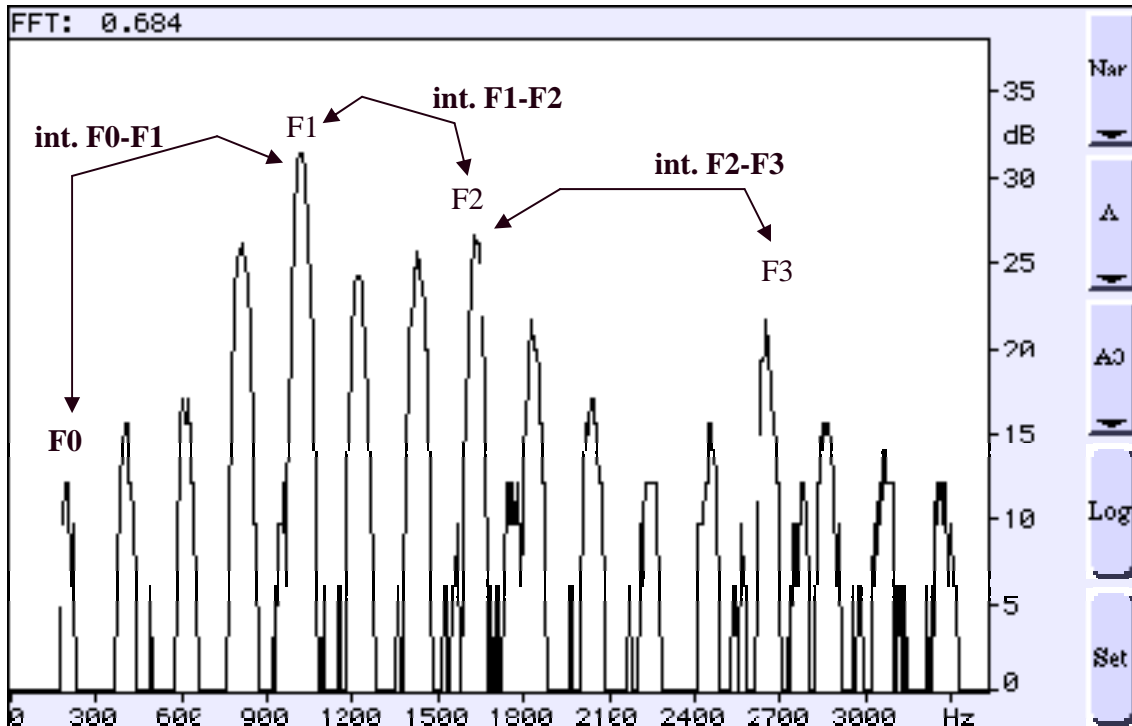
La nostra recerca utilitza la fR perquè, partint del que hi ha en el senyal acústic, es va considerar que:

1. El sistema auditiu percep de manera logarítmica, no pas lineal.
2. La freqüència relativa pot explicar perfectament la relació quàntica entre el fet físic (la freqüència) i la nostra percepció (Stevens 1989).
3. La unitat de mesura adequada per analitzar les característiques acústiques invariants és la freqüència relativa, perquè dona la relació de vibració entre dos tons o harmònics, que és el que nosaltres proposem com a característica acústica invariant.

Per facilitar la lectura dels valors en freqüència relativa, se li ha assignat l'abreviatura *fR*.

Un interval és una distància entre 2 punts. Si considerem que, per exemple, F1 i F2 són dos punts separats en l'espai freqüencial d'un espectre, l'interval és la distància que els separa i es pot calcular amb una escala de freqüències relatives (gràfic 1.2). La freqüència relativa és una mesura no lineal, dona la relació logarítmica entre dos tons o harmònics, mentre que el

hertz és una mesura lineal perquè dona la freqüència d'un harmònic (cf. Isalgué 1995).



**Gràfic 1.2** Intervals F0~F1, F1~F2 i F2~F3 a l'espectre

En acústica la comparació de dos harmònics s'estableix per la relació de vibracions que existeix entre ells. Així, si considerem que l'F1 d'una vocal és a 520Hz i l'F2 és a 2080Hz, tenim que F2 fa 4 vegades les vibracions d'F1 i que, per tant, la distància o interval que els separa és de 4 ( $fR$ ).

## 1.4 El paper del to fonamental

El nostre mètode concedeix una gran importància a l'F0 perquè model d'identificació de vocals es troba en la necessitat de controlar la variabilitat d'F0, si volen minimitzar les diferències entre parlants (Disner, 1980).

Les diferències, que són explicables per les lleis físiques que regeixen la freqüència de vibració de les cordes,<sup>18</sup> fan que les vocals puguin ser emeses tant, per exemple, amb un  $F_0=90\text{Hz}$  (to greu, que correspondria a la veu d'un home) com amb un  $F_0=245\text{Hz}$  (to agut, que pot correspondre a la veu d'una dona a la d'un nen). L'espectrograma d'un fonema vocàlic emès amb  $F_0=245\text{Hz}$  mostra que les freqüències dels formants són proporcionalment més altes que les dels de l'espectrograma amb  $F_0=90\text{Hz}$ , perquè les freqüències dels formants depenen de la freqüència d' $F_0$ .

Tradicionalment, el problema de la variabilitat d' $F_0$  s'ha enfocat des de la perspectiva de dividir els informants en grups en funció de l'edat i el sexe (homes vs dones vs nens). Per exemple, Miller (1989) proposa un model de classificació basat en transformades logarítmiques que calculen les distàncies espectrals entre la referència sensorial (sensorial reference, abreujat SR) i  $F_1$ , entre  $F_1$  i  $F_2$  i entre  $F_2$  i  $F_3$ ; on SR és la transformada de  $F_0$  dels parlants i es calcula de la manera següent:

$$SR = 168 (GMF_0/168)^{1/3}.$$

GMF<sub>0</sub> és la mitjana geomètrica de la freqüència fonamental, que varia segons si es tracta de veu adulta masculina, veu adulta femenina o veu infantil.

---

<sup>18</sup> Sobre el tema vegeu Torres i Gimeno (1995:cap.4), Lieberman i Blumstein (1988:cap.6) i Zamacois (1954:cap.7).



Miller té calculat que la GMF0 és de 132Hz per als homes, 223Hz per a les dones i 263Hz per als nens (7-10 anys). Aquests valors de GMF0 donen els següents valors d'SR:

SR homes = 155Hz, SR dones = 185Hz i SR nens = 263Hz.

Però solucions com aquesta augmenten la complexitat del mètode i no preveuen la possibilitat que un parlant pugui emetre veu amb un F0 que no correspongui al seu grup. Al nostre entendre, un mètode ideal és un mètode més simple, capaç d'identificar les vocals sigui quin sigui el to fonamental de la veu i no pas per mitjanes d'F0 de diferents grups de parlants. Per aquest motiu, es va optar per classificar l'F0 per extensions de freqüència (Hz) que representessin els tres tons bàsics de veu: greu, agut i mitja. D'aquesta manera:

1. Dins d'una extensió d'F0, les variacions del to fonamental no han pas d'afectar la identificació de la vocal.
2. El canvi d'una extensió a una altra no ha de representar un canvi en la percepció del timbre de la vocal, sinó, només un canvi en la percepció del to de veu.

Això evidentment implica que els parlants/oïdors tenen la capacitat d'extreure l'F0 del parlant o, si més no, identificar-lo dins d'una extensió de veu determinada. Segons Traunmüller (1998), en el procés de

desmodularització, l'oïdor té unes expectatives sobre com és el senyal neutral portador d'un parlant en concret, ja sigui perquè el parlant és conegut o, en cas contrari, perquè sembla ser que els oïdors podrien extreure les desviacions perquè analitzarien l'evolució d' $F_0$  per extreure'n una estimació del seu valor base com a referència.

## 1.5 Recapitulació

L'objectiu de la recerca d'aquesta tesi és demostrar que una vocal es pot identificar a partir del seu  $F_0$  i de les freqüències relatives dels intervals  $F_0 \sim F_1$ ,  $F_1 \sim F_2$  i  $F_2 \sim F_3$ .

Anomenem intervals a la distància espectral entre  $F_0$  i  $F_1$ , entre  $F_1$  i  $F_2$  i entre  $F_2$  i  $F_3$ . Calculem aquestes distàncies amb freqüències relatives ( $fR$ ), la qual cosa ens permet acomplir els dos requisits que Disner (1980) exigeix als models de normalització:

- (A) Maximitzar les diferències entre les categories vocàliques.
- (B) Minimitzar les diferències entre les realitzacions d'una mateixa vocal emesa per diferents parlants, perquè les veritables propietats acústiques invariants que identifiquen una vocal i la classifiquen i distingeixen dins el seu grup de sons en el sistema d'una llengua són la combinació d'aquests intervals.

L'avantatge que suposa utilitzar com a unitat de mesura la freqüència relativa ( $fR$ ) en lloc de la freqüència absoluta (Hz) és que la  $fR$  permet fer un càlcul no lineal. D'altra banda, al igual que el càlcul amb Bark, l'escala de freqüències relatives permet donar una relació quàntica entre la sensació auditiva i l'estímul que la produeix. El sistema vocàlic triat ha estat el del català i en concret les vocals tòniques. Al capítol següent (apartat 2.2) s'explica com s'ha calculat la freqüència relativa dels intervals, a partir de l'escala natural, que és una escala de sensació del to (Fry 1999:9).

## Capítol 2. Metodologia

### 2.1 Obtenció de les dades per al corpus

El primer pas per portar a terme la recerca va ser obtenir les freqüències absolutes d'F0, F1, F2 i F3 de les set vocals tòniques del català, dins d'un corpus de parla controlada (cf. Llisterra 1984, Recasens 1986). L'objectiu era posar-les en un context que permetés pronunciar-les de la manera més clara i contrastada possible.

Es va elaborar un corpus de 36 paraules per obtenir cinc mostres vàlides de [i, e, ε, a, ə, o, u] tòniques per informant. Les paraules són del tipus **'CV<sub>1</sub>CV<sub>2</sub>**, **'CV<sub>1</sub>**, **'V<sub>1</sub>C** i **'CV<sub>1</sub>C**, on **V<sub>1</sub>**= [i, e, ε, a, ə, o, u].

**bata, be, bé, bota, cec, os, ós, pala, papa, pe, pela,  
pes, pila, pipa, pis, poma, por, puma, pupa, ras, rec,  
res, ric, roc, ros, ruc, sac, sec, sic, soc, sóc, suc, tos,  
tus, ven, vent.**

Aquestes paraules es van presentar als informants escrites en diferents formats i agrupades en dos tipus de corpus:

- A. Corpus de parells mínims.
- B. Corpus amb frase marc.

Les mostres seleccionades són de tres dones i tres homes, d'entre 20 i 35 anys, de nivell universitari, als quals se'ls va passar el corpus dues vegades per donar confiança i obtenir la màxima naturalitat.

L'enregistrament es va fer en la sala insonoritzada de la Unitat de Fonètica de la Universitat Rovira i Virgili (Facultat de Lletres). L'instrumental emprat va ser un micròfon AKG unidireccional i un DAT Casio.

### A. Corpus de parells mínims

En aquest corpus es va donar preferència a les paraules **'CV<sub>1</sub>CV<sub>2</sub>** que comencessin per [p].

**pipa – papa**

**bata – bota**

**pela – pila**

**ós – òs\***

**papa – pupa**

**pe – por**

**pala – pela**

**tus – tos**

**pupa – pipa**

**bè\* – bé**

**poma – puma**

**vent – ven**

(\*) Ortogràficament: **os, be.**<sup>19</sup>

## B. Corpus amb frases marc

Per als corpus amb frase marc es van triar paraules **'CVC**.

Els monosíl·labs **'sVk** es van presentar escrits dins la típica frase marc *Va dir ..... dues vegades.*

**Va dir suc dues vegades**

**Va dir céc\* dues vegades**

**Va dir sac dues vegades**

**Va dir sòc\* dues vegades**

**Va dir sèc dues vegades**

**Va dir sic dues vegades**

**Va dir sóc dues vegades**

(\*) Ortogràficament: **cec, soc.**<sup>20</sup>

Els monosíl·labs **'rVk** i **'rVs** es van inserir dins les frases marcs *He vist un / No hi havia .... a Girona.*

---

<sup>19</sup> En els casos de [os]/[ɔs] [bɛ]/[bɛ] es va optar per accentuar-les totes gràficament per evitar confusions. Tot i així, com que algun informant havia tingut problemes per fer una pronúncia distintiva, ja fos per ultracorrecció o per nerviosisme, es va afegir la parella *vent – ven*.

He vist un r<sup>é</sup>c\* a Girona

He vist un ric a Girona

He vist un r<sup>ò</sup>c\* a Girona

He vist un ruc a Girona

He vist un ras a Girona

He vist un r<sup>ó</sup>s\* a Girona

No hi havia r<sup>è</sup>s\* a Girona

(\*) Ortogràficament: rec, roc, ros, res.<sup>21</sup>

### 2.1.1 Anàlisi acústica de vocals

El programari d'anàlisi acústica que es va emprar per a la recerca de la tesi doctoral va ser el *SoundScope/16* (GW Instruments).

Les freqüències absolutes dels formants F1, F2 i F3 de les set vocals tòniques del català es van obtenir fent un espectre promeditat sobre el segment estable de la vocal, delimitat a l'oscil·lograma i a l'espectrograma de banda ampla per dos cursors (A1 i A2). Per a l'espectre es fan servir dos filtres, un per a tons de veu greus i mitjans i un altre, per a tons més aguts:

---

<sup>20</sup> Com en el corpus dels parells mínims, es va optar per posar la tilde a totes les [o], [ɔ], [e] i [ɛ], malgrat que ortogràficament no la portessin, per tal d'evitar confusions entre la vocal oberta i la vocal tancada.

<sup>21</sup> Vegeu la nota 2.

veu de to greu i mitjà	veu de to agut
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>FFT Points: 2048</i></li> <li>• <i>Filter: 45 Hz (33 ms)</i></li> <li>• <i>None Smoothing</i></li> <li>• <i>Frame advance: 5 ms</i></li> <li>• <i>Use 6 dB pre-emphasis</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>FFT Points: 4096</i></li> <li>• <i>Filter: 45 Hz (33 ms)</i></li> <li>• <i>None Smoothing</i></li> <li>• <i>Frame advance: 5 ms</i></li> <li>• <i>Use 6 dB pre-emphasis</i></li> </ul>

Per evitar possibles dubtes a l'espectre promeditat també es va fer la predicció lineal codificada (abreujat i en anglés *LPC*) d'un punt intermedi, assenyalat a l'oscil·lograma amb un tercer cursor (A3). El gràfic de l'LPC dibuixa l'estructura formàntica d'una manera més simplificada. Tant el programa *SoundScope* com el *Macquiner* permeten visualitzar l'espectre promeditat i l'LPC al mateix temps.

- *LPC coefficients: 47 [per defecte]*
- *LPC frame advance lengths: 20 ms*
- *FFT Points: 2048*
- *Use 6 dB pre-emphasis*

En els casos en què la distància espectral entre formants es tan petita que l'LPC els interpreta com un únic formant, es modifica el coeficient del filtre:

- *LPC coefficients: 94*

Les freqüències absolutes obtingudes amb LPC van ser els valors alternatius que es van utilitzar quan els formants a l'espectre promeditat no eren prou clars.



Per a la freqüència d'F0 es delimita a l'oscil·lograma un segment del so amb els cursors A1 i A2 i es fa l'estadística amb l'opció *Sound Statistics* del menú principal del *Sound Scope/16* amb una freqüència de mostreig de 2ms.

Per als resultats obtinguts, vegeu l'Annex *Dades obtingudes de l'anàlisi acústica de les vocals*, al final d'aquest capítol.

Els gràfics i les estadístiques s'obtenen sempre de l'ona sonora que es visualitza a l'oscil·lograma, encara que, simultàneament es visualitza l'espectrograma perquè amb la imatge del so es segmenta més bé la part estable de la vocal (vegeu l'annex II del final d'aquest capítol)

## 2.2 Corpus

El corpus per obtenir les freqüències relatives dels intervals entre formants adujacents i entre F0 i F1 van ser els resultats de l'espectre promeditat de les 210 vocals tòniques catalanes analitzades a l'apartat anterior. Si amb l'espectre no s'obtenien tots els formants o hi havia hagut dubtes raonables, les freqüències d'F1, F2 i F3 seleccionades per al corpus van ser de l'anàlisi de l'LPC.

Les mostres d'aquest corpus tenen la següent numeració:

[i] : mostres de la 101 a la 130.

[e] : mostres de la 201 a la 230.

[ɛ] : mostres de la 301 a la 330.

[a] : mostres de la 401 a la 430.

[ɔ] : mostres de la 501 a la 530.

[o] : mostres de la 601 a la 630.

[u] : mostres de la 701 a la 730.

Cada vocal té 30 mostres que han estat enumerades del 01 al 30. El número de la centena és el número ordinal de la vocal, des de l'alta anterior a l'alta posterior.

mostra	vocal	F0	F1	F2	F3	referència anterior
101	i	233	237	2799	3047	MLD01
102	i	231	237	29907	3348	MLD02
103	i	229	237	2799	3036	ESD01
104	i	236	301	2863	3316	CPD01
105	i	231	258	2971	3596	CPD02
106	i	203	258	2885	3660	CPD03
107	i	223	431	2627	3036	ESD02
108	i	218	431	2627	3036	ESD03
109	i	205	420	2638	3079	MLD03
110	i	198	406	2391	2672	JBH01
111	i	181	375	2144	2719	JBH02
112	i	145	296	2719	3500	FGH01
113	i	197	393	2562	3580	FGH02
114	i	200	404	2799	3203	CPD04
115	i	194	377	2519	3079	ESD04
116	i	193	388	2595	2982	MLD04
117	i	188	377	2606	3058	ESD05
118	i	174	355	2433	2799	FGH03
119	i	160	323	2250	2885	JBH03
120	i	190	382	2875	3337	CPD05
121	i	183	388	2767	3348	MLD05

mostra	vocal	F0	F1	F2	F3	referència anterior
122	i	168	328	2482	2842	FGH04
123	i	155	296	2342	3095	FGH05
124	i	143	280	2315	2875	JBH04
125	i	125	256	2281	2761	JBH05
126	i	130	258	2336	2993	RCH01
127	i	130	258	2347	2982	RCH02
128	i	123	366	2283	2735	RCH03
129	i	115	345	2089	2541	RCH04
130	i	110	328	2390	2966	RCH05
201	e	237	474	2132	3037	ESD06
202	e	226	441	2433	3047	MLD06
203	e	226	452	2293	2982	ESD07
204	e	225	441	2455	3090	MLD07
205	e	219	441	2186	3047	ESD08
206	e	218	441	2390	3036	MLD08
207	e	218	436	2406	3235	CPD06
208	e	217	420	2358	2982	ESD09
209	e	215	420	2347	2767	MLD09
210	e	213	441	2319	2855	MLD10
211	e	194	393	2078	2611	FGH06
212	e	184	549	2390	3047	CPD07
213	e	183	361	2735	3267	CPD08

mostra	vocal	F0	F1	F2	F3	referència anterior
214	e	176	517	2433	2972	ESD10
215	e	175	495	2627	3359	CPD09
216	e	169	506	1891	2500	JBH06
217	e	163	481	2013	2500	JBH07
218	e	162	484	2600	3295	CPD10
219	e	155	452	2239	2864	FGH07
220	e	152	463	1975	2638	JBH08
221	e	151	452	2094	2686	FGH08
222	e	149	441	2283	2735	FGH09
223	e	138	404	2202	2767	FGH10
224	e	137	415	1857	2331	RCH06
225	e	131	398	2099	2627	JBH09
226	e	130	393	2003	2406	RCH07
227	e	129	388	2056	2702	RCH08
228	e	130	388	2122	2799	RCH09
229	e	118	474	2121	2735	RCH10
230	e	106	419	1981	2625	JBH10
301	ɛ	218	657	2175	2832	ESD11
302	ɛ	209	614	2261	3058	MLD11
303	ɛ	220	657	2358	3122	ESD12
304	ɛ	219	646	2347	2993	ESD13
305	ɛ	211	646	2304	2907	ESD14

mostra	vocal	F0	F1	F2	F3	referència anterior
306	ε	204	813	2094	2530	CPD11
307	ε	208	840	2067	2907	ESD15
308	ε	209	829	2239	3036	MLD12
309	ε	203	797	2186	3176	MLD13
310	ε	203	829	2422	3230	MLD14
311	ε	182	721	2003	2907	MLD15
312	ε	153	619	1688	2756	JBH11
313	ε	156	608	1922	2374	FGH11
314	ε	188	748	2266	3033	CPD12
315	ε	172	673	1994	2595	FGH12
316	ε	156	619	1953	2406	JBH12
317	ε	170	680	2202	2875	CPD13
318	ε	175	705	2336	3205	CPD14
319	ε	169	673	2358	3203	CPD15
320	ε	152	603	1970	2735	FGH13
321	ε	141	560	2078	2767	FGH14
322	ε	140	560	2110	2785	FGH15
323	ε	133	531	1919	2547	JBH13
324	ε	133	669	1850	2250	JBH14
325	ε	125	614	1685	2396	RCH11
326	ε	123	624	1827	2342	RCH12
327	ε	111	549	1873	2627	RCH13

mostra	vocal	F0	F1	F2	F3	referència anterior
328	ɛ	115	571	2067	2735	RCH14
329	ɛ	114	673	1814	2374	RCH15
330	ɛ	106	635	1938	2573	JBH15
401	a	209	840	1669	2710	ESD16
402	a	213	840	1863	2455	MLD16
403	a	216	894	1895	2735	ESD17
404	a	206	1034	1637	2670	ESD18
405	a	206	1001	1798	2778	MLD17
406	a	199	1001	1378	2676	MLD18
407	a	195	969	1593	2864	MLD19
408	a	200	1001	1830	2907	MLD20
409	a	197	985	1750	2595	CPD16
410	a	194	969	1723	2624	ESD19
411	a	181	894	1626	2724	ESD20
412	a	186	937	1841	2670	CPD17
413	a	156	781	1577	2299	FGH16
414	a	176	1044	1766	2643	CPD18
415	a	170	1023	1707	2735	CPD19
416	a	145	861	1437	2439	FGH17
417	a	146	861	1453	2530	FGH18
418	a	134	797	1335	2430	FGH19
419	a	141	845	1529	2358	FGH20

mostra	vocal	F0	F1	F2	F3	referència anterior
420	a	137	819	1500	2175	JBH16
421	a	138	825	1475	2547	JBH17
422	a	129	775	1615	2261	RCH16
423	a	126	768	1621	2278	RCH17
424	a	168	1001	1674	2686	CPD20
425	a	134	926	1335	2153	JBH18
426	a	135	937	1486	2670	JBH19
427	a	118	764	1297	2369	RCH18
428	a	115	777	1362	2498	RCH19
429	a	114	766	1357	2466	RCH20
430	a	113	900	1238	2288	JBH20
501	ɔ	260	786	1292	2627	ESD21
502	ɔ	209	829	1044	2842	MLD21
503	ɔ	226	883	1335	2649	ESD22
504	ɔ	206	840	1464	2770	ESD23
505	ɔ	211	818	1443	2749	ESD24
506	ɔ	182	754	969	2347	FGH21
507	ɔ	181	732	1109	2552	MLD22
508	ɔ	147	588	881	2213	JBH21
509	ɔ	192	764	1362	2511	CPD21
510	ɔ	168	668	1163	2498	MLD23
511	ɔ	179	721	1249	2864	ESD25



mostra	vocal	F0	F1	F2	F3	referència anterior
512	ɔ	137	549	953	2218	FGH22
513	ɔ	139	549	887	2643	FGH23
514	ɔ	196	969	969	2972	MLD24
515	ɔ	198	980	1184	2627	MLD25
516	ɔ	175	877	1233	2799	CPD22
517	ɔ	157	624	1093	2357	CPD23
518	ɔ	134	668	926	2659	FGH24
519	ɔ	137	684	1039	2634	JBH22
520	ɔ	163	813	1297	2562	CPD24
521	ɔ	150	719	1156	2547	JBH23
522	ɔ	169	845	1346	2793	CPD25
523	ɔ	134	668	1114	2453	RCH21
524	ɔ	130	646	1055	2261	RCH22
525	ɔ	123	614	980	2455	RCH23
526	ɔ	120	603	1098	2110	FGH25
527	ɔ	115	581	1012	2347	RCH24
528	ɔ	110	657	883	2422	JBH24
529	ɔ	114	678	1023	2401	RCH25
530	ɔ	98	605	1018	2203	JBH25
601	o	212	624	1077	2993	CPD26
602	o	229	689	1109	2670	MLD26
603	o	222	646	1314	2821	ESD26

mostra	vocal	F0	F1	F2	F3	referència anterior
604	o	210	603	1227	2713	ESD27
605	o	194	657	1098	2638	MLD27
606	o	182	549	904	2702	ESD28
607	o	182	560	904	2799	ESD29
608	o	159	484	797	2282	JBH26
609	o	155	452	764	2327	FGH26
610	o	183	549	904	3012	CPD27
611	o	164	484	1141	2476	CPD28
612	o	179	533	888	2777	CPD29
613	o	177	528	872	2832	MLD28
614	o	172	517	861	2735	MLD29
615	o	162	474	797	2702	FGH27
616	o	164	484	985	2218	FGH28
617	o	163	494	969	1950	JBH27
618	o	187	560	1109	2390	CPD30
619	o	184	549	1055	2466	FGH29
620	o	178	528	1066	2498	MLD30
621	o	155	474	926	2724	FGH30
622	o	178	528	1249	2530	ESD30
623	o	154	509	1063	2094	JBH28
624	o	158	475	931	2109	JBH29
625	o	124	474	1978	2266	RCH26

mostra	vocal	F0	F1	F2	F3	referència anterior
626	o	122	484	1077	2390	RCH27
627	o	115	452	1012	2379	RCH28
628	o	119	468	947	2363	RCH29
629	o	110	436	901	2654	RCH30
630	o	107	438	1088	2294	JBH30
701	u	231	473	473	2627	CPD31
702	u	224	452	452	2971	CPD32
703	u	245	484	754	2885	MLD31
704	u	217	436	657	2583	FGH31
705	u	201	404	592	2411	FGH32
706	u	230	452	689	3004	ESD31
707	u	247	484	764	2756	MLD32
708	u	198	398	786	3122	ESD32
709	u	231	456	861	2454	MLD33
710	u	253	517	991	2750	ESD33
711	u	235	474	1141	2778	ESD34
712	u	196	377	953	2174	FGH33
713	u	242	484	985	2842	CPD33
714	u	186	361	533	2831	CPD34
715	u	192	394	788	2067	JBH31
716	u	194	377	786	2670	MLD34
717	u	190	377	748	2863	CPD35

mostra	vocal	F0	F1	F2	F3	referència anterior
718	u	189	377	754	2875	ESD35
719	u	160	312	624	2455	FGH34
720	u	195	406	975	2313	JBH32
721	u	192	377	969	2358	FGH35
722	u	186	366	926	2692	MLD35
723	u	148	300	738	2239	JBH33
724	u	146	301	872	2325	RCH31
725	u	121	369	619	2250	JBH34
726	u	124	372	744	2131	JBH35
727	u	121	366	603	2519	RCH32
728	u	119	344	710	2627	RCH33
729	u	119	355	711	2519	RCH34
730	u	237	474	958	2875	RCH35

## 2.3 Càlcul de la freqüència relativa dels intervals

Anomenem interval a la distància espectral entre formants adjacents i entre F0 i F1. Per obtenir una escala de freqüències relatives que aquesta distància, partim de l'anomenada escala natural o d'harmònics —també coneguda com a escala de Zarlino o gamma de Ptolomeo—, a on 1 és el primer harmònic i 2 (=2/1) la seva octava i el primer harmònic de l'escala següent:

**Escala natural o escala d'harmònics**

**1 - 9/8 - 5/4 - 4/3 - 3/2 - 5/3 - 15/8 - 2**

**F0 = 1**

L'octava és el límit de l'escala perquè tot el que excedeix la seva extensió només és la rèplica d'ella mateixa. Les fraccions que completen l'escala indiquen la relació de vibració que existeix entre el primer harmònic i els altres harmònics que es troben dins de l'escala.

- La fracció 9/8 indica que mentre el primer harmònic (F0) realitza 8 cicles per segon, l'harmònic que es troba en aquest interval de l'escala en fa 9.

- La fracció 5/4 indica que mentre el primer harmònic (F0) realitza 4 cicles per segon, l'harmònic que es troba en aquest interval de l'escala en fa 5.
- La fracció 4/3 indica que mentre el primer harmònic (F0) realitza 3 cicles per segon, l'harmònic que es troba en aquest interval de l'escala en fa 4.
- La fracció 3/2 indica que mentre el primer harmònic (F0) realitza 3 cicles per segon, l'harmònic que es troba en aquest interval de l'escala en fa 2.
- La fracció 5/3 indica que mentre el primer harmònic (F0) realitza 3 cicles per segon, l'harmònic que es troba en aquest interval de l'escala en fa 5.
- La fracció 15/8 indica que mentre el primer harmònic (F0) realitza 8 cicles per segon, l'harmònic que es troba en aquest interval de l'escala en fa 15.

Per expressar que aquestes fraccions indiquen la freqüència relativa entre dues prominències espectrals s'hi ha adjuntat l'abreviatura fR (freqüència Relativa).

**Taula 2.1.** Concatenació d'escalles, essent el primer harmònic (F0) = 200Hz

<b>1</b>	<b>9/8</b>	<b>5/4</b>	<b>4/3</b>	<b>3/2</b>	<b>5/3</b>	<b>15/8</b>	<b>2</b>	<b>fR</b>
200	225	250	267	300	333	375	400	Hz
<b>2</b>	<b>2·9/8</b>	<b>2·5/4</b>	<b>2·4/3</b>	<b>2·3/2</b>	<b>2·5/3</b>	<b>2·15/8</b>	<b>4</b>	<b>fR</b>
400	450	500	533	600	667	750	800	Hz
<b>4</b>	<b>4·9/8</b>	<b>4·5/4</b>	<b>4·4/3</b>	<b>4·3/2</b>	<b>4·5/3</b>	<b>4·15/8</b>	<b>8</b>	<b>fR</b>
800	900	1000	1067	1200	1333	1500	1600	Hz
<b>8</b>	<b>8·9/8</b>	<b>8·5/4</b>	<b>8·4/3</b>	<b>8·3/2</b>	<b>8·5/3</b>	<b>8·15/8</b>	<b>16</b>	<b>fR</b>
1600	1800	2000	2133	2400	2667	3000	3200	Hz

Si considerem que 1 és F0 i concatenem les escales per octaves (taula 2.1), cada fracció indicarà matemàticament la relació vibratòria del formant vocàlic amb l'F0, exemples (1) y (2). Aquest mecanisme ens permet calcular directament la distància entre F0 i els formants, exemple (3). Per obtenir la freqüència relativa de l'interval F1~F2 cal dividir la freqüència relativa de l'interval F0~F2 per la freqüència relativa de l'interval F0~F1, exemple (4). I per obtenir la freqüència relativa de l'interval F2~F3 s'ha de dividir la freqüència relativa de l'interval F0~F3 per la freqüència relativa de l'interval F0~F2, exemple (5).

**(1)** Si tenim que F0 = 200Hz, la seva octava serà 400Hz i l'octava de la seva octava serà 800Hz. Per tant la distància vibratòria entre 200Hz i 800Hz és de 4 vegades 200 Hz; és a dir, si hi ha un formant a 800Hz, la distància que el separa de l'F0 és de 4fR.

**(2)** Si l'F0 són 200Hz i hi ha un formant a 1333Hz, aquest formant es troba a una distància de  $4 \cdot 5/3fR$  en relació al primer harmònic, perquè  $200 \times 4(5/3) = 1333\text{Hz}$ .

**(3)** Per a una vocal amb:

$$F0 = 200 \text{ Hz}, F1 = 998\text{Hz}, F2 = 1300\text{Hz} ; F3 = 2018\text{Hz}$$

El primer pas és buscar la freqüència relativa entre F0 i F1, entre F0 i F2 i entre F0 i F3.

$$F0 \sim F1 = 4 \cdot 5/4 \quad (200 \times 4(5/4) = 1000)$$

$$F0 \sim F2 = 4 \cdot 5/3 \quad (200 \times 4(5/3) = 1333)$$

$$F0 \sim F3 = 8 \cdot 5/4 \quad (200 \times 8(5/4) = 2000)$$

$200 \times 4(5/4) = 1000$ , que és el valor més proper a 998Hz (taula 6); és a dir, la vibració d'F1 té una freqüència relativa de  $4 \cdot 5/4$  respecte a F0.

$200 \times 4(5/3) = 1333$ , que és el valor més proper a 1300 Hz; és a dir, la vibració d'F2 té una freqüència relativa de  $4 \cdot 5/3$  respecte a F0. Finalment, amb F3 tenim que  $200 \times 8(5/4) = 2000$ , que és el valor més proper a 2018 Hz.

$$(4) \quad F1 \sim F2 = (F0 \sim F2) - (F0 \sim F1)$$

$$F0 \sim F2 = 4 \cdot 5/3$$

$$F0 \sim F1 = 4 \cdot 5/4$$

Per facilitar l'operació aritmètica, es redueixen els quebrats pel seu màxim comú divisor (que en aquest cas és 4).

$$F1 \sim F2 = (5/3) : (5/4) = 20/15$$

El quebrat final sempre es redueix pel seu màxim comú divisor (en aquest cas, 5) obtenim:

$$F1 \sim F2 = 4/3 fR$$

$$(5) \quad F2 \sim F3 = (F0 \sim F3) - (F0 \sim F2)$$

$$F0 \sim F3 = 8 \cdot 5/4$$

$$F0 \sim F2 = 4 \cdot 5/3$$

$$F2 \sim F3 = (2 \cdot 5/4) : (5/3) = 3/2 fR$$

Per tant, les freqüències relatives dels intervals són:

- interval  $F0 \sim F1 = 4 \cdot 5/4 fR$
- interval  $F1 \sim F2 = 4/3 fR$
- interval  $F2 \sim F3 = 3/2 fR$

El càlcul de les fR dels intervals  $F1 \sim F2$  i  $F2 \sim F3$  va generar una escala de freqüències relatives molt més gran<sup>22</sup>, perquè no pas sempre els quebrats d'aquests intervals es corresponien amb els de l'escala natural (taula 2.2).

---

<sup>22</sup> Fins el punt que apareixen tots els intervals de l'escala musical: 16/15 (segona menor), 9/8 (segona major), 6/5 (tercera menor), 5/4 (tercera major), 4/3 (cuarta), 3/2 (quinta), 2/1 (octava).



**Taula 2.2.** Escala de les freqüències relatives, ordenada per octaves (en negreta, les fR corresponents a l'escala inicial)

1 <sup>a</sup> octava	2 <sup>a</sup> octava	3 <sup>a</sup> octava	4 <sup>a</sup> octava
<b>1</b>	2	4	8
16/15	2·16/15	4·16/15	8·16/15
10/9	2·10/9	4·10/9	8·10/9
<b>9/8</b>	2·9/8	4·9/8	8·9/8
32/27	2·32/27	4·32/27	8·32/27
6/5	2·6/5	4·6/5	8·6/5
<b>5/4</b>	2·5/4	4·5/4	8·5/4
<b>4/3</b>	2·4/3	4·4/3	8·4/3
27/20	2·27/20	4·27/20	8·27/20
45/32	2·45/32	4·45/32	8·45/32
64/45	2·64/45	4·64/45	8·64/45
40/27	2·40/27	4·40/27	8·40/27
<b>3/2</b>	2·3/2	4·3/2	8·3/2
8/5	2·8/5	4·8/5	8·8/5
<b>5/3</b>	2·5/3	4·5/3	8·5/3
27/16	2·27/16	4·27/16	8·27/16
16/9	2·16/9	4·16/9	8·16/9
9/5	2·9/5	4·9/5	8·9/5
<b>15/8</b>	2·15/8	4·15/8	8·15/8
<b>2</b>	4	8	16
<b>fR</b>	<b>fR</b>	<b>fR</b>	<b>fR</b>

**Taula 2.3.** Taula de càlcul de les freqüències relatives

taula d'fR							
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2
9/8	2	10/9	32/27	4/3	40/27	5/3	16/9
5/4	9/5	2	16/15	6/5	4/3	3/2	8/5
4/3	27/16	15/8	2	9/8	5/4	45/32	3/2
3/2	3/2	5/3	16/9	2	10/9	5/4	4/3
5/3	27/20	3/2	8/5	9/5	2	9/8	6/5
15/8	6/5	4/3	64/45	8/5	16/9	2	16/15
2	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2

A la taula de càlcul de freqüències relatives (taula 2.3) apareixen tots els intervals que hi ha dins l'octava., de manera que podem obtenir les freqüències relatives d'F1-F2 i F2-F3 sense haver de fer operacions matemàtiques, (6) i (7). L'eix horitzontal (x) sempre es correspon amb el formant més alt i l'eix vertical (y), amb el més baix.

(6)  $F1 \sim F2 = (F0 \sim F2) - (F0 \sim F1)$

$$F0 \sim F1 = 2 \cdot 3/2$$

$$F0 \sim F2 = 4 \cdot 5/4$$

Entre aquest dos intervals hi ha menys d'una octava (l'octava seria  $4 \cdot 5/4$ ), per tant, es prescindeix dels números enters i es busca el quebrat que és al punt d'intersecció entre  $3/2$  i  $5/4$  (eixos y i x, respectivament). El resultat és: : **F1~F2 = 5/3.**

taula d'fR
------------

1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2	F0-F2
9/8	2	10/9	32/27	4/3	40/27	5/3	16/9	
5/4	9/5	2	16/15	6/5	4/3	3/2	8/5	
4/3	27/16	15/8	2	9/8	5/4	45/32	3/2	
3/2	3/2	5/3	16/9	2	10/9	5/4	4/3	
5/3	27/20	3/2	8/5	9/5	2	9/8	6/5	
15/8	6/5	4/3	64/45	8/5	16/9	2	16/15	
2	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2	
F0-F1								

(7)  $F1\sim F3 = (F0\sim F3) - (F0\sim F2)$

$$F0\sim F2 = 4\cdot 5/4$$

$$F0\sim F3 = 16\cdot 9/8$$

Entre aquest dos intervals hi ha una octava (de  $4\cdot 5/4$  a  $8\cdot 5/4$ ), per tant, es busca el quebrat que és al punt d'intersecció entre  $5/4$  i  $9/8$ .

taula d'fR								
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2	F0-F3
9/8	2	10/9	32/27	4/3	40/27	5/3	16/9	
5/4	9/5	2	16/15	6/5	4/3	3/2	8/5	
4/3	27/16	15/8	2	9/8	5/4	45/32	3/2	
3/2	3/2	5/3	16/9	2	10/9	5/4	4/3	
5/3	27/20	3/2	8/5	9/5	2	9/8	6/5	
15/8	6/5	4/3	64/45	8/5	16/9	2	16/15	
2	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2	
F0-F2								

El resultat és 2 (per l'octava) i  $9/5$  pel resultat que dona la taula de freqüències relatives:  $F2\sim F3 = 2\cdot 9/5$

### 2.3.1 La freqüència relativa a l'interval F0~F1

Quan en el primer interval ( $F_0 \sim F_1$ ) la freqüència relativa és més petita que  $2 fR$ , se li assigna el valor  $1fR$  perquè per sota de  $2fR$ , que és l'octava del primer harmònic de la relació, la  $fR$  marca relacions de vibració insignificants.

**(8)**  $F_0 = 210\text{Hz}$ ,  $F_1 = 300\text{Hz}$

$$210\text{Hz} \times 2fR = 420\text{Hz};$$

$$300\text{Hz} - 210\text{Hz} = 90\text{Hz}$$

$$420\text{Hz} - 300\text{Hz} = 120\text{Hz}$$

$$\text{Per tant, } F_0 \sim F_1 = 1fR.$$

Quan hi ha molt poca distància entre dues freqüències, el que es percep és una freqüència intermèdia, a causa del fenomen perceptiu del centre espectral de gravetat (Chistovich i Lublinskaya, 1979). Aquests casos, que es poden comprovar per observació visual en un gràfic de LPC, es donen a l'interval  $F_0 \sim F_1$  de la vocal [i] i a l'interval  $F_1 \sim F_2$  de les vocals [u] i [a]. Stevens (1998:273) comenta que les freqüències (Hz) baixes d' $F_1$  produeixen respostes auditives que sincronitzen amb la freqüència d' $F_0$ . En conseqüència i per simplificar el mètode, s'ha optat per donar el valor  $1fR$  a les relacions de vibració de l'interval  $F_0 \sim F_1$  que surten per sota de  $2fR$ .

## 2.4 Resultats: La base de dades

Cada vocal analitzada té el resultat del càlcul de la fR dels interval més l'F0 (Hz) de 30 mostres, les quals han estat numerades del 01 al 30. El número de la centena correspon al número ordinal de la vocal, des de l'alta anterior a l'alta posterior:<sup>23</sup>

- [i]: mostres de la 101 a la 130.
- [e]: mostres de la 201 a la 230.
- [ɛ]: mostres de la 301 a la 330.
- [a]: mostres de la 401 a la 430.
- [ɔ]: mostres de la 501 a la 530.
- [o]: mostres de la 601 a la 630.
- [u]: mostres de la 701 a la 730.

Aquests resultats són la base de dades amb la qual es va obtenir les freqüències relatives que marquen el límit de domini dels trets distintius assignats als intervals (vegeu capítol 4). Per aconseguir aquest objectiu, els

---

<sup>23</sup>Així ens va ser més fàcil identificar la mostra durant la recerca per raons tipogràfiques, és més fàcil i ràpid escriure i classificar en qualsevol format 512 o 317 que no pas [ø]12 i [ɛ]17. De totes maneres, com es pot observar, a les taules del corpus hi ha la columna corresponent al número de mostra per informant, la qual cosa permet remetre als resultats del capítol anterior.

resultats es van ordenar de manera que les vocals quedessin classificades per:

- l'interval  $F0 \sim F1$  en funció d' $F0$ ,
- l'interval  $F1 \sim F2$  i
- l'interval  $F2 \sim F3$ .

mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	
<b>101</b>	i	233	1	8·3/2	10/9	<i>MLD01</i>
<b>102</b>	i	231	1	8·3/2	10/9	<i>MLD02</i>
<b>103</b>	i	229	1	8·3/2	10/9	<i>ESD01</i>
<b>104</b>	i	236	1	8·5/3	6/5	<i>CPD01</i>
<b>105</b>	i	231	1	8·5/3	6/5	<i>CPD02</i>
<b>106</b>	i	203	1	8·5/3	27/20	<i>CPD03</i>
<b>107</b>	i	223	2	4·3/2	10/9	<i>ESD02</i>
<b>108</b>	i	218	2	4·3/2	10/9	<i>ESD03</i>
<b>109</b>	i	205	2	4·3/2	5/4	<i>MLD03</i>
<b>110</b>	i	198	2	4·3/2	10/9	<i>JBH01</i>
<b>111</b>	i	181	2	4·3/2	5/4	<i>JBH02</i>
<b>112</b>	i	145	2	8·9/8	4/3	<i>FGH01</i>

mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	
113	i	197	2	4·5/3	4/3	FGH02
114	i	200	2	4·5/3	6/5	CPD04
115	i	194	2	4·5/3	6/5	ESD04
116	i	193	2	4·5/3	6/5	MLD04
117	i	188	2	4·5/3	6/5	ESD05
118	i	174	2	4·5/3	6/5	FGH03
119	i	160	2	4·5/3	27/20	JBH03
120	i	190	2	4·15/8	6/5	CPD05
121	i	183	2	4·15/8	6/5	MLD05
122	i	168	2	4·15/8	6/5	FGH04
123	i	155	2	4·15/8	4/3	FGH05
124	i	143	2	8	5/4	JBH04
125	i	125	2	8·9/8	32/27	JBH05
126	i	130	2	8·9/8	4/3	RCH01
127	i	130	2	8·9/8	4/3	RCH02
128	i	123	2·3/2	4·3/2	32/27	RCH03
129	i	115	2·3/2	4·3/2	32/27	RCH04

mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)	
<b>130</b>	i	110	2·3/2	4·16/9	5/4	<i>RCH05</i>
<b>201</b>	e	237	2	4·9/8	40/27	<i>ESD06</i>
<b>202</b>	e	226	2	4·4/3	5/4	<i>MLD06</i>
<b>203</b>	e	226	2	4·5/4	4/3	<i>ESD07</i>
<b>204</b>	e	225	2	4·4/3	5/4	<i>MLD07</i>
<b>205</b>	e	219	2	4·5/4	4/3	<i>ESD08</i>
<b>206</b>	e	218	2	4·4/3	5/4	<i>MLD08</i>
<b>207</b>	e	218	2	4·4/3	45/32	<i>CPD06</i>
<b>208</b>	e	217	2	4·4/3	5/4	<i>ESD09</i>
<b>209</b>	e	215	2	4·4/3	5/4	<i>MLD09</i>
<b>210</b>	e	213	2	4·4/3	5/4	<i>MLD10</i>
<b>211</b>	e	194	2	4·4/3	5/4	<i>FGH06</i>
<b>212</b>	e	184	2·3/2	4·10/9	6/5	<i>CPD07</i>
<b>213</b>	e	183	2·3/2	4·5/4	6/5	<i>CPD08</i>
<b>214</b>	e	176	2·3/2	4·10/9	6/5	<i>ESD10</i>
<b>215</b>	e	175	2·3/2	4·5/4	4/3	<i>CPD09</i>
<b>216</b>	e	169	2·3/2	2·16/9	45/32	<i>JBH06</i>



mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)	
<b>217</b>	e	163	2·3/2	4	5/4	<i>JBH07</i>
<b>218</b>	e	162	2·3/2	4·4/3	5/4	<i>CPD10</i>
<b>219</b>	e	155	2·3/2	4·5/4	6/5	<i>FGH07</i>
<b>220</b>	e	152	2·3/2	4·10/9	27/20	<i>JBH08</i>
<b>221</b>	e	151	2·3/2	4·10/9	27/20	<i>FGH08</i>
<b>222</b>	e	149	2·3/2	4·5/4	6/5	<i>FGH09</i>
<b>223</b>	e	138	2·3/2	4·4/3	5/4	<i>FGH10</i>
<b>224</b>	e	137	2·3/2	4·10/9	27/20	<i>RCH06</i>
<b>225</b>	e	131	2·3/2	4·4/3	5/4	<i>JBH09</i>
<b>226</b>	e	130	2·3/2	4·5/4	6/5	<i>RCH07</i>
<b>227</b>	e	129	2·3/2	4·4/3	4/3	<i>RCH08</i>
<b>228</b>	e	130	2·3/2	4·4/3	4/3	<i>RCH09</i>
<b>229</b>	e	118	4	4·9/8	4/3	<i>RCH10</i>
<b>230</b>	e	106	4	4·9/8	4/3	<i>JBH10</i>
<b>301</b>	ɛ	218	2·3/2	2·5/3	4/3	<i>ESD11</i>
<b>302</b>	ɛ	209	2·3/2	2·5/3	3/2	<i>MLD11</i>
<b>303</b>	ɛ	220	2·3/2	2·16/9	5/4	<i>ESD12</i>

mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	
<b>304</b>	ε	219	2·3/2	2·16/9	5/4	<i>ESD13</i>
<b>305</b>	ε	211	2·3/2	2·16/9	5/4	<i>ESD14</i>
<b>306</b>	ε	204	4	2·5/4	6/5	<i>CPD11</i>
<b>307</b>	ε	208	4	2·5/4	4/3	<i>ESD15</i>
<b>308</b>	ε	209	4	2·4/3	45/32	<i>MLD12</i>
<b>309</b>	ε	203	4	2·4/3	3/2	<i>MLD13</i>
<b>310</b>	ε	203	4	2·3/2	4/3	<i>MLD14</i>
<b>311</b>	ε	182	4	2·4/3	3/2	<i>MLD15</i>
<b>312</b>	ε	153	4	2·4/3	27/16	<i>JBH11</i>
<b>313</b>	ε	156	4	2·3/2	5/4	<i>FGH11</i>
<b>314</b>	ε	188	4	2·3/2	4/3	<i>CPD12</i>
<b>315</b>	ε	172	4	2·3/2	5/4	<i>FGH12</i>
<b>316</b>	ε	156	4	2·5/3	9/8	<i>JBH12</i>
<b>317</b>	ε	170	4	2·5/3	6/5	<i>CPD13</i>
<b>318</b>	ε	175	4	2·5/3	27/20	<i>CPD14</i>
<b>319</b>	ε	169	4	2·5/3	27/20	<i>CPD15</i>
<b>320</b>	ε	152	4	2·5/3	27/20	<i>FGH13</i>

mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	
<b>321</b>	ε	141	4	2·15/8	4/3	<i>FGH14</i>
<b>322</b>	ε	140	4	2·15/8	4/3	<i>FGH15</i>
<b>323</b>	ε	133	4	2·15/8	4/3	<i>JBH13</i>
<b>324</b>	ε	133	4·5/4	2·4/3	6/5	<i>JBH14</i>
<b>325</b>	ε	125	4·5/4	2·4/3	3/2	<i>RCH11</i>
<b>326</b>	ε	123	4·5/4	2·3/2	6/5	<i>RCH12</i>
<b>327</b>	ε	111	4·5/4	2·8/5	3/2	<i>RCH13</i>
<b>328</b>	ε	115	4·5/4	2·9/5	4/3	<i>RCH14</i>
<b>329</b>	ε	114	4·3/2	2·4/3	4/3	<i>RCH15</i>
<b>330</b>	ε	106	4·3/2	2·3/2	4/3	<i>JBH15</i>
<b>401</b>	a	209	4	2	5/3	<i>ESD16</i>
<b>402</b>	a	213	4	2·9/8	4/3	<i>MLD16</i>
<b>403</b>	a	216	4	2·9/8	40/27	<i>ESD17</i>
<b>404</b>	a	206	4·5/4	8/5	5/3	<i>ESD18</i>
<b>405</b>	a	206	4·5/4	9/5	40/27	<i>MLD17</i>
<b>406</b>	a	199	4·5/4	4/3	2	<i>MLD18</i>
<b>407</b>	a	195	4·5/4	8/5	15/8	<i>MLD19</i>

mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	
<b>408</b>	a	200	4·5/4	9/5	5/3	<i>MLD20</i>
<b>409</b>	a	197	4·5/4	9/5	40/27	<i>CPD16</i>
<b>410</b>	a	194	4·5/4	9/5	40/27	<i>ESD19</i>
<b>411</b>	a	181	4·5/4	9/5	5/3	<i>ESD20</i>
<b>412</b>	a	186	4·5/4	2	3/2	<i>CPD17</i>
<b>413</b>	a	156	4·5/4	2	3/2	<i>FGH16</i>
<b>414</b>	a	176	4·3/2	5/3	3/2	<i>CPD18</i>
<b>415</b>	a	170	4·3/2	5/3	8/5	<i>CPD19</i>
<b>416</b>	a	145	4·3/2	5/3	8/5	<i>FGH17</i>
<b>417</b>	a	146	4·3/2	5/3	9/5	<i>FGH18</i>
<b>418</b>	a	134	4·3/2	5/3	9/5	<i>FGH19</i>
<b>419</b>	a	141	4·3/2	16/9	3/2	<i>FGH20</i>
<b>420</b>	a	137	4·3/2	16/9	3/2	<i>JBH16</i>
<b>421</b>	a	138	4·3/2	16/9	27/16	<i>JBH17</i>
<b>422</b>	a	129	4·3/2	2	3/2	<i>RCH16</i>
<b>423</b>	a	128	4·3/2	2·10/9	27/20	<i>RCH17</i>
<b>424</b>	a	168	4·3/2	5/3	8/5	<i>CPD20</i>

mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	
<b>425</b>	a	134	4•5/3	3/2	8/5	<i>JBH18</i>
<b>426</b>	a	135	4•5/3	8/5	15/8	<i>JBH19</i>
<b>427</b>	a	118	4•5/3	8/5	15/8	<i>RCH18</i>
<b>428</b>	a	115	4•5/3	9/5	16/9	<i>RCH19</i>
<b>429</b>	a	114	4•5/3	9/5	16/9	<i>RCH20</i>
<b>430</b>	a	113	8	4/3	15/8	<i>JBH20</i>
<b>501</b>	o	260	2•3/2	5/3	2	<i>ESD21</i>
<b>502</b>	o	209	4	5/4	2•4/3	<i>MLD21</i>
<b>503</b>	o	226	4	3/2	2	<i>ESD22</i>
<b>504</b>	o	206	4	5/3	2	<i>ESD23</i>
<b>505</b>	o	211	4	5/3	2	<i>ESD24</i>
<b>506</b>	o	182	4	5/4	2•4/3	<i>FGH21</i>
<b>507</b>	o	181	4	3/2	2•10/9	<i>MLD22</i>
<b>508</b>	o	147	4	3/2	2•5/4	<i>JBH21</i>
<b>509</b>	o	192	4	5/3	2	<i>CPD21</i>
<b>510</b>	o	168	4	5/3	2•9/8	<i>MLD23</i>
<b>511</b>	o	179	4	5/3	2•6/5	<i>ESD25</i>

mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	
<b>512</b>	o	137	4	5/3	2·6/5	FGH22
<b>513</b>	o	139	4	5/3	2·27/20	FGH23
<b>514</b>	o	196	4·5/4	1	2·3/2	MLD24
<b>515</b>	o	198	4·5/4	6/5	2·10/9	MLD25
<b>516</b>	o	175	4·5/4	4/3	2·6/5	CPD22
<b>517</b>	o	157	4	5/3	2·10/9	CPD23
<b>518</b>	o	134	4·5/4	4/3	2·3/2	FGH24
<b>519</b>	o	137	4·5/4	3/2	2·4/3	JBH22
<b>520</b>	o	163	4·5/4	8/5	2	CPD24
<b>521</b>	o	150	4·5/4	8/5	2	JBH23
<b>522</b>	o	169	4·5/4	8/5	2	CPD25
<b>523</b>	o	134	4·5/4	8/5	2·9/8	RCH21
<b>524</b>	o	130	4·5/4	8/5	2·9/8	RCH22
<b>525</b>	o	123	4·5/4	8/5	2·5/4	RCH23
<b>526</b>	o	120	4·5/4	9/5	2	FGH25
<b>527</b>	o	115	4·5/4	9/5	2·10/9	RCH24
<b>528</b>	o	110	4·3/2	4/3	2·4/3	JBH24

mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)	
<b>529</b>	o	114	4·3/2	3/2	2·32/27	<i>RCH25</i>
<b>530</b>	o	98	4·3/2	5/3	2·16/15	<i>JBH25</i>
<b>601</b>	o	212	2·3/2	5/3	2·4/3	<i>CPD26</i>
<b>602</b>	o	229	2·3/2	5/3	2·6/5	<i>MLD26</i>
<b>603</b>	o	222	2·3/2	2	2·10/9	<i>ESD26</i>
<b>604</b>	o	210	2·3/2	2	2·10/9	<i>ESD27</i>
<b>605</b>	o	194	2·3/2	5/3	2·6/5	<i>MLD27</i>
<b>606</b>	o	182	2·3/2	5/3	2·3/2	<i>ESD28</i>
<b>607</b>	o	182	2·3/2	5/3	2·3/2	<i>ESD29</i>
<b>608</b>	o	159	2·3/2	5/3	2·3/2	<i>JBH26</i>
<b>609</b>	o	155	2·3/2	5/3	2·3/2	<i>FGH26</i>
<b>610</b>	o	183	2·3/2	5/3	2·8/5	<i>CPD27</i>
<b>611</b>	o	164	2·3/2	2·10/9	2·9/8	<i>CPD28</i>
<b>612</b>	o	179	2·3/2	5/3	2·8/5	<i>CPD29</i>
<b>613</b>	o	177	2·3/2	5/3	2·8/5	<i>MLD28</i>
<b>614</b>	o	172	2·3/2	5/3	2·8/5	<i>MLD29</i>
<b>615</b>	o	162	2·3/2	5/3	2·8/5	<i>FGH27</i>

mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)	
<b>616</b>	o	164	2·3/2	2	2·10/9	<i>FGH28</i>
<b>617</b>	o	163	2·3/2	2	2	<i>JBH27</i>
<b>618</b>	o	187	2·3/2	2	2·10/9	<i>CPD30</i>
<b>619</b>	o	184	2·3/2	2	2·10/9	<i>FGH29</i>
<b>620</b>	o	178	2·3/2	2	2·5/4	<i>MLD30</i>
<b>621</b>	o	155	2·3/2	2	2·3/2	<i>FGH30</i>
<b>622</b>	o	178	2·3/2	2·10/9	2·9/8	<i>ESD30</i>
<b>623</b>	o	154	2·3/2	2·10/9	2	<i>JBH28</i>
<b>624</b>	o	158	2·3/2	2	2·10/9	<i>JBH29</i>
<b>625</b>	o	124	4	2·9/8	2	<i>RCH26</i>
<b>626</b>	o	122	4	2·9/8	2·10/9	<i>RCH27</i>
<b>627</b>	o	115	4	2·9/8	2·10/9	<i>RCH28</i>
<b>628</b>	o	119	4	2	2·5/4	<i>RCH29</i>
<b>629</b>	o	110	4	2	2·3/2	<i>RCH30</i>
<b>630</b>	o	107	4	2·5/4	2·16/15	<i>JBH30</i>
<b>701</b>	u	231	2	1	4·3/2	<i>CPD31</i>
<b>702</b>	u	224	2	1	4·5/3	<i>CPD32</i>



mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	
<b>703</b>	u	245	2	3/2	4	<i>MLD31</i>
<b>704</b>	u	217	2	3/2	4	<i>FGH31</i>
<b>705</b>	u	201	2	3/2	4	<i>FGH32</i>
<b>706</b>	u	230	2	3/2	4·10/9	<i>ESD31</i>
<b>707</b>	u	247	2	3/2	2·16/9	<i>MLD32</i>
<b>708</b>	u	198	2	2	4	<i>ESD32</i>
<b>709</b>	u	231	2	2	2·4/3	<i>MLD33</i>
<b>710</b>	u	253	2	2	2·4/3	<i>ESD33</i>
<b>711</b>	u	235	2	2·5/4	2·6/5	<i>ESD34</i>
<b>712</b>	u	196	2	2·5/4	2·16/15	<i>FGH33</i>
<b>713</b>	u	242	2	2	2·3/2	<i>CPD33</i>
<b>714</b>	u	186	2	3/2	4·5/4	<i>CPD34</i>
<b>715</b>	u	192	2	2	2·4/3	<i>JBH31</i>
<b>716</b>	u	194	2	2	2·5/3	<i>MLD34</i>
<b>717</b>	u	190	2	2	2·15/8	<i>CPD35</i>
<b>718</b>	u	189	2	2	2·15/8	<i>ESD35</i>
<b>719</b>	u	160	2	2	2·15/8	<i>FGH34</i>

<b>mostra</b>	<b>vocal</b>	<b>F0 (Hz)</b>	<b>F0~F1(fR)</b>	<b>F1~F2(fR)</b>	<b>F2~F3(fR)</b>	
<b>720</b>	u	195	2	2·5/4	2·6/5	<i>JBH32</i>
<b>721</b>	u	192	2	2·5/4	2·6/5	<i>FGH35</i>
<b>722</b>	u	186	2	2·5/4	2·3/2	<i>MLD35</i>
<b>723</b>	u	148	2	2·5/4	2·3/2	<i>JBH33</i>
<b>724</b>	u	146	2	2·3/2	2·4/3	<i>RCH31</i>
<b>725</b>	u	121	2·3/2	5/3	2·9/5	<i>JBH34</i>
<b>726</b>	u	124	2·3/2	2	2·16/9	<i>JBH35</i>
<b>727</b>	u	121	2·3/2	5/3	4·16/15	<i>RCH32</i>
<b>728</b>	u	119	2·3/2	2	2·16/9	<i>RCH33</i>
<b>729</b>	u	119	2·3/2	2	2·16/9	<i>RCH34</i>
<b>730</b>	u	237	2	2	2·3/2	<i>RCH35</i>

## **ANNEX I**

### ***Dades obtingudes de l'anàlisi acústica de les vocals***

Les dades acústiques obtingudes dels corpus de vocals (apartat 2.1) s'han dividit per informants i les mostres s'han registrat amb les dues primeres inicials de l'informant, el sexe (D/H) i la següent enumeració per vocal:

- 01-05 = [i]
- 06-10 = [e]
- 11-15 = [ɛ]
- 16-20 = [a]
- 21-25 = [ɔ]
- 26-30 = [o]
- 31-35 = [u]

Taula A.1. Freqüències absolutes (Hz) de les mostres de CPD

mostra	vocal	SS*	Espectre			LPC		
		F0	F1	F2	F3	F1	F2	F3
CPD01	i	<b>236</b>	452	3235		<b>301</b>	<b>2863</b>	<b>3316</b>
CPD02	i	<b>231</b>	463	2955	3623	<b>258</b>	<b>2971</b>	<b>3596</b>
CPD03	i	<b>203</b>	409	2821	3618	<b>258</b>	<b>2885</b>	<b>3660</b>
CPD04	i	<b>200</b>	<b>404</b>	<b>2799</b>	<b>3203</b>	366	2777	3229
CPD05	i	<b>190</b>	<b>382</b>	<b>2875</b>	<b>3337</b>	322	2842	3337
CPD06	e	<b>218</b>	<b>436</b>	<b>2406</b>	<b>3235</b>	452	2390	3229
CPD07	e	<b>184</b>	<b>549</b>	<b>2390</b>	<b>3047</b>	538	2304	3165
CPD08	e	<b>183</b>	<b>361</b>	<b>2735</b>	<b>3267</b>	473	2777	3466
CPD09	e	<b>175</b>	<b>495</b>	<b>2627</b>	<b>3359</b>	495	2627	3509
CPD10	e	<b>162</b>	<b>484</b>	<b>2600</b>	<b>3295</b>	452	2583	3294
CPD11	ɛ	<b>204</b>	<b>813</b>	<b>2094</b>	<b>2530</b>	796	2045	2713
CPD12	ɛ	<b>188</b>	<b>748</b>	<b>2266</b>	<b>3033</b>	689	2196	3103
CPD13	ɛ	<b>170</b>	<b>680</b>	<b>2202</b>	<b>2875</b>	710	2476	3014
CPD14	ɛ	<b>175</b>	<b>705</b>	<b>2336</b>	<b>3205</b>	689	2325	3316
CPD15	ɛ	<b>169</b>	<b>673</b>	<b>2358</b>	<b>3203</b>	689	2325	3273
CPD16	a	<b>197</b>	<b>985</b>	<b>1750</b>	<b>2595</b>	968	1851	2627
CPD17	a	<b>186</b>	<b>937</b>	<b>1841</b>	<b>2670</b>	904	1830	2670
CPD18	a	<b>176</b>	<b>1044</b>	<b>1766</b>	<b>2643</b>	1033	1787	2583
CPD19	a	<b>170</b>	<b>1023</b>	<b>1707</b>	<b>2735</b>	1076	1765	2885
CPD20	a	<b>168</b>	<b>1001</b>	<b>1674</b>	<b>2686</b>	1033	1679	2648
CPD21	ɔ	<b>192</b>	<b>764</b>	<b>1362</b>	<b>2511</b>	861	1421	2511
CPD22	ɔ	<b>175</b>	<b>877</b>	<b>1233</b>	<b>2799</b>	818	1227	2906
CPD23	ɔ	<b>157</b>	<b>624</b>	<b>1093</b>	<b>2357</b>	527	1119	2357
CPD24	ɔ	<b>163</b>	<b>813</b>	<b>1297</b>	<b>2562</b>	904	1356	2633
CPD25	ɔ	<b>169</b>	<b>845</b>	<b>1346</b>	<b>2793</b>	796	1345	2793
CPD26	o	<b>212</b>	<b>624</b>	<b>1077</b>	<b>2993</b>	538	1141	2993
CPD27	o	<b>183</b>	<b>549</b>	<b>904</b>	<b>3012</b>	559	904	3100
CPD28	o	<b>164</b>	<b>484</b>	<b>1141</b>	2476	516	1076	2476
CPD29	o	<b>179</b>	<b>533</b>	<b>888</b>	<b>2777</b>	473	880	2777
CPD30	o	<b>187</b>	<b>560</b>	<b>1109</b>	<b>2390</b>	516	1141	2390
CPD31	u	<b>231</b>	<b>468</b>			<b>473</b>	<b>473</b>	<b>2627</b>
CPD32	u	<b>224</b>	<b>452</b>	<b>452</b>	<b>2971</b>	484	484	2971
CPD33	u	<b>242</b>	<b>484</b>	<b>985</b>	<b>2842</b>	409	1076	2842
CPD34	u	<b>186</b>	<b>361</b>	<b>533</b>	<b>2831</b>	570	570	2831
CPD35	u	<b>190</b>	<b>377</b>	<b>748</b>	<b>2863</b>	366	732	2863

(\*) Estadística del programa SoundScope

**Taula A.2.** Freqüències absolutes (Hz) de les mostres de **ESD**

mostra	vocal	SS*	Espectre			LPC		
		F0	F1	F2	F3	F1	F2	F3
ESD01	i	229	237	2799	3036	258	2713	3143
ESD02	i	223	431	2627	3036	366	2551	3046
ESD03	i	218	431	2627	3036	366	2597	3003
ESD04	i	194	377	2519	3079	301	2519	3143
ESD05	i	188	377	2606	3058	366	2605	3337
ESD06	e	237	474	2132	3037	506	2196	3025
ESD07	e	226	452	2293	2982	559	2153	2928
ESD08	e	219	441	2186	3047	473	2217	2971
ESD09	e	217	420	2358	2982	430	2390	3014
ESD10	e	176	517	2433	2972	516	2325	2950
ESD11	ɛ	218	657	2175	2832	689	2239	3079
ESD12	ɛ	220	657	2358	3122	667	2368	3057
ESD13	ɛ	219	646	2347	2993	699	2207	3046
ESD14	ɛ	211	646	2304	2907	689	2196	3014
ESD15	ɛ	208	840	2067	2907	753	2067	2993
ESD16	a	209	840	1669	2710	904	1701	2806
ESD17	a	216	894	1895	2735	839	1894	2799
ESD18	a	206	1034	1637	2670	968	1593	2756
ESD19	a	194	969	1723	2624	925	1722	2713
ESD20	a	181	894	1626	2724	947	1614	2734
ESD21	ɔ	260	786	1292	2627	775	1356	2605
ESD22	ɔ	226	883	1335	2649	839	1378	2670
ESD23	ɔ	206	840	1464	2770	796	1442	2782
ESD24	ɔ	211	818	1443	2749	839	1442	2770
ESD25	ɔ	179	721	1249	2864	775	1227	2848
ESD26	o	222	646	1314	2821	570	1324	2756
ESD27	o	210	603	1227	2713	516	1205	2737
ESD28	o	182	549	904	2702	495	947	2842
ESD29	o	182	560	904	2799	538	904	2777
ESD30	o	178	528	1249	2530	581	1227	2627
ESD31	u	230	452	689	3004	473	775	2993
ESD32	u	198	398	786	3122	409	753	3122
ESD33	u	253	517	991	2750	472	1012	2756
ESD34	u	235	474	1141	2778	473	1162	2842
ESD35	u	189	377	754	2875	409	775	2906

(\*) Estadística del programa *SoundScope*

**Taula A.3.** Freqüències absolutes (Hz) de les mostres de **FGH**

mostra	vocal	SS*	Espectre			LPC		
		F0	F1	F2	F3	F1	F2	F3
FGH01	i	145	296	2719	3500	279	2670	3402
FGH02	i	197	393	2562	3580	344	2519	3596
FGH03	i	174	355	2433	2799	258	2411	2863
FGH04	i	168	328	2482	2842	301	2497	2971
FGH05	i	155	296	2342	3095	301	2433	3079
FGH06	e	194	393	2078	2611	430	2110	2605
FGH07	e	155	452	2239	2864	387	2347	2950
FGH08	e	151	452	2094	2686	430	2067	2670
FGH09	e	149	441	2283	2735	366	2282	2620
FGH10	e	138	404	2202	2767	409	2131	2713
FGH11	ɛ	156	608	1922	2374	581	1894	2583
FGH12	ɛ	172	673	1994	2595	624	1989	2605
FGH13	ɛ	152	603	1970	2735	559	1959	2648
FGH14	ɛ	141	560	2078	2767	581	2131	2820
FGH15	ɛ	140	560	2110	2785	516	2110	2777
FGH16	a	156	781	1577	2299	732	1614	2304
FGH17	a	145	861	1437	2439	925	1399	2497
FGH18	a	146	861	1453	2530	775	1464	2562
FGH19	a	134	797	1335	2430	818	1335	2583
FGH20	a	141	845	1529	2358	839	1550	2260
FGH21	ɔ	182	754	969	2347	689	990	2519
FGH22	ɔ	137	549	953	2218	581	990	2239
FGH23	ɔ	139	549	887	2643	581	904	2583
FGH24	ɔ	134	668	926	2659	624	925	2648
FGH25	ɔ	120	603	1098	2110	538	1055	2088
FGH26	o	155	452	764	2327	473	775	2313
FGH27	o	162	474	797	2702	473	796	2691
FGH28	o	164	484	985	2218	473	990	2282
FGH29	o	184	549	1055	2466	495	1055	2454
FGH30	o	155	474	926	2724	452	968	2605
FGH31	u	217	436	657	2583	452	732	2583
FGH32	u	201	404	592	2411	401	581	2411
FGH33	u	196	377	953	2174	366	947	2174
FGH34	u	160	312	624	2455	301	645	2454
FGH35	u	192	377	969	2358	322	818	2433

(\*) Estadística del programa *SoundScope*

**Taula A.4.** Freqüències absolutes (Hz) de les mostres de **JBH**

mostra	vocal	SS*	Espectre				LPC		
		F0	F1	F2	F3	F1	F2	F3	
JBH01	i	198	406	2391	2672	322	2217	2703	
JBH02	i	181	375	2144	2719	344	2131	2820	
JBH03	i	160	323	2250	2885	279	2304	2950	
JBH04	i	143	280	2315	2875	258	2325	2906	
JBH05	i	125	256	2281	2761	258	2282	2720	
JBH06	e	169	506	1891	2500	473	1830	2519	
JBH07	e	163	481	2013	2500	409	2045	2519	
JBH08	e	152	463	1975	2638	495	1959	2627	
JBH09	e	131	398	2099	2627	387	2088	2670	
JBH10	e	106	419	1981	2625	387	2002	2648	
JBH11	ɛ	153	619	1688	2756	645	1658	2756	
JBH12	ɛ	156	619	1953	2406	624	1937	2390	
JBH13	ɛ	133	531	1919	2547	559	1959	2627	
JBH14	ɛ	133	669	1850	2250	645	1851	2165	
JBH15	ɛ	106	635	1938	2573	645	1894	2454	
JBH16	a	137	819	1500	2175	839	1550	2304	
JBH17	a	138	825	1475	2547	818	1528	2476	
JBH18	a	134	926	1335	2153	904	1378	2325	
JBH19	a	135	937	1486	2670	947	1485	2670	
JBH20	a	113	900	1238	2288	839	1205	2347	
JBH21	ɔ	147	588	881	2213	495	882	2260	
JBH22	ɔ	137	684	1039	2634	732	1098	3768	
JBH23	ɔ	150	719	1156	2547	732	1141	2411	
JBH24	ɔ	110	657	883	2422	645	947	2476	
JBH25	ɔ	98	605	1018	2203	625	1033	2039	
JBH26	o	159	484	797	2282	495	839	2325	
JBH27	o	163	494	969	1950	495	947	1981	
JBH28	o	154	509	1063	2094	538	1033	2088	
JBH29	o	158	475	931	2109	473	1033	2002	
JBH30	o	107	438	1088	2294	430	1055	2239	
JBH31	u	192	394	788	2067	387	861	2067	
JBH32	u	195	406	975	2313	387	882	2282	
JBH33	u	148	300	738	2239	322	732	2239	
JBH34	u	121	369	619	2250	344	689	2260	
JBH35	u	124	372	744	2131	344	775	2631	

(\*) Estadística del programa *SoundScope*

**Taula A.5.** Freqüències absolutes (Hz) de les mostres de **MLD**

mostra	vocal	SS*	Espectre			LPC		
		F0	F1	F2	F3	F1	F2	F3
MLD01	i	233	237	2799	3047	258	2820	4080
MLD02	i	231	237	29907	3348	258	2799	3359
MLD03	i	205	420	2638	3079	387	2648	4328
MLD04	i	193	388	2595	2982	387	2607	2863
MLD05	i	183	388	2767	3348	236	2734	3380
MLD06	e	226	441	2433	3047	452	2454	3079
MLD07	e	225	441	2455	3090	452	2540	3100
MLD08	e	218	441	2390	3036	472	2411	2971
MLD09	e	215	420	2347	2767	430	2308	2950
MLD10	e	213	441	2319	2855	430	2497	3122
MLD11	ɛ	209	614	2261	3058	710	2304	3036
MLD12	ɛ	209	829	2239	3036	796	2239	3057
MLD13	ɛ	203	797	2186	3176	775	2260	3100
MLD14	ɛ	203	829	2422	3230	796	2347	3208
MLD15	ɛ	182	721	2003	2907	732	2010	2906
MLD16	a	213	840	1863	2455	796	1787	2605
MLD17	a	206	1001	1798	2778	990	1830	2777
MLD18	a	199	1001	1378	2676	968	1464	2777
MLD19	a	195	969	1593	2864	990	1679	2906
MLD20	a	200	1001	1830	2907	990	1851	2928
MLD21	ɔ	209	829	1044	2842	925	1184	2885
MLD22	ɔ	181	732	1109	2552	732	1141	2519
MLD23	ɔ	168	668	1163	2498	689	1162	2497
MLD24	ɔ	196	969	969	2972	968	968	2906
MLD25	ɔ	198	980	1184	2627	968	1162	2583
MLD26	o	229	689	1109	2670	581	1055	2713
MLD27	o	194	657	1098	2638	559	1033	2691
MLD28	o	177	528	872	2832	473	883	2820
MLD29	o	172	517	861	2735	516	882	2756
MLD30	o	178	528	1066	2498	581	1141	2540
MLD31	u	245	484	754	2885	366	796	2885
MLD32	u	247	484	764	2756	322	775	2756
MLD33	u	231	456	861	2454	473	861	2454
MLD34	u	194	377	786	2670	387	796	2670
MLD35	u	186	366	926	2692	344	925	2756

(\*) Estadística del programa *SoundScope*



Taula A.6. Freqüències absolutes (Hz) de les mostres de **RCH**

mostra	vocal	SS*	Espectre			LPC		
		F0	F1	F2	F3	F1	F2	F3
RCH01	i	130	258	2336	2993	279	2454	2993
RCH02	i	130	258	2347	2982	279	2368	3036
RCH03	i	123	366	2283	2735	322	2282	2713
RCH04	i	115	345	2089	2541	322	2088	2519
RCH05	i	110	328	2390	2966	279	2368	2993
RCH06	e	137	415	1857	2331	452	1873	2390
RCH07	e	130	393	2003	2406	430	1981	2476
RCH08	e	129	388	2056	2702	366	2088	2691
RCH09	e	130	388	2122	2799	387	2153	2777
RCH10	e	118	474	2121	2735	409	2088	2670
RCH11	ɛ	125	614	1685	2396	602	1679	2408
RCH12	ɛ	123	624	1827	2342	624	1830	2433
RCH13	ɛ	111	549	1873	2627	581	1851	2605
RCH14	ɛ	115	571	2067	2735	516	2088	2756
RCH15	ɛ	114	673	1814	2374	645	1808	2540
RCH16	a	129	775	1615	2261	775	1507	2368
RCH17	a	126	768	1621	2278	710	1621	2282
RCH18	a	118	764	1297	2369	796	1291	2368
RCH19	a	115	777	1362	2498	775	1291	2497
RCH20	a	114	766	1357	2466	808	1335	2454
RCH21	ɔ	134	668	1114	2453	624	1119	2368
RCH22	ɔ	130	646	1055	2261	624	1098	2340
RCH23	ɔ	123	614	980	2455	624	1033	2497
RCH24	ɔ	115	581	1012	2347	602	990	2360
RCH25	ɔ	114	678	1023	2401	624	1033	2454
RCH26	o	124	474	1978	2266	473	1076	2282
RCH27	o	122	484	1077	2390	473	1098	2476
RCH28	o	115	452	1012	2379	473	1012	2282
RCH29	o	119	468	947	2363	473	990	2282
RCH30	o	110	436	901	2654	452	925	2583
RCH31	u	146	301	872	2325	344	882	2325
RCH32	u	121	366	603	2519	344	624	2540
RCH33	u	119	355	711		344	710	2562
RCH34	u	119	355	711	2519	344	710	2562
RCH35	u	237	474	958	2875	387	947	2906

(\*) Estadística del programa *SoundScope*

## ANNEX II

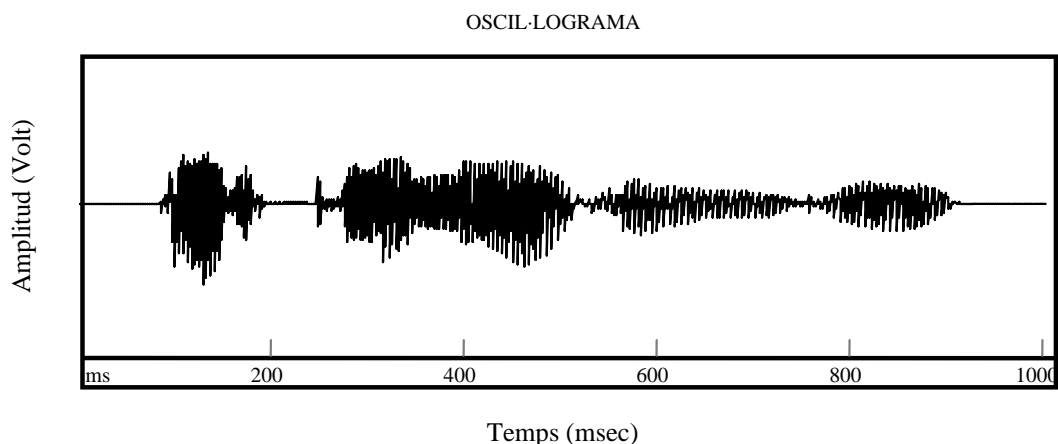
### ***Oscil·lograma, espectrograma, espectre, LPC i corba melòdica***

Posteriorment, les anàlisis s'han anat fent amb *Macquiner* (Scicon), que és el programari amb el que actualment es treballa en la Unitat de Fonètica de la URV i amb el qual s'han exemplificat els exemples gràfics que apareixen aquí. Els filtres i les opcions per a la programació dels càlculs per als dels gràfics són similars, però amb el *Macquiner* no es pot pas fer l'espectre promediat ni l'estadística del so que es fa amb el *Sound Scope*. Per aquest motiu l'espectre i l'*LPC* es fan d'un punt de la zona central del segment estable de la vocal (el punt temporal que amb el *SoundScope* estaria marcat amb el cursor A3). El primer harmònic de l'espectre ens dona la freqüència del to fonamental (F0) , que es pot contrastar amb el gràfic de la corba melòdica.<sup>24</sup>

### **Oscil·lograma**

A l'oscil·lograma es recull el senyal de l'ona sonora en funció del temps (eix horitzontal) i l'amplitud (eix vertical).

Totes les anàlisis es fan a partir del senyal acústic de l'oscil·lograma, que és a on es recullen les ones sonores dels sons de la parla i on es visualitza la seva evolució en el temps (l'eix horitzontal de l'oscil·lograma és l'eix temporal).

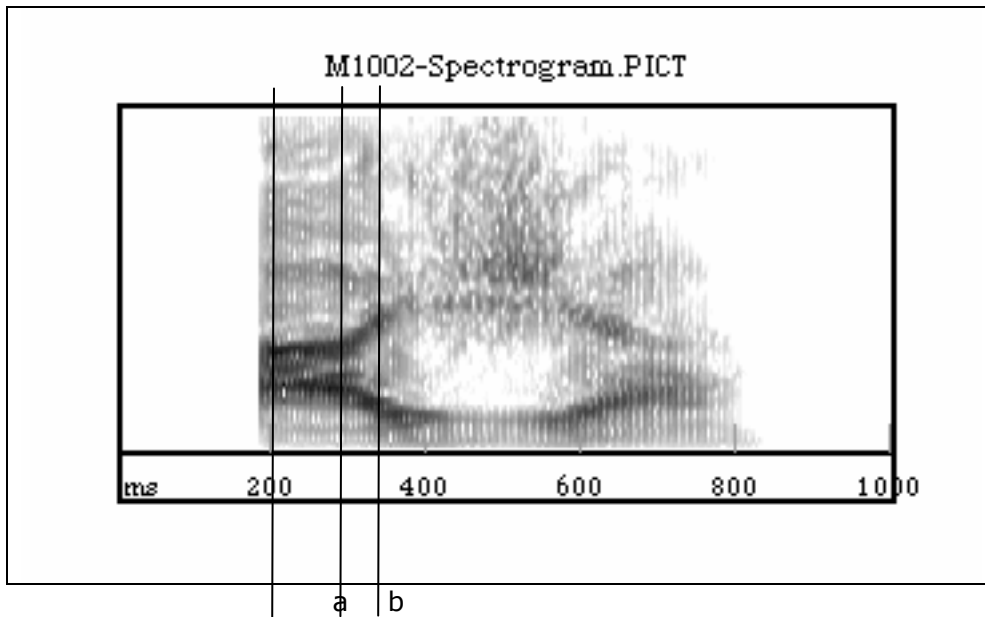
**Figura A1**

## Espectrograma

A l'espectrograma es visualitza molt bé la relació entre el senyal acústic i la producció articulatòria del so. És el gràfic més clar per segmentar un so i per visualitzar les coarticulacions entre sons. L'eix horitzontal ens permet mesurar la durada dels sons i l'eix vertical nens permet analitzar la distribució freqüència del senyal acústic del so. La intensitat ve determinada pel grau de foscor de les bandes de freqüència.

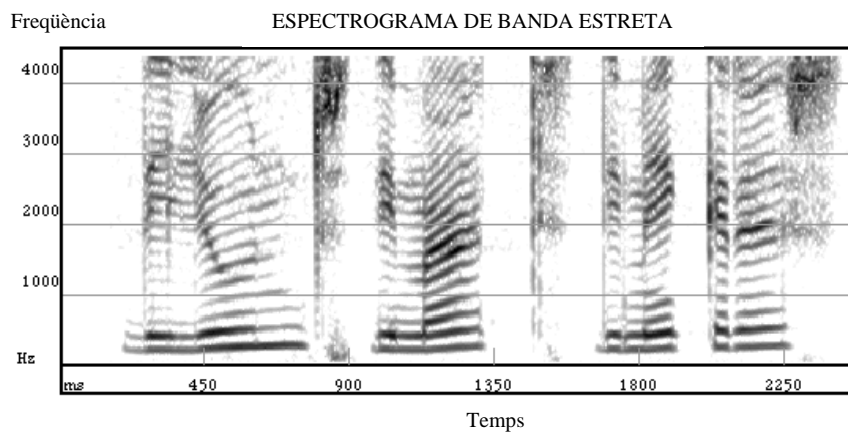
---

<sup>24</sup> Per a més informació sobre les anàlisis acústiques segmentals d'aquest programa, vegeu Ladefoged, 2003: 75-168.

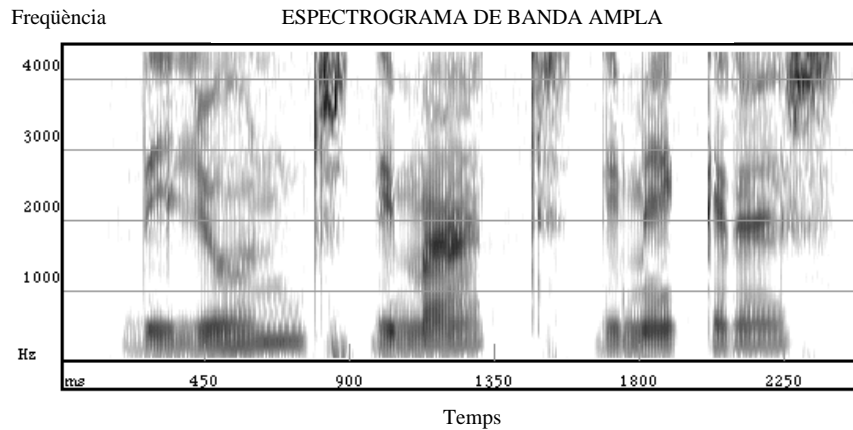


**Figura A2.** Espectrograma de banda ampla: (a) segment estable de la vocal i (b) transició.

Segons el filtre podem veure millor l'evolució dels harmònics (espectrograma de banda estreta) o la dels formants (espectrograma de banda ampla).



**Figura A3**



**Figura A4**

## Espectre

L'espectre dóna la freqüència (eix horitzontal) i la intensitat (eix vertical) d'un moment determinat de l'ona sonora (punt que es marca a l'oscillograma amb el cursor). La intensitat es mesura en decibels (dB) i indica el nivell d'amplificació que han sofert les ones acústiques al passar per les cavitats de ressonància del tracte vocal.

Amb l'espectre promeditat s'aconsegueix l'espectre de tot un segment de l'ona sonora i no només d'un punt determinat de la seva evolució en el temps. És el millor mètode per analitzar les vocals.

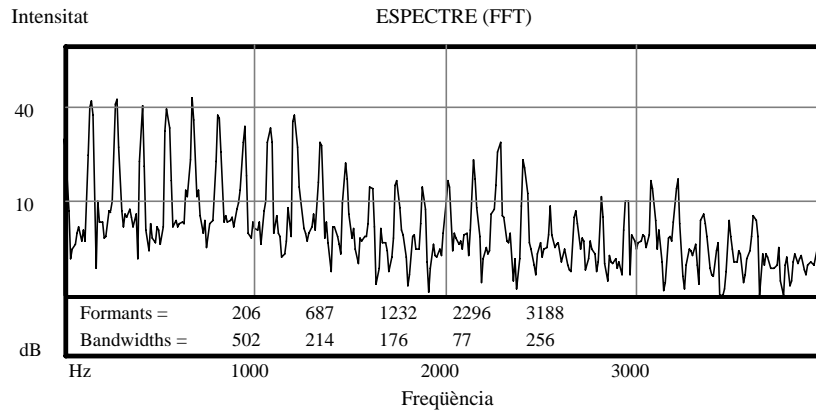


Figura A5

### LPC (Coeficient de Predicció Lineal)

El Coeficient de Predicció Lineal, prediu la freqüència de les cavitats de ressonància, d'aquesta manera és molt útil per resoldre els dubtes d'anàlisi que puguin aparèixer a l'espectre. Segons el programa d'anàlisi que se utilitzi, l'LPC apareix sobreposat a l'espectre.

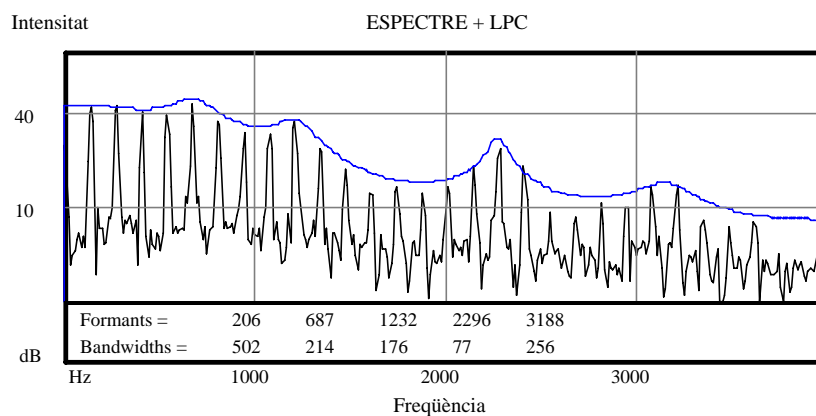
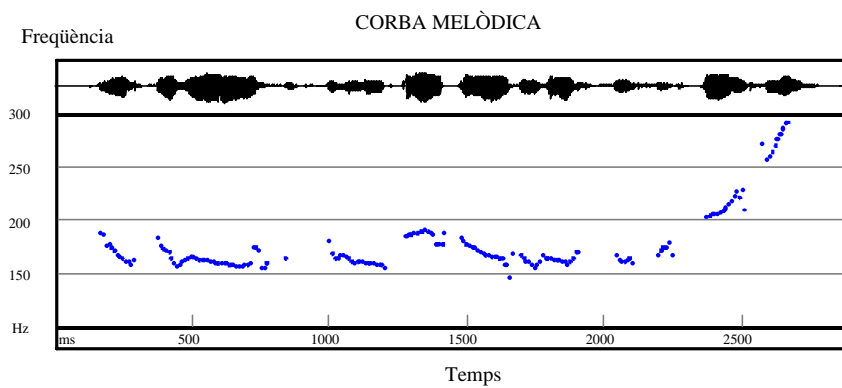


Figura A6

## Corba Melòdica

La corba melòdica analitza l'evolució de la freqüència fonamental (F0) d'un enunciat. Perceptivament es parla de melodia. Com a l'espectrograma, a l'eix horitzontal s'analitza el temps i en el vertical, la freqüència.

Estadísticament, es pot obtenir el promig d'F0, l'F0 màxim i l'F0 mínim.



**Figura A7**

## Capítol 3. Resultats

### 3.1 Freqüències relatives dels intervals

El càlcul de les freqüències relatives dels intervals ens va donar els següents resultats:

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
101	i	233	1	8·3/2	10/9
102	i	231	1	8·3/2	10/9
103	i	229	1	8·3/2	10/9
104	i	236	1	8·5/3	6/5
105	i	231	1	8·5/3	6/5
106	i	203	1	8·5/3	27/20
107	i	223	2	4·3/2	10/9
108	i	218	2	4·3/2	10/9
109	i	205	2	4·3/2	5/4



BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
110	i	198	2	4·3/2	10/9
111	i	181	2	4·3/2	5/4
112	i	145	2	8·9/8	4/3
113	i	197	2	4·5/3	4/3
114	i	200	2	4·5/3	6/5
115	i	194	2	4·5/3	6/5
116	i	193	2	4·5/3	6/5
117	i	188	2	4·5/3	6/5
118	i	174	2	4·5/3	6/5
119	i	160	2	4·5/3	27/20
120	i	190	2	4·15/8	6/5
121	i	183	2	4·15/8	6/5
122	i	168	2	4·15/8	6/5
123	i	155	2	4·15/8	4/3
124	i	143	2	8	5/4

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
125	i	125	2	8·9/8	32/27
126	i	130	2	8·9/8	4/3
127	i	130	2	8·9/8	4/3
128	i	123	2·3/2	4·3/2	32/27
129	i	115	2·3/2	4·3/2	32/27
130	i	110	2·3/2	4·16/9	5/4
201	e	237	2	4·9/8	40/27
202	e	226	2	4·4/3	5/4
203	e	226	2	4·5/4	4/3
204	e	225	2	4·4/3	5/4
205	e	219	2	4·5/4	4/3
206	e	218	2	4·4/3	5/4
207	e	218	2	4·4/3	45/32
208	e	217	2	4·4/3	5/4
209	e	215	2	4·4/3	5/4

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
210	e	213	2	4·4/3	5/4
211	e	194	2	4·4/3	5/4
212	e	184	2·3/2	4·10/9	6/5
213	e	183	2·3/2	4·5/4	6/5
214	e	176	2·3/2	4·10/9	6/5
215	e	175	2·3/2	4·5/4	4/3
216	e	169	2·3/2	2·16/9	45/32
217	e	163	2·3/2	4	5/4
218	e	162	2·3/2	4·4/3	5/4
219	e	155	2·3/2	4·5/4	6/5
220	e	152	2·3/2	4·10/9	27/20
221	e	151	2·3/2	4·10/9	27/20
222	e	149	2·3/2	4·5/4	6/5
223	e	138	2·3/2	4·4/3	5/4
224	e	137	2·3/2	4·10/9	27/20

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
225	e	131	2·3/2	4·4/3	5/4
226	e	130	2·3/2	4·5/4	6/5
227	e	129	2·3/2	4·4/3	4/3
228	e	130	2·3/2	4·4/3	4/3
229	e	118	4	4·9/8	4/3
230	e	106	4	4·9/8	4/3
301	ɛ	218	2·3/2	2·5/3	4/3
302	ɛ	209	2·3/2	2·5/3	3/2
303	ɛ	220	2·3/2	2·16/9	5/4
304	ɛ	219	2·3/2	2·16/9	5/4
305	ɛ	211	2·3/2	2·16/9	5/4
306	ɛ	204	4	2·5/4	6/5
307	ɛ	208	4	2·5/4	4/3
308	ɛ	209	4	2·4/3	45/32
309	ɛ	203	4	2·4/3	3/2

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
310	ɛ	203	4	2·3/2	4/3
311	ɛ	182	4	2·4/3	3/2
312	ɛ	153	4	2·4/3	27/16
313	ɛ	156	4	2·3/2	5/4
314	ɛ	188	4	2·3/2	4/3
315	ɛ	172	4	2·3/2	5/4
316	ɛ	156	4	2·5/3	9/8
317	ɛ	170	4	2·5/3	6/5
318	ɛ	175	4	2·5/3	27/20
319	ɛ	169	4	2·5/3	27/20
320	ɛ	152	4	2·5/3	27/20
321	ɛ	141	4	2·15/8	4/3
322	ɛ	140	4	2·15/8	4/3
323	ɛ	133	4	2·15/8	4/3
324	ɛ	133	4·5/4	2·4/3	6/5

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
325	ɛ	125	4·5/4	2·4/3	3/2
326	ɛ	123	4·5/4	2·3/2	6/5
327	ɛ	111	4·5/4	2·8/5	3/2
328	ɛ	115	4·5/4	2·9/5	4/3
329	ɛ	114	4·3/2	2·4/3	4/3
330	ɛ	106	4·3/2	2·3/2	4/3
401	a	209	4	2	5/3
402	a	213	4	2·9/8	4/3
403	a	216	4	2·9/8	40/27
404	a	206	4·5/4	8/5	5/3
405	a	206	4·5/4	9/5	40/27
406	a	199	4·5/4	4/3	2
407	a	195	4·5/4	8/5	15/8
408	a	200	4·5/4	9/5	5/3
409	a	197	4·5/4	9/5	40/27

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
410	a	194	4·5/4	9/5	40/27
411	a	181	4·5/4	9/5	5/3
412	a	186	4·5/4	2	3/2
413	a	156	4·5/4	2	3/2
414	a	176	4·3/2	5/3	3/2
415	a	170	4·3/2	5/3	8/5
416	a	145	4·3/2	5/3	8/5
417	a	146	4·3/2	5/3	9/5
418	a	134	4·3/2	5/3	9/5
419	a	141	4·3/2	16/9	3/2
420	a	137	4·3/2	16/9	3/2
421	a	138	4·3/2	16/9	27/16
422	a	129	4·3/2	2	3/2
423	a	120	4·3/2	2·10/9	27/20
424	a	168	4·3/2	5/3	8/5

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
425	a	134	4·5/3	3/2	8/5
426	a	135	4·5/3	8/5	15/8
427	a	118	4·5/3	8/5	15/8
428	a	115	4·5/3	9/5	16/9
429	a	114	4·5/3	9/5	16/9
430	a	113	8	4/3	15/8
501	o	260	2·3/2	5/3	2
502	o	209	4	5/4	2·4/3
503	o	226	4	3/2	2
504	o	206	4	5/3	2
505	o	211	4	5/3	2
506	o	182	4	5/4	2·4/3
507	o	181	4	3/2	2·10/9
508	o	147	4	3/2	2·5/4
509	o	192	4	5/3	2



BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
510	ɔ	168	4	5/3	2·9/8
511	ɔ	179	4	5/3	2·6/5
512	ɔ	137	4	5/3	2·6/5
513	ɔ	139	4	5/3	2·27/20
514	ɔ	196	4·5/4	1	2·3/2
515	ɔ	198	4·5/4	6/5	2·10/9
516	ɔ	175	4·5/4	4/3	2·6/5
517	ɔ	157	4	5/3	2·10/9
518	ɔ	134	4·5/4	4/3	2·3/2
519	ɔ	137	4·5/4	3/2	2·4/3
520	ɔ	163	4·5/4	8/5	2
521	ɔ	150	4·5/4	8/5	2
522	ɔ	169	4·5/4	8/5	2
523	ɔ	134	4·5/4	8/5	2·9/8
524	ɔ	130	4·5/4	8/5	2·9/8

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
525	ɔ	123	4·5/4	8/5	2·5/4
526	ɔ	120	4·5/4	9/5	2
527	ɔ	115	4·5/4	9/5	2·10/9
528	ɔ	110	4·3/2	4/3	2·4/3
529	ɔ	114	4·3/2	3/2	2·32/27
530	ɔ	98	4·3/2	5/3	2·16/15
601	o	212	2·3/2	5/3	2·4/3
602	o	229	2·3/2	5/3	2·6/5
603	o	222	2·3/2	2	2·10/9
604	o	210	2·3/2	2	2·10/9
605	o	194	2·3/2	5/3	2·6/5
606	o	182	2·3/2	5/3	2·3/2
607	o	182	2·3/2	5/3	2·3/2
608	o	159	2·3/2	5/3	2·3/2
609	o	155	2·3/2	5/3	2·3/2

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
610	0	183	2·3/2	5/3	2·8/5
611	0	164	2·3/2	2·10/9	2·9/8
612	0	179	2·3/2	5/3	2·8/5
613	0	177	2·3/2	5/3	2·8/5
614	0	172	2·3/2	5/3	2·8/5
615	0	162	2·3/2	5/3	2·8/5
616	0	164	2·3/2	2	2·10/9
617	0	163	2·3/2	2	2
618	0	187	2·3/2	2	2·10/9
619	0	184	2·3/2	2	2·10/9
620	0	178	2·3/2	2	2·5/4
621	0	155	2·3/2	2	2·3/2
622	0	178	2·3/2	2·10/9	2·10/9
623	0	154	2·3/2	2·10/9	2
624	0	158	2·3/2	2	2·10/9

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
625	o	124	4	2·9/8	2
626	o	122	4	2·9/8	2·10/9
627	o	115	4	2·9/8	2·10/9
628	o	119	4	2	2·5/4
629	o	110	4	2	2·3/2
630	o	107	4	2·5/4	2·16/15
701	u	231	2	1	4·3/2
702	u	224	2	1	4·5/3
703	u	245	2	3/2	4
704	u	217	2	3/2	4
705	u	201	2	3/2	4
706	u	230	2	3/2	4·10/9
707	u	247	2	3/2	2·16/9
708	u	198	2	2	4
709	u	231	2	2	2·4/3

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
710	u	253	2	2	2·4/3
711	u	235	2	2·5/4	2·6/5
712	u	196	2	2·5/4	2·16/15
713	u	242	2	2	2·3/2
714	u	186	2	3/2	4·5/4
715	u	192	2	2	2·4/3
716	u	194	2	2	2·5/3
717	u	190	2	2	2·15/8
718	u	189	2	2	2·15/8
719	u	160	2	2	2·15/8
720	u	195	2	2·5/4	2·6/5
721	u	192	2	2·5/4	2·6/5
722	u	186	2	2·5/4	2·3/2
723	u	148	2	2·5/4	2·3/2
724	u	146	2	2·3/2	2·4/3

BASE DE DADES					
mostra	vocal	F0 (Hz)	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
725	u	121	2·3/2	5/3	2·9/5
726	u	124	2·3/2	2	2·16/9
727	u	121	2·3/2	5/3	4·16/15
728	u	119	2·3/2	2	2·16/9
729	u	119	2·3/2	2	2·16/9
730	u	237	2	2	2·3/2

### 3.2 Interval F0~F1

Atés que un bon model d'identificació de vocals ha de tenir solucionada la variabilitat d'F0 per poder minimitzar les diferències entre formants, es va ordenar cada vocal per F0 descendent i es va observar en quins límits d'F0 es produïa un canvi significatiu de la freqüència relativa de l'interval F0~F1.

Tot i que els resultats no són exactes (taules de la 3.1 a la 3.7), les següents extensions d'F0 són les més significatives:

- $F_0 > 200$  Hz (to de veu alt)
- $F_0$ : 125 Hz – 200 Hz (to de veu mitjà)
- $F_0 < 125$  Hz (to de veu baix)

Les vocals [ɛ, a, ɔ] poden tenir més d'una freqüència relativa en la mateixa extensió d' $F_0$ ; encara que, quan això succeeix els valors són sempre consecutius. Per exemple, [a] en l'extensió  $F_0$ :125Hz-200Hz pot tenir l'interval  $F_0 \sim F_1$  situat a  $4 \cdot 5/4fR$ , a  $4 \cdot 3/2fR$  o a  $4 \cdot 5/3fR$  (taula 3.4). Aquest fenomen és més estrany en les vocals [i, e, o, u].

**Taula 3.1** *fR* de l'interval d'F0~F1 de la vocal [i] per extensions d'F0

mostra	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	F2~F3( <i>fR</i> )	extensió
104	236	1	8·5/3	6/5	<b>F0 &gt; 200Hz</b>
101	233	1	8·3/2	10/9	
102	231	1	8·3/2	10/9	
105	231	1	8·5/3	6/5	
103	229	1	8·3/2	10/9	
107	223	2	4·3/2	10/9	
108	218	2	4·3/2	10/9	
109	205	2	4·3/2	5/4	
106	203	1	8·5/3	27/20	
114	200	2	4·5/3	6/5	
110	198	2	4·3/2	10/9	
113	197	2	4·5/3	4/3	
115	194	2	4·5/3	6/5	
116	193	2	4·5/3	6/5	
120	190	2	4·15/8	6/5	
117	188	2	4·5/3	6/5	
121	183	2	4·15/8	6/5	
111	181	2	4·3/2	5/4	
118	174	2	4·5/3	6/5	
122	168	2	4·15/8	6/5	
119	160	2	4·5/3	27/20	
123	155	2	4·15/8	4/3	
112	145	2	8·9/8	4/3	



124	143	2	8	5/4	
126	130	2	8·9/8	4/3	
127	130	2	8·9/8	4/3	
125	125	2	8·9/8	32/27	
128	123	2·3/2	4·3/2	32/27	<b>F0 &lt; 125Hz</b>
129	115	2·3/2	4·3/2	32/27	
130	110	2·3/2	4·16/9	5/4	

**Taula 3.2.** *fR* de l'interval F0~F1 de la vocal [e] per extensions d'F0

mostra	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	F2~F3( <i>fR</i> )	extensió
201	237	2	4·9/8	40/27	<b>F0 &gt; 200Hz</b>
202	226	2	4·4/3	5/4	
203	226	2	4·5/4	4/3	
204	225	2	4·4/3	5/4	
205	219	2	4·5/4	4/3	
206	218	2	4·4/3	5/4	
207	218	2	4·4/3	45/32	
208	217	2	4·4/3	5/4	
209	215	2	4·4/3	5/4	
210	213	2	4·4/3	5/4	
211	194	2	4·4/3	5/4	
212	184	2·3/2	4·10/9	6/5	
213	183	2·3/2	4·5/4	6/5	
214	176	2·3/2	4·10/9	6/5	
215	175	2·3/2	4·5/4	4/3	
216	169	2·3/2	2·16/9	45/32	

217	163	2·3/2	4	5/4	<b>F0:125-200Hz</b>	
218	162	2·3/2	4·4/3	5/4		
219	155	2·3/2	4·5/4	6/5		
220	152	2·3/2	4·10/9	27/20		
221	151	2·3/2	4·10/9	27/20		
222	149	2·3/2	4·5/4	6/5		
223	138	2·3/2	4·4/3	5/4		
224	137	2·3/2	4·10/9	27/20		
225	131	2·3/2	4·4/3	5/4		
226	130	2·3/2	4·5/4	6/5		
228	130	2·3/2	4·4/3	4/3		
227	129	2·3/2	4·4/3	4/3		
229	118	4	4·9/8	4/3		<b>F0 &lt; 125Hz</b>
230	106	4	4·9/8	4/3		

**Taula 3.3.** *fR* de l'interval F0~F1 de la vocal [ε] per extensions d'F0.

mostra	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	F2~F3( <i>fR</i> )	extensió
303	220	2·3/2	2·16/9	5/4	<b>F0 &gt; 200Hz</b>
304	219	2·3/2	2·16/9	5/4	
301	218	2·3/2	2·5/3	4/3	
305	211	2·3/2	2·16/9	5/4	
302	209	2·3/2	2·5/3	3/2	
308	209	4	2·4/3	45/32	
307	208	4	2·5/4	4/3	
306	204	4	2·5/4	6/5	
309	203	4	2·4/3	3/2	
310	203	4	2·3/2	4/3	

314	188	4	2·3/2	4/3	<b>F0:125-200Hz</b>	
311	182	4	2·4/3	3/2		
318	175	4	2·5/3	27/20		
315	172	4	2·3/2	5/4		
317	170	4	2·5/3	6/5		
319	169	4	2·5/3	27/20		
313	156	4	2·3/2	5/4		
316	156	4	2·5/3	9/8		
312	153	4	2·4/3	27/16		
320	152	4	2·5/3	27/20		
321	141	4	2·15/8	4/3		
322	140	4	2·15/8	4/3		
323	133	4	2·15/8	4/3		
324	133	4·5/4	2·4/3	6/5		
325	125	4·5/4	2·4/3	3/2		
326	123	4·5/4	2·3/2	6/5		<b>F0 &lt; 125Hz</b>
328	115	4·5/4	2·9/5	4/3		
329	114	4·3/2	2·4/3	4/3		
327	111	4·5/4	2·8/5	3/2		
330	106	4·3/2	2·3/2	4/3		

**Taula 3.4** *fR* de l'interval F0~F1 de la vocal [a] per extensions d'F0

mostra	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	F2~F3( <i>fR</i> )	extensió
403	216	4	2·9/8	40/27	<b>F0 &gt; 200Hz</b>
402	213	4	2·9/8	4/3	
401	209	4	2	5/3	

404	206	4·5/4	8/5	5/3	
405	206	4·5/4	9/5	40/27	
408	200	4·5/4	9/5	5/3	
406	199	4·5/4	4/3	2	
409	197	4·5/4	9/5	40/27	
407	195	4·5/4	8/5	15/8	
410	194	4·5/4	9/5	40/27	
412	186	4·5/4	2	3/2	
411	181	4·5/4	9/5	5/3	
414	176	4·3/2	5/3	3/2	
415	170	4·3/2	5/3	8/5	
424	168	4·3/2	5/3	8/5	
413	156	4·5/4	2	3/2	
417	146	4·3/2	5/3	9/5	<b>F0:125-200Hz</b>
416	145	4·3/2	5/3	8/5	
419	141	4·3/2	16/9	3/2	
421	138	4·3/2	16/9	27/16	
420	137	4·3/2	16/9	3/2	
426	135	4·5/3	8/5	15/8	
418	134	4·3/2	5/3	9/5	
425	134	4·5/3	3/2	8/5	
422	129	4·3/2	2	3/2	
423	128	4·3/2	2·10/9	27/20	
427	118	4·5/3	8/5	15/8	
428	115	4·5/3	9/5	16/9	<b>F0 &lt; 125Hz</b>
429	114	4·5/3	9/5	16/9	

430	113	8	4/3	15/8	
-----	-----	---	-----	------	--

**Taula 3.5.** *fR* de l'interval F0~F1 de la vocal [ɔ] per extensions d'F0

mostra	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	F2~F3( <i>fR</i> )	extensió
501	260	2·3/2	5/3	2	<b>F0 &gt; 200Hz</b>
503	226	4	3/2	2	
505	211	4	5/3	2	
502	209	4	5/4	2·4/3	
504	206	4	5/3	2	
515	198	4·5/4	6/5	2·10/9	<b>F0:125-200Hz</b>
514	196	4·5/4	1	2·3/2	
509	192	4	5/3	2	
506	182	4	5/4	2·4/3	
507	181	4	3/2	2·10/9	
511	179	4	5/3	2·6/5	
516	175	4·5/4	4/3	2·6/5	
522	169	4·5/4	8/5	2	
510	168	4	5/3	2·9/8	
520	163	4·5/4	8/5	2	
517	157	4	5/3	2·10/9	
521	150	4·5/4	8/5	2	
508	147	4	3/2	2·5/4	
513	139	4	5/3	2·27/20	
512	137	4	5/3	2·6/5	
519	137	4·5/4	3/2	2·4/3	
518	134	4·5/4	4/3	2·3/2	

523	134	4·5/4	8/5	2·9/8	<b>F0 &lt; 125Hz</b>
524	130	4·5/4	8/5	2·9/8	
525	123	4·5/4	8/5	2·5/4	
526	120	4·5/4	9/5	2	
527	115	4·5/4	9/5	2·10/9	
529	114	4·3/2	3/2	2·32/27	
528	110	4·3/2	4/3	2·4/3	
530	98	4·3/2	5/3	2·16/15	

**Taula 3.6** *fR* de l'interval F0~Fy1 de la vocal [o] per extensions d'F0

mostra	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	F2~F3( <i>fR</i> )	extensió
602	229	2·3/2	5/3	2·6/5	<b>F0 &gt; 200Hz</b>
603	222	2·3/2	2	2·10/9	
601	212	2·3/2	5/3	2·4/3	
604	210	2·3/2	2	2·10/9	
605	194	2·3/2	5/3	2·6/5	
618	187	2·3/2	2	2·10/9	
619	184	2·3/2	2	2·10/9	
610	183	2·3/2	5/3	2·8/5	
606	182	2·3/2	5/3	2·3/2	
607	182	2·3/2	5/3	2·3/2	
612	179	2·3/2	5/3	2·8/5	
620	178	2·3/2	2	2·5/4	
622	178	2·3/2	2·10/9	2·9/8	
613	177	2·3/2	5/3	2·8/5	
614	172	2·3/2	5/3	2·8/5	

611	164	2·3/2	2·10/9	2·9/8	<b>F0:125-200Hz</b>
616	164	2·3/2	2	2·10/9	
617	163	2·3/2	2	2	
615	162	2·3/2	5/3	2·8/5	
608	159	2·3/2	5/3	2·3/2	
624	158	2·3/2	2	2·10/9	
609	155	2·3/2	5/3	2·3/2	
621	155	2·3/2	2	2·3/2	
623	154	2·3/2	2·10/9	2	
625	124	4	2·9/8	2	
626	122	4	2·9/8	2·10/9	
628	119	4	2	2·5/4	
627	115	4	2·9/8	2·10/9	
629	110	4	2	2·3/2	
630	107	4	2·5/4	2·16/15	

**Taula 3.7.** *fR* de l'interval F0y~F1 de la vocal [u] per extensions d'F0

mostra	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	F2~F3( <i>fR</i> )	extensió
710	253	2	2	2·4/3	
707	247	2	3/2	2·16/9	
703	245	2	3/2	4	
713	242	2	2	2·3/2	
730	237	2	2	2·3/2	
711	235	2	2·5/4	2·6/5	
701	231	2	1	4·3/2	
709	231	2	2	2·4/3	

706	230	2	3/2	4·10/9	<b>F0 &gt; 200Hz</b>	
702	224	2	1	4·5/3		
704	217	2	3/2	4		
705	201	2	3/2	4		
708	198	2	2	4		
712	196	2	2·5/4	2·16/15	<b>F0:125-200Hz</b>	
720	195	2	2·5/4	2·6/5		
716	194	2	2	2·5/3		
715	192	2	2	2·4/3		
721	192	2	2·5/4	2·6/5		
717	190	2	2	2·15/8		
718	189	2	2	2·15/8		
714	186	2	3/2	4·5/4		
722	186	2	2·5/4	2·3/2		
719	160	2	2	2·15/8		
723	148	2	2·5/4	2·3/2		
724	146	2	2·3/2	2·4/3		
726	124	2·3/2	2	2·16/9		<b>F0 &lt; 125Hz</b>
725	121	2·3/2	5/3	2·9/5		
727	121	2·3/2	5/3	4·16/15		
728	119	2·3/2	2	2·16/9		
729	119	2·3/2	2	2·16/9		

Si classifiquem les vocals per extensió d’F0 (taules 3.8, 3.9 i 3.10), observem que, en les extensions F0 > 200Hz i F0: 125Hz-200Hz, hi ha



vocals de diferent obertura vocàlica que comparteixen freqüències a l'interval F0-F1, però el percentatge de distribució entre una i l'altra varia de manera significativa; per exemple, a F0:125Hz-200Hz, [e] només coincideix un 6% amb la freqüència relativa de [i]. Tot el contrari passa dins l'extensió F0<125Hz, on, a més, les vocals que comparteixen la mateixa obertura vocàlica tenen exactament les mateixes freqüències relatives a l'interval F0-F1.

**Taula 3.8** Freqüència relativa d'F0~F1 de les vocals per a F0 > 200Hz

F0 > 200Hz		
vocal	F0~F1	percentatge
i	1 fR	67%
i	2 fR	33%
e	2 fR	100%
ɛ	2·3/2 fR	50%
ɛ	4 fR	50%
a	4 fR	60%
a	4·5/4 fR	40%
ɔ	4 fR	80%
ɔ	2·3/2 fR	20%
o	2·3/2 fR	100%
u	2 fR	100%



**Taula 3.9** Freqüència relativa d'F0~F1 de les vocals per a F0: 125Hz-200Hz

F0: 125Hz - 200Hz		
vocal	F0~F1	percentatge
i	2 <i>fR</i>	100%
e	2 <i>fR</i>	6%
e	2·3/2 <i>fR</i>	94%
ɛ	4 <i>fR</i>	87%
ɛ	4·5/4 <i>fR</i>	13%
a	4·5/4 <i>fR</i>	38%
a	4·3/2 <i>fR</i>	52%
a	4·5/3 <i>fR</i>	10%
ɔ	4·5/4 <i>fR</i>	53%
ɔ	4 <i>fR</i>	47%
o	2·3/2 <i>fR</i>	100%
u	2 <i>fR</i>	100%

**Taula 3.10** Freqüència relativa d' $F_0 \sim F_1$  de les vocals per a  $F_0 < 125\text{Hz}$ 

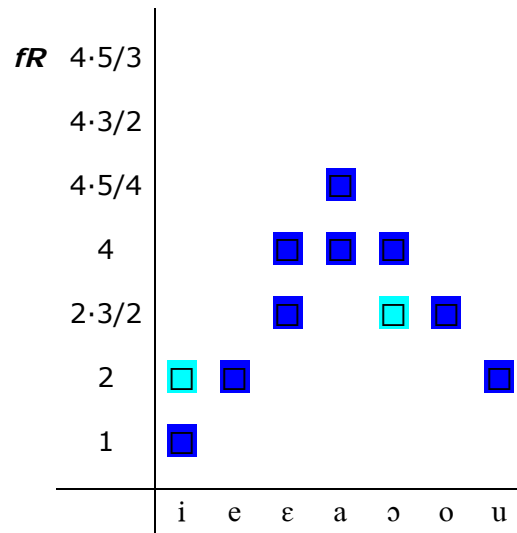
F0 < 125Hz		
vocal	F0-F1	percentatge
i	$2 \cdot 3/2 fR$	100%
e	$4 fR$	100%
ɛ	$4 \cdot 5/4 fR$	60%
ɛ	$4 \cdot 3/2 fR$	40%
a	$4 \cdot 5/3 fR$	75%
a	$8 fR$	25%
ɔ	$4 \cdot 3/2 fR$	50%
ɔ	$4 \cdot 5/4 fR$	50%
o	$4 fR$	100%
u	$2 \cdot 3/2 fR$	100%

### 3.2.1 Distribució del triangle vocàlic

La distribució de la freqüència relativa d' $F_0 \sim F_1$  al triangle vocàlic és la següent:

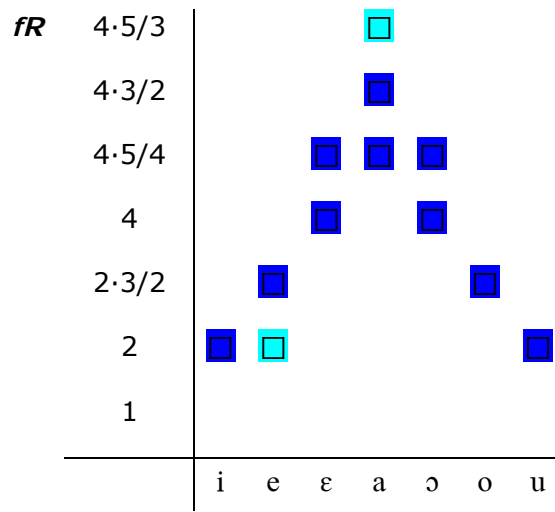
- ✚ Quan  $F_0 > 200\text{Hz}$  (veu de to alt), el triangle vocàlic del català es reparteix entre  $F_0 \sim F_1 = 1fR$  de la vocal [i] i  $F_0 \sim F_1 \geq 4fR$  de la vocal [a] (gràfic 3.1).
- ✚ Quan  $F_0$  és entre 125Hz i 200Hz (veu de to mig) el triangle vocàlic del català es reparteix entre la freqüència  $F_0 \sim F_1 = 2fR$  de les vocals [i, u] i  $F_0 \sim F_1 \geq 4.5/4 fR$  de la vocal [a] (gràfic 3.2).
- ✚ Quan  $F_0 < 125\text{ Hz}$  (veu de to baix), el triangle vocàlic del català es reparteix entre la freqüència  $F_0 \sim F_1 = 2.3/2fR$  de les vocals més tancades, [i, u], i  $F_0 \sim F_1 \geq 4.5/3fR$  de la vocal més oberta, [a] (gràfic 3.3).

Aquestes tres distribucions fan palesa la conveniència de dividir  $F_0$  en extensions. Si només consideréssim la freqüència relativa d' $F_0 \sim F_1$  sense aplicar primer una limitació de la freqüència d' $F_0$ , ens trobaríem que, per exemple, l'interval  $F_0 \sim F_1 = 2.3/2fR$  tant identificaria una [i] (extensió  $F_0 < 125\text{Hz}$ , gràfic 3.1), com una [ɛ] (extensió  $F_0 > 200\text{Hz}$ , gràfic 3.1). El paper, per tant, que juga  $F_0$  en la identificació de les vocals és fonamental (Traunmüller, 1994, 1998 i 2000).



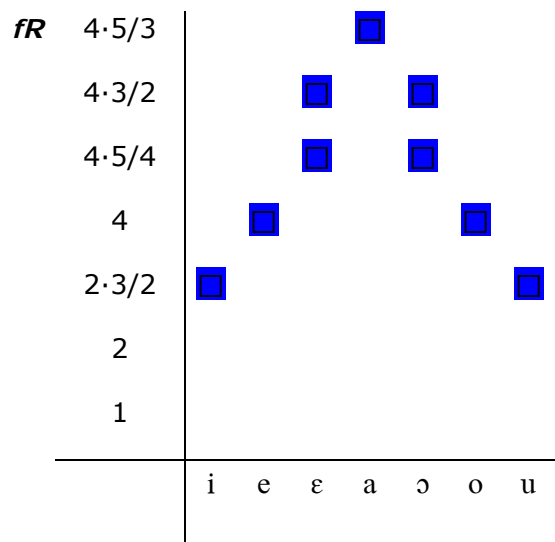
**Gràfic 3.1** Freqüència relativa de l'interval  $F_0 \sim F_1$  amb  $F_0 > 200\text{Hz}$

■ probabilitat baixa.



**Gràfic 3.2** Freqüència relativa de l'interval F0~F1 amb F0:125Hz-200Hz

□ probabilitat baixa.



**Gràfic 3.3** Freqüència relativa de l'interval F0~F1 amb F0<125Hz

Comparant els resultats (gràfics 3.1, 3.2 i 3.3), s'observa com cada vocal es va desplaçant de freqüències relatives més petites a freqüències relatives més grans de forma esglaonada. Es mantenen les proporcions en totes les vocals, de manera que si en el gràfic 3.1 [a] té l' $F_0 \sim F_1$  a  $4fR$  i  $4.5/4fR$ , al gràfic 3.2 són [ɛ] i [ɔ] les que tenen l'interval  $F_0 \sim F_1$  en aquestes freqüències relatives.

Tant a  $F_0:125\text{Hz}-200\text{Hz}$  (gràfic 3.2) com a  $F_0 < 125\text{Hz}$  (gràfic 3.3), la freqüència relativa de l'interval  $F_0 \sim F_1$  és coincident en les vocals [i] i [u], [e] i [o], i [ɛ] i [ɔ], marcant així l'aparellament de les vocals pel que fa a l'obertura vocàlica.

A l'extensió  $F_0 > 200\text{Hz}$  (gràfic 3.1), la vocal [i] té majoritàriament  $F_0 \sim F_1 = 1fR$  perquè la distància espectral entre  $F_0$  i  $F_1$  és inferior a  $2fR$  i a l'espectre promeditat  $F_1$  apareix molt poc amplificat en comparació amb  $F_0$  i amb els altres formants. La vocal [u], en canvi, sí que té  $F_0 \sim F_1 = 2fR$ , exclusivament.

Les vocals [ɛ] i [ɔ] poden compartir freqüència relativa a l'interval  $F_0 \sim F_1$  amb la vocal [a] en les extensions  $F_0 > 200\text{Hz}$  i  $F_0:125\text{Hz}-200\text{Hz}$ , sense que provoqui una confusió en la identificació d'aquestes vocals. Les vocals [ɛ] i [ɔ] poden coincidir a  $F_0 \sim F_1$ , però no pas en els altres intervals, com veurem més endavant.



### 3.3 Interval F1~F2

Als gràfics 3.4 i 3.5 es visualitzen els resultats de les freqüències relatives de l'interval F1~F2

Amb un error de només el 1,4%, els intervals de les vocals [i, e, ε] són superiors a  $2 \cdot 5/4fR$  i els de [a, ə, o u] són iguals o inferiors a  $2 \cdot 5/4fR$ . Les excepcions són dues mostres de la vocal [ε] a  $2 \cdot 5/4fR$  i una mostra de la vocal [u] a  $2 \cdot 3/2fR$  (taula 3.11)

La vocal [i] presenta valors molt superiors a la resta de vocals. Només la vocal [ε] pot arribar a tenir, excepcionalment, l'interval  $F1 \sim F2 = 2 \cdot 5/4fR$  (mostres 306 i 307). Però les vocals posteriors no passen d'aquest límit, tret d'alguna excepció (mostra 724: [u]). L'interval F1~F2 de les vocals [u] i [o] pot arribar fins a  $2 \cdot 5/4fR$ , però tant l'interval F1~F2 de la vocal [ɔ] com el de la vocal [a] presenten freqüències relatives més baixes; la vocal [ɔ] no arriba a superar l'octava ( $2fR$ ).

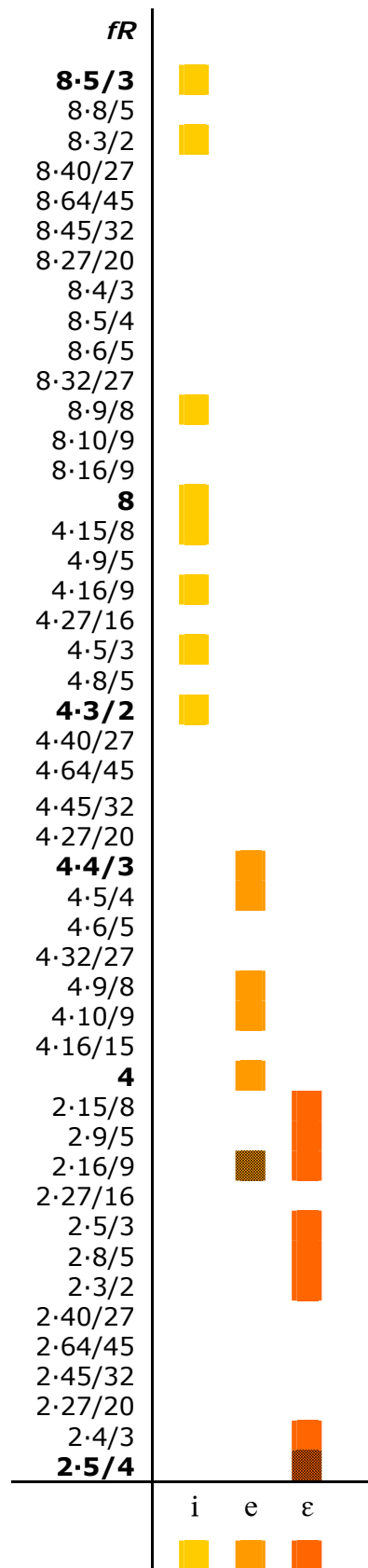
Les vocals [i], [e] i [ε] es distingeixen clarament entre elles a l'interval F1~F2 (gràfic 3.5), perquè no comparteixen freqüència relativa. Només hi ha una excepció, la vocal [e] de la mostra 216, que seria [ε] per la distribució de la freqüència relativa dels seus intervals, si no fós perquè el seu to fonamental és dins l'extensió F0:125Hz-200H i no, a  $F0 > 200\text{Hz}$ .

La divisió per sobre de  $2.5/4fR$  entre les vocals anteriors soluciona els casos en els que la vocal [i] pot tenir la mateixa freqüència relativa a l'interval  $F_0 \sim F_1$  que la vocal [e], si  $F_0 > 200\text{Hz}$  (gràfic 3.1), i que la vocal [e] pot tenir la mateixa freqüència relativa a l'interval  $F_0 \sim F_1$  que la vocal [i], si  $F_0: 125\text{Hz}-200\text{Hz}$  (gràfic 3.2).

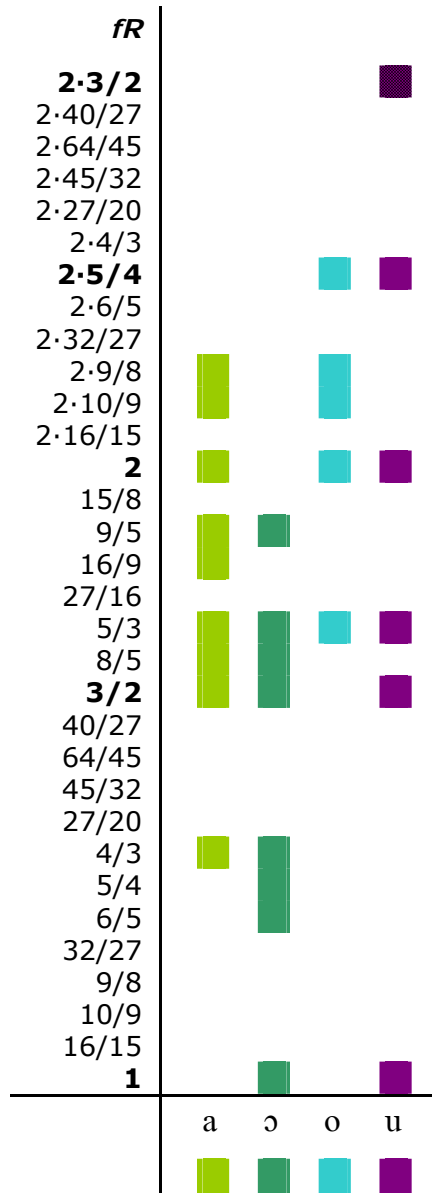
Com que, en aquest interval, les vocals es mouen dins un espai espectral molt reduït, tenen moltes coincidències i, per tant calen els altres intervals per fer la distinció. Així, per exemple, l'encavalcament de freqüències relatives d' $F_1 \sim F_2$  a les vocals [ɔ] i [o] fa que s'hagi de tenir en compte la freqüència relativa d' $F_0 \sim F_1$  (gràfic 3.6), de manera que:

✚ Si a la vocal [ɔ],  $F_0 \sim F_1 = 4 fR \rightarrow F_1 \sim F_2 < 2 fR$

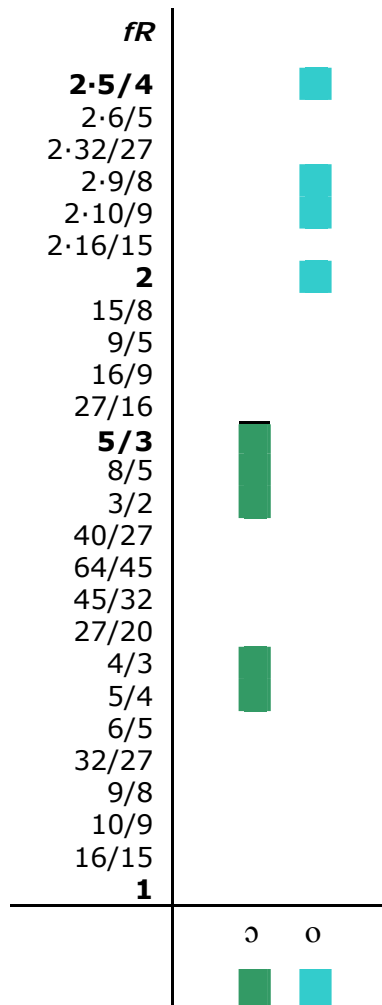
✚ Si a la vocal [o],  $F_0 \sim F_1 = 4 fR \rightarrow F_1 \sim F_2 \geq 2 fR$



Gràfic 3.4 Freqüències relatives de l'interval F1~F2 de les vocals [i, e, ε].



**Gràfic 3.5** Freqüències relatives de l'interval F1~F2 de les vocals [a, ə, o, u].



**Gràfic 3.6** Freqüències de l'interval F1~F2 de [ɔ] i [o] amb F0~F1=4fR.

**Taula 3.11.** Resultats ordenats per l'interval F1~F2 (ordre descendent)

mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	<b>F1~F2(<i>fR</i>)</b>	F2~F3( <i>fR</i> )	<b>vocal</b>
104	236	1	<b>8-5/3</b>	6/5	<b>i</b>
105	231	1	<b>8-5/3</b>	6/5	<b>i</b>
106	203	1	<b>8-5/3</b>	27/20	<b>i</b>
101	233	1	<b>8-3/2</b>	10/9	<b>i</b>
102	231	1	<b>8-3/2</b>	10/9	<b>i</b>
103	229	1	<b>8-3/2</b>	10/9	<b>i</b>
126	130	2	<b>8-9/8</b>	4/3	<b>i</b>
127	130	2	<b>8-9/8</b>	4/3	<b>i</b>
125	125	2	<b>8-9/8</b>	32/27	<b>i</b>
124	143	2	<b>8</b>	5/4	<b>i</b>
120	190	2	<b>4-15/8</b>	6/5	<b>i</b>
121	183	2	<b>4-15/8</b>	6/5	<b>i</b>
122	168	2	<b>4-15/8</b>	6/5	<b>i</b>
123	155	2	<b>4-15/8</b>	4/3	<b>i</b>
130	110	2-3/2	<b>4-16/9</b>	5/4	<b>i</b>
114	200	2	<b>4-5/3</b>	6/5	<b>i</b>

mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	vocal
112	145	2	<b>8-9/8</b>	4/3	<b>i</b>
115	194	2	<b>4-5/3</b>	6/5	<b>i</b>
116	193	2	<b>4-5/3</b>	6/5	<b>i</b>
117	188	2	<b>4-5/3</b>	6/5	<b>i</b>
113	197	2	<b>4-5/3</b>	4/3	<b>i</b>
118	174	2	<b>4-5/3</b>	6/5	<b>i</b>
119	160	2	<b>4-5/3</b>	27/20	<b>i</b>
107	223	2	<b>4-3/2</b>	10/9	<b>i</b>
108	218	2	<b>4-3/2</b>	10/9	<b>i</b>
109	205	2	<b>4-3/2</b>	5/4	<b>i</b>
110	198	2	<b>4-3/2</b>	10/9	<b>i</b>
111	181	2	<b>4-3/2</b>	5/4	<b>i</b>
128	123	2-3/2	<b>4-3/2</b>	32/27	<b>i</b>
129	115	2-3/2	<b>4-3/2</b>	32/27	<b>i</b>
202	226	2	<b>4-4/3</b>	5/4	<b>e</b>
204	225	2	<b>4-4/3</b>	5/4	<b>e</b>
206	218	2	<b>4-4/3</b>	5/4	<b>e</b>

mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	vocal
207	218	2	<b>4·4/3</b>	45/32	e
208	217	2	<b>4·4/3</b>	5/4	e
209	215	2	<b>4·4/3</b>	5/4	e
210	213	2	<b>4·4/3</b>	5/4	e
211	194	2	<b>4·4/3</b>	5/4	e
218	162	2·3/2	<b>4·4/3</b>	5/4	e
225	131	2·3/2	<b>4·4/3</b>	5/4	e
227	129	2·3/2	<b>4·4/3</b>	4/3	e
228	130	2·3/2	<b>4·4/3</b>	4/3	e
203	226	2	<b>4·5/4</b>	4/3	e
205	219	2	<b>4·5/4</b>	4/3	e
213	183	2·3/2	<b>4·5/4</b>	6/5	e
215	175	2·3/2	<b>4·5/4</b>	4/3	e
219	155	2·3/2	<b>4·5/4</b>	6/5	e
222	149	2·3/2	<b>4·5/4</b>	6/5	e
223	138	2·3/2	<b>4·4/3</b>	5/4	e
226	130	2·3/2	<b>4·5/4</b>	6/5	e



mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	vocal
201	237	2	<b>4·9/8</b>	40/27	e
229	118	4	<b>4·9/8</b>	4/3	e
230	106	4	<b>4·9/8</b>	4/3	e
212	184	2·3/2	<b>4·10/9</b>	6/5	e
214	176	2·3/2	<b>4·10/9</b>	6/5	e
220	152	2·3/2	<b>4·10/9</b>	27/20	e
221	151	2·3/2	<b>4·10/9</b>	27/20	e
224	137	2·3/2	<b>4·10/9</b>	27/20	e
217	163	2·3/2	<b>4</b>	5/4	e
321	141	4	<b>2·15/8</b>	4/3	ɛ
322	140	4	<b>2·15/8</b>	4/3	ɛ
323	133	4	<b>2·15/8</b>	4/3	ɛ
328	115	4·5/4	<b>2·9/5</b>	4/3	ɛ
303	220	2·3/2	<b>2·16/9</b>	5/4	ɛ
304	219	2·3/2	<b>2·16/9</b>	5/4	ɛ
305	211	2·3/2	<b>2·16/9</b>	5/4	ɛ
216	169	2·3/2	<b>2·16/9</b>	45/32	e

mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	vocal
301	218	2-3/2	<b>2-5/3</b>	4/3	ɛ
302	209	2-3/2	<b>2-5/3</b>	3/2	ɛ
318	175	4	<b>2-5/3</b>	27/20	ɛ
317	170	4	<b>2-5/3</b>	6/5	ɛ
319	169	4	<b>2-5/3</b>	27/20	ɛ
316	156	4	<b>2-5/3</b>	9/8	ɛ
320	152	4	<b>2-5/3</b>	27/20	ɛ
327	111	4-5/4	<b>2-8/5</b>	3/2	ɛ
310	203	4	<b>2-3/2</b>	4/3	ɛ
314	188	4	<b>2-3/2</b>	4/3	ɛ
315	172	4	<b>2-3/2</b>	5/4	ɛ
313	156	4	<b>2-3/2</b>	5/4	ɛ
724	146	2	<b>2-3/2</b>	2-4/3	u
326	123	4-5/4	<b>2-3/2</b>	6/5	ɛ
330	106	4-3/2	<b>2-3/2</b>	4/3	ɛ
308	209	4	<b>2-4/3</b>	45/32	ɛ
309	203	4	<b>2-4/3</b>	3/2	ɛ

mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	vocal
311	182	4	<b>2·4/3</b>	3/2	<b>ɛ</b>
312	153	4	<b>2·4/3</b>	27/16	<b>ɛ</b>
324	133	4·5/4	<b>2·4/3</b>	6/5	<b>ɛ</b>
325	125	4·5/4	<b>2·4/3</b>	3/2	<b>ɛ</b>
329	114	4·3/2	<b>2·4/3</b>	4/3	<b>ɛ</b>
711	235	2	<b>2·5/4</b>	2·6/5	<b>u</b>
307	208	4	<b>2·5/4</b>	4/3	<b>ɛ</b>
306	204	4	<b>2·5/4</b>	6/5	<b>ɛ</b>
720	195	2	<b>2·5/4</b>	2·6/5	<b>u</b>
721	192	2	<b>2·5/4</b>	2·6/5	<b>u</b>
722	186	2	<b>2·5/4</b>	2·3/2	<b>u</b>
723	148	2	<b>2·5/4</b>	2·3/2	<b>u</b>
712	196	2	<b>2·5/4</b>	2·16/15	<b>u</b>
630	107	4	<b>2·5/4</b>	2·16/15	<b>o</b>
403	216	4	<b>2·9/8</b>	40/27	<b>a</b>
402	213	4	<b>2·9/8</b>	4/3	<b>a</b>
625	124	4	<b>2·9/8</b>	2	<b>o</b>

mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	vocal
626	122	4	<b>2·9/8</b>	2·10/9	<b>o</b>
627	115	4	<b>2·9/8</b>	2·10/9	<b>o</b>
622	178	2·3/2	<b>2·10/9</b>	2·10/9	<b>o</b>
611	164	2·3/2	<b>2·10/9</b>	2·9/8	<b>o</b>
623	154	2·3/2	<b>2·10/9</b>	2	<b>o</b>
423	120	4·3/2	<b>2·10/9</b>	27/20	<b>a</b>
730	237	2	<b>2</b>	2·3/2	<b>u</b>
710	253	2	<b>2</b>	2·4/3	<b>u</b>
709	231	2	<b>2</b>	2·4/3	<b>u</b>
603	222	2·3/2	<b>2</b>	2·10/9	<b>o</b>
604	210	2·3/2	<b>2</b>	2·10/9	<b>o</b>
401	209	4	<b>2</b>	5/3	<b>a</b>
716	194	2	<b>2</b>	2·5/3	<b>u</b>
715	192	2	<b>2</b>	2·4/3	<b>u</b>
717	190	2	<b>2</b>	2·15/8	<b>u</b>
718	189	2	<b>2</b>	2·15/8	<b>u</b>
618	187	2·3/2	<b>2</b>	2·10/9	<b>o</b>

mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	vocal
412	186	4·5/4	<b>2</b>	3/2	<b>a</b>
616	164	2·3/2	<b>2</b>	2·10/9	<b>o</b>
619	184	2·3/2	<b>2</b>	2·10/9	<b>o</b>
620	178	2·3/2	<b>2</b>	2·5/4	<b>o</b>
617	163	2·3/2	<b>2</b>	2	<b>o</b>
719	160	2	<b>2</b>	2·15/8	<b>u</b>
413	156	4·5/4	<b>2</b>	3/2	<b>a</b>
621	155	2·3/2	<b>2</b>	2·3/2	<b>o</b>
624	158	2·3/2	<b>2</b>	2·10/9	<b>o</b>
422	129	4·3/2	<b>2</b>	3/2	<b>a</b>
726	124	2·3/2	<b>2</b>	2·16/9	<b>u</b>
628	119	4	<b>2</b>	2·5/4	<b>o</b>
728	119	2·3/2	<b>2</b>	2·16/9	<b>u</b>
729	119	2·3/2	<b>2</b>	2·16/9	<b>u</b>
629	110	4	<b>2</b>	2·3/2	<b>o</b>
713	242	2	<b>2</b>	2·3/2	<b>u</b>
708	198	2	<b>2</b>	4	<b>u</b>

mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	vocal
405	206	4·5/4	<b>9/5</b>	40/27	<b>a</b>
408	200	4·5/4	<b>9/5</b>	5/3	<b>a</b>
409	197	4·5/4	<b>9/5</b>	40/27	<b>a</b>
410	194	4·5/4	<b>9/5</b>	40/27	<b>a</b>
411	181	4·5/4	<b>9/5</b>	5/3	<b>a</b>
526	120	4·5/4	<b>9/5</b>	2	<b>ɔ</b>
428	115	4·5/3	<b>9/5</b>	16/9	<b>a</b>
527	115	4·5/4	<b>9/5</b>	2·10/9	<b>ɔ</b>
429	114	4·5/3	<b>9/5</b>	16/9	<b>a</b>
419	141	4·3/2	<b>16/9</b>	3/2	<b>a</b>
421	138	4·3/2	<b>16/9</b>	27/16	<b>a</b>
420	137	4·3/2	<b>16/9</b>	3/2	<b>a</b>
501	260	2·3/2	<b>5/3</b>	2	<b>ɔ</b>
602	229	2·3/2	<b>5/3</b>	2·6/5	<b>o</b>
601	212	2·3/2	<b>5/3</b>	2·4/3	<b>o</b>
505	211	4	<b>5/3</b>	2	<b>ɔ</b>
605	194	2·3/2	<b>5/3</b>	2·6/5	<b>o</b>

mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	vocal
509	192	4	<b>5/3</b>	2	ɔ
610	183	2·3/2	<b>5/3</b>	2·8/5	o
606	182	2·3/2	<b>5/3</b>	2·3/2	o
607	182	2·3/2	<b>5/3</b>	2·3/2	o
511	179	4	<b>5/3</b>	2·6/5	ɔ
612	179	2·3/2	<b>5/3</b>	2·8/5	o
613	177	2·3/2	<b>5/3</b>	2·8/5	o
414	176	4·3/2	<b>5/3</b>	3/2	a
614	172	2·3/2	<b>5/3</b>	2·8/5	o
415	170	4·3/2	<b>5/3</b>	8/5	a
510	168	4	<b>5/3</b>	2·9/8	ɔ
615	162	2·3/2	<b>5/3</b>	2·8/5	o
608	159	2·3/2	<b>5/3</b>	2·3/2	o
609	155	2·3/2	<b>5/3</b>	2·3/2	o
417	146	4·3/2	<b>5/3</b>	9/5	a
416	145	4·3/2	<b>5/3</b>	8/5	a
424	168	4·3/2	<b>5/3</b>	8/5	a

mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	vocal
513	139	4	<b>5/3</b>	2·27/20	ɔ
512	137	4	<b>5/3</b>	2·6/5	ɔ
504	206	4	<b>5/3</b>	2	ɔ
517	157	4	<b>5/3</b>	2·10/9	ɔ
418	134	4·3/2	<b>5/3</b>	9/5	a
727	121	2·3/2	<b>5/3</b>	4·16/15	u
725	121	2·3/2	<b>5/3</b>	2·9/5	u
530	98	4·3/2	<b>5/3</b>	2·16/15	ɔ
404	206	4·5/4	<b>8/5</b>	5/3	a
407	195	4·5/4	<b>8/5</b>	15/8	a
522	169	4·5/4	<b>8/5</b>	2	ɔ
520	163	4·5/4	<b>8/5</b>	2	ɔ
521	150	4·5/4	<b>8/5</b>	2	ɔ
426	135	4·5/3	<b>8/5</b>	15/8	a
523	134	4·5/4	<b>8/5</b>	2·9/8	ɔ
524	130	4·5/4	<b>8/5</b>	2·9/8	ɔ
525	123	4·5/4	<b>8/5</b>	2·5/4	ɔ



mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1(fR)	F1~F2(fR)	F2~F3(fR)	vocal
427	118	4·5/3	<b>8/5</b>	15/8	<b>a</b>
707	247	2	<b>3/2</b>	2·16/9	<b>u</b>
703	245	2	<b>3/2</b>	4	<b>u</b>
706	230	2	<b>3/2</b>	4·10/9	<b>u</b>
503	226	4	<b>3/2</b>	2	<b>ɔ</b>
704	217	2	<b>3/2</b>	4	<b>u</b>
705	201	2	<b>3/2</b>	4	<b>u</b>
714	186	2	<b>3/2</b>	4·5/4	<b>u</b>
507	181	4	<b>3/2</b>	2·10/9	<b>ɔ</b>
508	147	4	<b>3/2</b>	2·5/4	<b>ɔ</b>
519	137	4·5/4	<b>3/2</b>	2·4/3	<b>ɔ</b>
425	134	4·5/3	<b>3/2</b>	8/5	<b>a</b>
529	114	4·3/2	<b>3/2</b>	2·32/27	<b>ɔ</b>
406	199	4·5/4	<b>4/3</b>	2	<b>a</b>
516	175	4·5/4	<b>4/3</b>	2·6/5	<b>ɔ</b>
518	134	4·5/4	<b>4/3</b>	2·3/2	<b>ɔ</b>
430	113	8	<b>4/3</b>	15/8	<b>a</b>

mostra núm.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	F2~F3( <i>fR</i> )	vocal
528	110	4·3/2	<b>4/3</b>	2·4/3	ɔ
502	209	4	<b>5/4</b>	2·4/3	ɔ
506	182	4	<b>5/4</b>	2·4/3	ɔ
515	198	4·5/4	<b>6/5</b>	2·10/9	ɔ
701	231	2	<b>1</b>	4·3/2	u
702	224	2	<b>1</b>	4·5/3	u
514	196	4·5/4	<b>1</b>	2·3/2	ɔ

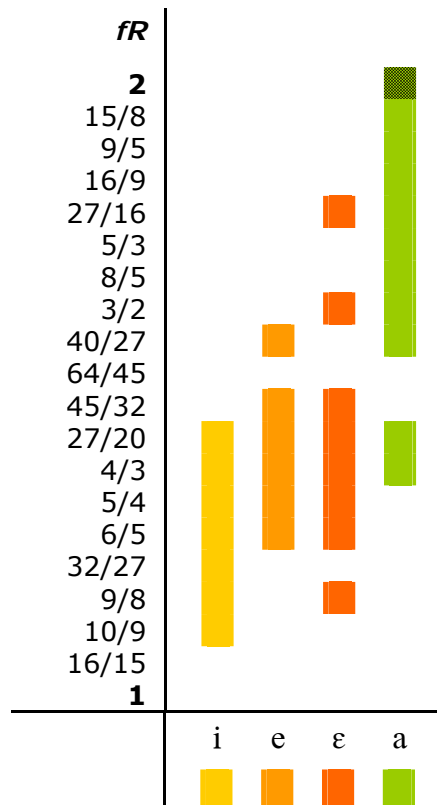
### 3.4 Interval F2~F3

Els resultats obtinguts mostren que les vocals [i, e, ε, a] tenen l'interval F2~F3 per sota de  $2fR$  i les vocals [o, ɔ, u] tenen l'interval F2~F3 igual o superior a  $2fR$  (gràfics 3.7 i 3.8). Només hi ha una excepció, la vocal [a] de la mostra 406, però només representa el 0,5% d'error (taula 3.12)

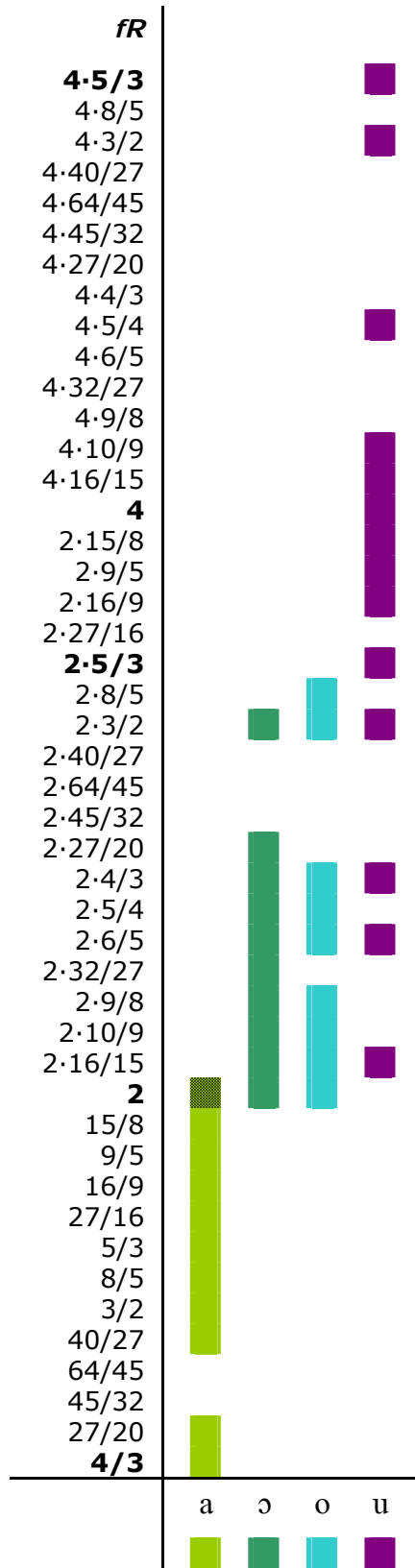
La freqüència relativa d'aquest interval caracteritza molt bé la vocal [u], que és la que té els valors més alts. Les vocals [o, ɔ] no superen els  $2\cdot5/3fR$ , mentre que, generalment, els valors de la vocal [u] se situen per sobre d'aquesta freqüència relativa. Independentment de la freqüència relativa de l'interval F1~F2, quan les vocals [u] i [o] coincideixen amb  $F0\sim F1 = 2\cdot3/2fR$ , la vocal [u] sempre té l'interval F2~F3 per sobre de  $2\cdot5/3fR$ . De totes maneres, els casos en què [u] i [o] coincideixen a l'interval F2~F3 se solucionen per la distinció als altres intervals.

Les vocals [a] i [ɔ] no coincideixen en aquest interval, tret de l'excepció, però tampoc ho fan a l'interval F1~F2.

Les vocals [i, e, ε, a] són dins un espai espectral massa reduït per distingir-les en aquest interval. [i, e, ε] es distingeixen entre elles a l'interval F1~F2 i [a] es distingeix d'elles per la combinació d' F2~F3 amb els altres intervals.



**Gràfic 3.7** Freqüències relatives de l'interval F2~F3 : vocals [i, e, ε, a]



Gràfic 3.8 Frequències relatives l'interval F2~F3 : vocals [a, ə, o, u].

**Taula 3.12.** Resultats ordenats per l'interval F2~F3  
(ordre descendent i per vocals)

mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	<b>F2~F3(<i>fR</i>)</b>	vocal
702	224	2	1	<b>4·5/3</b>	u
701	231	2	1	<b>4·3/2</b>	u
714	186	2	3/2	<b>4·5/4</b>	u
706	230	2	3/2	<b>4·10/9</b>	u
727	121	2·3/2	5/3	<b>4·16/15</b>	u
703	245	2	3/2	<b>4</b>	u
704	217	2	3/2	<b>4</b>	u
705	201	2	3/2	<b>4</b>	u
708	198	2	2	<b>4</b>	u
717	190	2	2	<b>2·15/8</b>	u
718	189	2	2	<b>2·15/8</b>	u
719	160	2	2	<b>2·15/8</b>	u
725	121	2·3/2	5/3	<b>2·9/5</b>	u
707	247	2	3/2	<b>2·16/9</b>	u
726	124	2·3/2	2	<b>2·16/9</b>	u
728	119	2·3/2	2	<b>2·16/9</b>	u

mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	<b>F2~F3(<i>fR</i>)</b>	vocal
729	119	2·3/2	2	<b>2·16/9</b>	<b>u</b>
716	194	2	2	<b>2·5/3</b>	<b>u</b>
713	242	2	2	<b>2·3/2</b>	<b>u</b>
730	237	2	2	<b>2·3/2</b>	<b>u</b>
722	186	2	2·5/4	<b>2·3/2</b>	<b>u</b>
723	148	2	2·5/4	<b>2·3/2</b>	<b>u</b>
710	253	2	2	<b>2·4/3</b>	<b>u</b>
709	231	2	2	<b>2·4/3</b>	<b>u</b>
715	192	2	2	<b>2·4/3</b>	<b>u</b>
724	146	2	2·3/2	<b>2·4/3</b>	<b>u</b>
711	235	2	2·5/4	<b>2·6/5</b>	<b>u</b>
720	195	2	2·5/4	<b>2·6/5</b>	<b>u</b>
721	192	2	2·5/4	<b>2·6/5</b>	<b>u</b>
712	196	2	2·5/4	<b>2·16/15</b>	<b>u</b>
610	183	2·3/2	5/3	<b>2·8/5</b>	<b>o</b>
612	179	2·3/2	5/3	<b>2·8/5</b>	<b>o</b>
613	177	2·3/2	5/3	<b>2·8/5</b>	<b>o</b>

mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	<b>F2~F3(<i>fR</i>)</b>	vocal
614	172	2·3/2	5/3	<b>2·8/5</b>	<b>0</b>
615	162	2·3/2	5/3	<b>2·8/5</b>	<b>0</b>
606	182	2·3/2	5/3	<b>2·3/2</b>	<b>0</b>
607	182	2·3/2	5/3	<b>2·3/2</b>	<b>0</b>
608	159	2·3/2	5/3	<b>2·3/2</b>	<b>0</b>
609	155	2·3/2	5/3	<b>2·3/2</b>	<b>0</b>
621	155	2·3/2	2	<b>2·3/2</b>	<b>0</b>
629	110	4	2	<b>2·3/2</b>	<b>0</b>
601	212	2·3/2	5/3	<b>2·4/3</b>	<b>0</b>
620	178	2·3/2	2	<b>2·5/4</b>	<b>0</b>
628	119	4	2	<b>2·5/4</b>	<b>0</b>
602	229	2·3/2	5/3	<b>2·6/5</b>	<b>0</b>
605	194	2·3/2	5/3	<b>2·6/5</b>	<b>0</b>
622	178	2·3/2	2·10/9	<b>2·9/8</b>	<b>0</b>
611	164	2·3/2	2·10/9	<b>2·9/8</b>	<b>0</b>
603	222	2·3/2	2	<b>2·10/9</b>	<b>0</b>
604	210	2·3/2	2	<b>2·10/9</b>	<b>0</b>



mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	<b>F2~F3(<i>fR</i>)</b>	vocal
618	187	2·3/2	2	<b>2·10/9</b>	<b>o</b>
619	184	2·3/2	2	<b>2·10/9</b>	<b>o</b>
616	164	2·3/2	2	<b>2·10/9</b>	<b>o</b>
624	158	2·3/2	2	<b>2·10/9</b>	<b>o</b>
626	122	4	2·9/8	<b>2·10/9</b>	<b>o</b>
627	115	4	2·9/8	<b>2·10/9</b>	<b>o</b>
630	107	4	2·5/4	<b>2·16/15</b>	<b>o</b>
617	163	2·3/2	2	<b>2</b>	<b>o</b>
623	154	2·3/2	2·10/9	<b>2</b>	<b>o</b>
625	124	4	2·9/8	<b>2</b>	<b>o</b>
514	196	4·5/4	1	<b>2·3/2</b>	<b>ɔ</b>
518	134	4·5/4	4/3	<b>2·3/2</b>	<b>ɔ</b>
513	139	4	5/3	<b>2·27/20</b>	<b>ɔ</b>
502	209	4	5/4	<b>2·4/3</b>	<b>ɔ</b>
506	182	4	5/4	<b>2·4/3</b>	<b>ɔ</b>
519	137	4·5/4	3/2	<b>2·4/3</b>	<b>ɔ</b>
528	110	4·3/2	4/3	<b>2·4/3</b>	<b>ɔ</b>

mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	<b>F2~F3(<i>fR</i>)</b>	vocal
508	147	4	3/2	<b>2·5/4</b>	ɔ
525	123	4·5/4	8/5	<b>2·5/4</b>	ɔ
511	179	4	5/3	<b>2·6/5</b>	ɔ
516	175	4·5/4	4/3	<b>2·6/5</b>	ɔ
512	137	4	5/3	<b>2·6/5</b>	ɔ
529	114	4·3/2	3/2	<b>2·32/27</b>	ɔ
510	168	4	5/3	<b>2·9/8</b>	ɔ
523	134	4·5/4	8/5	<b>2·9/8</b>	ɔ
524	130	4·5/4	8/5	<b>2·9/8</b>	ɔ
515	198	4·5/4	6/5	<b>2·10/9</b>	ɔ
507	181	4	3/2	<b>2·10/9</b>	ɔ
517	157	4	5/3	<b>2·10/9</b>	ɔ
527	115	4·5/4	9/5	<b>2·10/9</b>	ɔ
530	98	4·3/2	5/3	<b>2·16/15</b>	ɔ
501	260	2·3/2	5/3	<b>2</b>	ɔ
503	226	4	3/2	<b>2</b>	ɔ
505	211	4	5/3	<b>2</b>	ɔ

mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	F2~F3( <i>fR</i> )	vocal
504	206	4	5/3	<b>2</b>	ɔ
509	192	4	5/3	<b>2</b>	ɔ
522	169	4·5/4	8/5	<b>2</b>	ɔ
520	163	4·5/4	8/5	<b>2</b>	ɔ
521	150	4·5/4	8/5	<b>2</b>	ɔ
526	120	4·5/4	9/5	<b>2</b>	ɔ
406	199	4·5/4	4/3	<b>2</b>	<b>a</b>
407	195	4·5/4	8/5	<b>15/8</b>	<b>a</b>
426	135	4·5/3	8/5	<b>15/8</b>	<b>a</b>
427	118	4·5/3	8/5	<b>15/8</b>	<b>a</b>
430	113	8	4/3	<b>15/8</b>	<b>a</b>
417	146	4·3/2	5/3	<b>9/5</b>	<b>a</b>
418	134	4·3/2	5/3	<b>9/5</b>	<b>a</b>
428	115	4·5/3	9/5	<b>16/9</b>	<b>a</b>
429	114	4·5/3	9/5	<b>16/9</b>	<b>a</b>
421	138	4·3/2	16/9	<b>27/16</b>	<b>a</b>
401	209	4	2	<b>5/3</b>	<b>a</b>

mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	<b>F2~F3(<i>fR</i>)</b>	vocal
404	206	4·5/4	8/5	<b>5/3</b>	<b>a</b>
408	200	4·5/4	9/5	<b>5/3</b>	<b>a</b>
411	181	4·5/4	9/5	<b>5/3</b>	<b>a</b>
415	170	4·3/2	5/3	<b>8/5</b>	<b>a</b>
424	168	4·3/2	5/3	<b>8/5</b>	<b>a</b>
416	145	4·3/2	5/3	<b>8/5</b>	<b>a</b>
425	134	4·5/3	3/2	<b>8/5</b>	<b>a</b>
412	186	4·5/4	2	<b>3/2</b>	<b>a</b>
414	176	4·3/2	5/3	<b>3/2</b>	<b>a</b>
413	156	4·5/4	2	<b>3/2</b>	<b>a</b>
419	141	4·3/2	16/9	<b>3/2</b>	<b>a</b>
420	137	4·3/2	16/9	<b>3/2</b>	<b>a</b>
422	129	4·3/2	2	<b>3/2</b>	<b>a</b>
403	216	4	2·9/8	<b>40/27</b>	<b>a</b>
405	206	4·5/4	9/5	<b>40/27</b>	<b>a</b>
409	197	4·5/4	9/5	<b>40/27</b>	<b>a</b>
410	194	4·5/4	9/5	<b>40/27</b>	<b>a</b>

mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	<b>F2~F3(<i>fR</i>)</b>	vocal
423	120	4·3/2	2·10/9	<b>27/20</b>	<b>a</b>
402	213	4	2·9/8	<b>4/3</b>	<b>a</b>
312	153	4	2·4/3	<b>27/16</b>	<b>ɛ</b>
302	209	2·3/2	2·5/3	<b>3/2</b>	<b>ɛ</b>
309	203	4	2·4/3	<b>3/2</b>	<b>ɛ</b>
311	182	4	2·4/3	<b>3/2</b>	<b>ɛ</b>
325	125	4·5/4	2·4/3	<b>3/2</b>	<b>ɛ</b>
327	111	4·5/4	2·8/5	<b>3/2</b>	<b>ɛ</b>
308	209	4	2·4/3	<b>45/32</b>	<b>ɛ</b>
318	175	4	2·5/3	<b>27/20</b>	<b>ɛ</b>
319	169	4	2·5/3	<b>27/20</b>	<b>ɛ</b>
320	152	4	2·5/3	<b>27/20</b>	<b>ɛ</b>
301	218	2·3/2	2·5/3	<b>4/3</b>	<b>ɛ</b>
307	208	4	2·5/4	<b>4/3</b>	<b>ɛ</b>
310	203	4	2·3/2	<b>4/3</b>	<b>ɛ</b>
314	188	4	2·3/2	<b>4/3</b>	<b>ɛ</b>
321	141	4	2·15/8	<b>4/3</b>	<b>ɛ</b>

mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	<b>F2~F3(<i>fR</i>)</b>	vocal
322	140	4	2·15/8	<b>4/3</b>	ɛ
323	133	4	2·15/8	<b>4/3</b>	ɛ
328	115	4·5/4	2·9/5	<b>4/3</b>	ɛ
329	114	4·3/2	2·4/3	<b>4/3</b>	ɛ
330	106	4·3/2	2·3/2	<b>4/3</b>	ɛ
303	220	2·3/2	2·16/9	<b>5/4</b>	ɛ
304	219	2·3/2	2·16/9	<b>5/4</b>	ɛ
305	211	2·3/2	2·16/9	<b>5/4</b>	ɛ
313	156	4	2·3/2	<b>5/4</b>	ɛ
315	172	4	2·3/2	<b>5/4</b>	ɛ
306	204	4	2·5/4	<b>6/5</b>	ɛ
317	170	4	2·5/3	<b>6/5</b>	ɛ
324	133	4·5/4	2·4/3	<b>6/5</b>	ɛ
326	123	4·5/4	2·3/2	<b>6/5</b>	ɛ
316	156	4	2·5/3	<b>9/8</b>	ɛ
201	237	2	4·9/8	<b>40/27</b>	e
207	218	2	4·4/3	<b>45/32</b>	e

mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	<b>F2~F3(<i>fR</i>)</b>	vocal
216	169	2·3/2	2·16/9	<b>45/32</b>	e
220	152	2·3/2	4·10/9	<b>27/20</b>	e
221	151	2·3/2	4·10/9	<b>27/20</b>	e
224	137	2·3/2	4·10/9	<b>27/20</b>	e
203	226	2	4·5/4	<b>4/3</b>	e
205	219	2	4·5/4	<b>4/3</b>	e
215	175	2·3/2	4·5/4	<b>4/3</b>	e
228	130	2·3/2	4·4/3	<b>4/3</b>	e
227	129	2·3/2	4·4/3	<b>4/3</b>	e
229	118	4	4·9/8	<b>4/3</b>	e
230	106	4	4·9/8	<b>4/3</b>	e
202	226	2	4·4/3	<b>5/4</b>	e
204	225	2	4·4/3	<b>5/4</b>	e
206	218	2	4·4/3	<b>5/4</b>	e
208	217	2	4·4/3	<b>5/4</b>	e
209	215	2	4·4/3	<b>5/4</b>	e
210	213	2	4·4/3	<b>5/4</b>	e

mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	<b>F2~F3(<i>fR</i>)</b>	vocal
211	194	2	4·4/3	<b>5/4</b>	e
217	163	2·3/2	4	<b>5/4</b>	e
218	162	2·3/2	4·4/3	<b>5/4</b>	e
223	138	2·3/2	4·4/3	<b>5/4</b>	e
225	131	2·3/2	4·4/3	<b>5/4</b>	e
212	184	2·3/2	4·10/9	<b>6/5</b>	e
213	183	2·3/2	4·5/4	<b>6/5</b>	e
214	176	2·3/2	4·10/9	<b>6/5</b>	e
219	155	2·3/2	4·5/4	<b>6/5</b>	e
222	149	2·3/2	4·5/4	<b>6/5</b>	e
226	130	2·3/2	4·5/4	<b>6/5</b>	e
106	203	1	8·5/3	<b>27/20</b>	i
119	160	2	4·5/3	<b>27/20</b>	i
113	197	2	4·5/3	<b>4/3</b>	i
123	155	2	4·15/8	<b>4/3</b>	i
112	145	2	8·9/8	<b>4/3</b>	i
126	130	2	8·9/8	<b>4/3</b>	i



mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	<b>F2~F3(<i>fR</i>)</b>	vocal
127	130	2	8·9/8	<b>4/3</b>	i
109	205	2	4·3/2	<b>5/4</b>	i
111	181	2	4·3/2	<b>5/4</b>	i
124	143	2	8	<b>5/4</b>	i
130	110	2·3/2	4·16/9	<b>5/4</b>	i
104	236	1	8·5/3	<b>6/5</b>	i
105	231	1	8·5/3	<b>6/5</b>	i
114	200	2	4·5/3	<b>6/5</b>	i
115	194	2	4·5/3	<b>6/5</b>	i
116	193	2	4·5/3	<b>6/5</b>	i
120	190	2	4·15/8	<b>6/5</b>	i
117	188	2	4·5/3	<b>6/5</b>	i
121	183	2	4·15/8	<b>6/5</b>	i
118	174	2	4·5/3	<b>6/5</b>	i
122	168	2	4·15/8	<b>6/5</b>	i
125	125	2	8·9/8	<b>32/27</b>	i
128	123	2·3/2	4·3/2	<b>32/27</b>	i

mostra num.	F0 (Hz)	F0~F1( <i>fR</i> )	F1~F2( <i>fR</i> )	<b>F2~F3(<i>fR</i>)</b>	vocal
129	115	2·3/2	4·3/2	<b>32/27</b>	<b>i</b>
101	233	1	8·3/2	<b>10/9</b>	<b>i</b>
102	231	1	8·3/2	<b>10/9</b>	<b>i</b>
103	229	1	8·3/2	<b>10/9</b>	<b>i</b>
107	223	2	4·3/2	<b>10/9</b>	<b>i</b>
108	218	2	4·3/2	<b>10/9</b>	<b>i</b>
110	198	2	4·3/2	<b>10/9</b>	<b>i</b>

### 3.5 Recapitulació

En els quadres següents s'han recopilat els resultats dels intervals de freqüència relativa per vocals.

[i]

- $F0 \sim F1 = 1fR - 2fR$ , quan  $F0 > 200\text{Hz}$
- $F0 \sim F1 = 2fR$ , quan  $F0: 125\text{Hz} - 200\text{Hz}$
- $F0 \sim F1 = 2 \cdot 3/2 fR$ , quan  $F0 < 125\text{Hz}$
- $F1 \sim F2 = 4 \cdot 3/2 fR - 8 \cdot 5/3 fR$
- $F2 \sim F3 < 2fR$

## [e]

- $F_0 \sim F_1 = 2fR$ , quan  $F_0 > 200\text{Hz}$
- $F_0 \sim F_1 = 2fR - 2 \cdot 3/2fR$ , quan  $F_0: 125\text{Hz} - 200\text{Hz}$
- $F_0 \sim F_1 = 4fR$ , quan  $F_0 < 125\text{Hz}$
- $F_1 \sim F_2 = 4fR - 4 \cdot 4/3fR$
- $F_2 \sim F_3 < 2fR$

## [ɛ]

- $F_0 \sim F_1 = 2 \cdot 3/2fR - 4fR$ , quan  $F_0 > 200\text{Hz}$
- $F_0 \sim F_1 = 4fR - 4 \cdot 5/4fR$ , quan  $F_0: 125\text{Hz} - 200\text{Hz}$
- $F_0 \sim F_1 = 4 \cdot 5/4fR - 4 \cdot 3/2fR$ , quan  $F_0 < 125\text{Hz}$
- $F_1 \sim F_2 = 2 \cdot 5/4fR - 2 \cdot 3/2fR$
- $F_2 \sim F_3 < 2fR$

## [a]

- $F_0 \sim F_1 = 4fR - 4.5/4fR$ , quan  $F_0 > 200\text{Hz}$
- $F_0 \sim F_1 = 4.5/4fR - 4.5/3fR$ , quan  $F_0: 125\text{Hz} - 200\text{Hz}$
- $F_0 \sim F_1 = \geq 4.5/3fR$ , quan  $F_0 < 125\text{Hz}$
- $F_1 \sim F_2 = < 2.5/4fR$
- $F_2 \sim F_3 < 2fR$

## [ɔ]

- $F_0 \sim F_1 = 2.3/2fR - 4fR$ , quan  $F_0 > 200\text{Hz}$
- $F_0 \sim F_1 = 4fR - 4.5/4fR$ , quan  $F_0: 125\text{Hz} - 200\text{Hz}$
- $F_0 \sim F_1 = 4.5/4fR - 4.3/2fR$ , quan  $F_0 < 125\text{Hz}$
- $F_1 \sim F_2 = < 2.5/4fR$
- $F_1 \sim F_2 = < 2fR$ , quan  $F_0 \sim F_1 = 4fR$
- $F_2 \sim F_3 = 2fR - 2.5/3fR$

## [o]

- $F0 \sim F1 = 2 \cdot 3/2 fR$ , quan  $F0 > 200\text{Hz}$
- $F0 \sim F1 = 2 \cdot 3/2 fR$ , quan  $F0: 125\text{Hz} - 200\text{Hz}$
- $F0 \sim F1 = 4fR$ , quan  $F0 < 125\text{Hz}$
- $F1 \sim F2 \leq 2 \cdot 5/4 fR$
- $F1 \sim F2 \geq 2fR$ , quan  $F0 \sim F1 = 4fR$
- $F2 \sim F3 = 2fR - 2 \cdot 5/3 fR$

## [u]

- $F0 \sim F1 = 2fR$ , quan  $F0 > 200\text{Hz}$
- $F0 \sim F1 = 2fR$ , quan  $F0: 125\text{Hz} - 200\text{Hz}$
- $F0 \sim F1 = 2 \cdot 3/2 fR$ , quan  $F0 < 125\text{Hz}$
- $F1 \sim F2 \leq 2 \cdot 5/4 fR$
- $F2 \sim F3 = 2fR - 4 \cdot 5/3 fR$
- $F2 \sim F3 > 2 \cdot 5/3 fR$ , quan  $F0 \sim F1 = 2 \cdot 3/2 fR$

## Capítol 4 Discussió

### 4.1 Els correlats acústics dels trets distintius.

Els resultats ens donen les combinacions de freqüència relativa dels intervals que caracteritzen les vocals tòniques del català i les distingeixen malgrat les variacions de la freqüència fonamental. Però un cop feta la part descriptiva de les vocals el que cal és establir les freqüències relatives que marquen els límits de domini dels trets distintius.

Segons la classificació de les vocals naturals d'Stevens (1998) (vegeu apartat 1.1):

- ✚ A les vocals [+alt, -baix], la freqüència d'F1 és baixa i màximament convergent amb F0, mentre que a les vocals [-alt, +baix], la freqüència d'F1 és alta i màximament convergent amb F2.

És a dir, com més se separi o divergeixi F1 d'F0, més alta serà la freqüència relativa de l'interval F0~F1 (vocal [a]). En cas contrari, la freqüència relativa d'F0~F1 serà baixa (vocal [i] i [u]).

- ✚ La freqüència d'F2 és molt alta i propera a la d'F3 a les vocals [-pos] i molt baixa i propera a la d'F1 a les vocals [+pos].

Dit d'una altra manera: la freqüència relativa de l'interval  $F1 \sim F2$  tindrà un valor elevat a les vocals anteriors, i un valor baix, a les vocals posteriors, perquè en aquestes  $F1$  i  $F2$  tendeixen a ajuntar-se.

- ✚ La conseqüència acústica en les vocals [-alt, -baix, -AA] (en català [ɛ, ɔ]) és que la distància entre  $F1$  i  $F2$  disminueix en relació a la distribució d'aquests dos formants en les vocals [-alt, -baix, +AA] (en català [e, o]).

Per tant, el correlat acústic del tret d'arrel avançada es troba a l'interval  $F1 \sim F2$ . A les vocals [ɛ, ɔ] (vocal [-AA]) la freqüència relativa de l'interval serà més petita en comparació a les vocals [e, o] (vocal [+AA])

- ✚ Per l'arrodoniment de llavis, es produeix un acostament d' $F1$  i  $F2$  a les vocals posteriors i les freqüències dels formants superiors s'afebleixen (vocal [+pos, +lab], en català [ɔ, o u]).

Per aquest motiu, encara que  $F3$  també tendeixi a baixar, la freqüència relativa de l'interval  $F2 \sim F3$  tindrà un valor alt en les vocals labials i un valor baix o molt baix en les vocals no labialitzades.

Al *Quadre de normalització per freqüències relatives* es recopilen les freqüències relatives dels intervals  $F0 \sim F1$  (per extensions d' $F0$ ),  $F1 \sim F2$  i



F2~F3 que caracteritzen i identifiquen les vocals tòniques del català, i és d'on s'extreuen els límits de domini dels trets distintius.

Quadre de Normalització per freqüències relatives					
vocal tònica del català	F0	F0:	F0 < 125Hz	F0 = x (F0~F1=4fR)	F0 = x
	> 200Hz	125Hz-200Hz		F1~F2	F2~F3
		F0~F1			
i	1 - 2	2	2·3/2	4·3/2 - 8·5/3	< 2
e	2	2 - 2·3/2	4	4 - 4·4/3	< 2
ɛ	2·3/2 - 4	4 - 4·5/4	4·5/4 - 4·3/2	2·5/4 - 2·3/2	< 2
a	4 - 4·5/4	4·5/4 - 4·5/3	≥ 4·5/3	< 2·5/4	< 2
ɔ	2·3/2 - 4	4 - 4·5/4	4·5/4 - 4·3/2	< 2·5/4 (< 2)	2 - 2·5/3
o	2·3/2	2·3/2	4	≤ 2·5/4 (≥ 2)	2 - 2·5/3
u	2	2	2·3/2	≤ 2·5/4	2 - 4·5/3
	fR	fR	fR	fR (fR)	fR (fR)

La freqüència màxima de l'interval F1~F2 de [i] ( $8 \cdot 5/3 fR$ ) i la de l'interval F2~F3 de [u] ( $4 \cdot 5/4 fR$ ) són orientatives. Per aquests dos intervals és indiferent la freqüència en hertz d'F0 ( $F0=x$ ).

### 4.1.1 Interval F0~F1

Tot i que a l'interval F0~F1 és on es classifiquen les vocals segons la seva obertura, els límits de domini dels trets [alt] i [baix] no són pas senzills d'establir. Només en l'extensió  $F_0 < 125\text{Hz}$  és possible establir la relació del límit de domini dels trets [alt] i [baix] amb la freqüència relativa de l'interval F0~F1:

- ✚ Si  $F_0 < 125\text{Hz}$  i  $F_0 \sim F_1 = 2 \cdot 3 / 2fR$ , la vocal serà [+alt] → [i, u]
- ✚ Si  $F_0 < 125\text{Hz}$  i  $F_0 \sim F_1 > 2 \cdot 3 / 2fR$ , la vocal serà [-alt] → [e, ε, a, ə, o]
- ✚ Si  $F_0 < 125\text{Hz}$  i  $F_0 \sim F_1 \geq 4 \cdot 5 / 3fR$ , la vocal serà [+baix] → [a]
- ✚ Si  $F_0 < 125\text{Hz}$  i  $F_0 \sim F_1 < 4 \cdot 5 / 3fR$ , la vocal serà [-baix] → [i, e, ε, ə, o, u]

A l'extensió  $F_0: 125\text{-}200\text{Hz}$  es pot establir clarament la relació per al tret [alt]:

✚ F0:125Hz-200Hz i  $F0 \sim F1 = 2fR$ , la vocal serà [+alt] → [i, u]

✚ F0:125Hz-200Hz i  $F0 \sim F1 > 2fR$ , la vocal serà [-alt] → [e, ε, a, ə, o]

Però s'haurien de fer algunes concessions en la limitació del tret [baix] perquè [ε], [a] i [ə] poden tenir  $F0 \sim F1 = 4 \cdot 5/4fR$  en aquesta extensió. Si es considera que el límit de domini el marca [a], perquè és vocal cardinal extrema del català, s'haurà de considerar que les vocals [ε] i [ə] amb  $F0 \sim F1 = 4 \cdot 5/4fR$  són excepcions de la classificació fonològica, tot i que acústicament són possibles:

✚ F0:125Hz-200Hz i  $F0 \sim F1 \geq 4 \cdot 5/4fR$ , la vocal serà [+baix] → [a]

✚ F0:125Hz-200Hz i  $F0 \sim F1 < 4 \cdot 5/4fR$ , la vocal serà [-baix] → [i, e, ε, ə, o, u]

Passa el mateix a l'extensió  $F0 > 200\text{Hz}$ . Si es considera que el límit de domini del tret [baix] el marca la vocal [a], les vocals [ε] i [ə] que tinguin  $F0 \sim F1 = 4fR$  en aquesta extensió s'hauran de considerar excepcions a la regla:

✚  $F_0 > 200\text{Hz}$  i  $F_0 \sim F_1 \geq 4fR$ , la vocal serà [+baix] → [a]

✚  $F_0 > 200\text{Hz}$  i  $F_0 \sim F_1 < 4fR$ , la vocal serà [-baix] → [i, e, ε, ə, o, u]

Pel que fa al tret [alt] a l'extensió  $F_0 > 200\text{Hz}$ , la situació del límit de domini és més complexa. Si només es tenen en compte les vocals cardinals extremes [i, a, u], s'estableix que a  $2fR$  la vocal és [+alt] i per sota de  $2fR$  la vocal és [-alt], perquè l'interval  $F_0 \sim F_1$  d'[u] és a  $2fR$ . Però aplicant aquest límit al conjunt del sistema vocàlic, la vocal [e] queda marcada amb [+alt], perquè la freqüència relativa del seu interval és  $2fR$ . Malgrat que fonològicament la distribució dels trets distintius falli, acústicament la distribució de la freqüència relativa dels intervals no ho fa pas, perquè, en aquesta extensió, [i] té l'interval majoritàriament a  $1fR$ . De totes maneres, com veurem més endavant, la coincidència d'[i] i [e] a l'interval  $F_0 \sim F_1$ , sigui quina sigui l'extensió d' $F_0$ , no comporta pas problemes d'identificació gràcies a la distribució de la freqüència relativa d'aquestes vocals a l'interval  $F_1 \sim F_2$ .

Contràriament al que passa amb els trets [alt] i [baix], en els trets [posterior] i [labial] la freqüència relativa de límit de domini és la mateixa per a qualsevol  $F_0$  ( $F_0 = x$ ). De fet, si només es consideressin les tres vocals

extremes, [i, a, u], es podria establir que, per a qualsevol valor d' $F_0$ , [i] i [u] tenen l'interval  $F_0 \sim F_1 \leq 2 \cdot 3/2 fR$  i [a] té l'interval  $F_0 \sim F_1 \geq 4 \cdot fR$ , amb la qual cosa quedaria clarament delimitat el domini de les vocals [+alt, -baix] i el de les [-alt, +baix], mentre que les vocals [-alt, -baix], [e, ε, ə, o], quedarien fluctuant entre ambdós dominis. Tanmateix, l'interval  $F_0 \sim F_1$  es perfila com l'interval predominant o més significatiu en la identificació de la vocal [a], perquè és l'única vocal tònica catalana amb els trets [-alt, +baix], amb la qual cosa els altres trets no compleixen propiament una funció distintiva, sinó informativa.

#### 4.1.2 Interval $F_1 \sim F_2$

L'interval  $F_1 \sim F_2$  està clarament dominat pel tret [posterior]. Segons els resultats obtinguts,  $2 \cdot 5/4 fR$  marca el límit entre les vocals [-pos] ([i, e, ε]) i les vocals [+pos] ([a, ə, o, u]). Les vocals anteriors tenen els seus valors per sobre d'aquesta freqüència relativa.

📍 vocals [-pos],  $F_1 \sim F_2 > 2 \cdot 5/4 fR$

📍 vocals [+pos],  $F_1 \sim F_2 \leq 2 \cdot 5/4 fR$

Al gràfic 3.5 (capítol 3) s'observa que a les vocals [+pos] les freqüències relatives d'aquest interval es troben força encavalcades. En canvi, les vocals [-pos] es poden distingir perfectament per la freqüència relativa d'aquest interval; fins al punt, que la [i], que és la vocal amb el punt d'articulació

més avançat, és la que destaca pels valors més elevats en freqüència relativa (gràfic 3.4)

El domini del tret [arrel avançada], situat també en aquest interval, no es pot pas generalitzar ni limitar a unes freqüències relatives determinades, sinó que està supeditat a uns condicionaments propis de la parella de vocals que ha de distingir. Així, quan [ɔ] ([-AA]) i [o] ([+AA]) tenen l'interval  $F_0 \sim F_1 = 4fR$ ,  $F_1 \sim F_2$  d'[ɔ]  $< 2fR$  i  $F_1 \sim F_2$  d'[o]  $\geq 2fR$  (gràfic 3.6).

A les vocals [ɛ] i [e], el límit de domini del tret [arrel avançada] es pot establir a  $4fR$ , perquè les vocals [e] i [i], que són [+AA], tenen els intervals d'  $F_1 \sim F_2$  per sobre d'aquesta freqüència, mentre que l'interval  $F_1 \sim F_2$  de la vocal [ɛ], que és [-AA], queda per sota.

### 4.1.3 Interval $F_2 \sim F_3$

Els resultats de l'interval  $F_2 \sim F_3$  són inversament proporcionals als de l'interval  $F_1 \sim F_2$ , tret dels resultats de la vocal [a], que té valors baixos en ambdós intervals.

Atesos els resultats, el límit de domini del tret [labial] s'estableix clarament a l'interval  $F_2 \sim F_3 = 2fR$ , que és la frontera entre [a] ( $F_2 \sim F_3$  màxim =  $15/8fR$ ) i [ɔ] ( $F_2 \sim F_3$  mínim =  $2fR$ )

📊 vocals [+lab],  $F2 \sim F3 \geq 2fR$

📊 vocals [-lab],  $F2 \sim F3 < 2fR$

La distància espectral entre F2 i F3 és tan minsa en les vocals [-lab] ([i, e, ε, a]), que no arriba a superar l'octava.

Pel que fa a les vocals [+lab], la parella [ɔ]/[o] comparteixen l'extensió de freqüència relativa que hi ha entre  $2fR$  i  $2 \cdot 5/3fR$ , mentre que [u], que és la vocal més labialitzada, generalment té valors que poden arribar a  $4 \cdot 5/3fR$ , és a dir, la freqüència relativa de l'interval F2-F3 de la vocal [u] es mou dins l'extensió de gairebé dues octaves (taula 4.1), mentre que les vocals [-lab], com a molt, tenen una octava en aquest interval.

#### 4.1.4 Resum dels correlats

A l'interval  $F0 \sim F1$ , que és on es classifiquen les vocals segons la seva obertura, els límits de domini dels trets [alt] i [baix] no són simples d'establir i depenen de la freqüència del to fonamental ( $F0$ ).

El tret [posterior] és el tret dominant de l'interval  $F1 \sim F2$  perquè el seu límit és molt clar i no depèn de cap condició. Passa el mateix amb el tret [labial] i l'interval  $F2 \sim F3$ .

Les freqüències relatives que marquen els límits dels trets distintius són octaves de l'escala natural (taula 4.1)

**Taula 4.1** Freqüències relatives de l'escala natural ordenades per octaves (dins el quadrats taronja, les *fR* que marquen límits en els trets distintius)

1 <sup>a</sup> octava	<b>1</b>	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	(2)	<b>fR</b>
2 <sup>a</sup> octava	<b>2</b>	2·9/8	<b>2·5/4</b>	2·4/3	<b>2·3/2</b>	<b>2·5/3</b>	2·15/8	(4)	<b>fR</b>
3 <sup>a</sup> octava	<b>4</b>	4·9/8	<b>4·5/4</b>	<b>4·4/3</b>	4·3/2	<b>4·5/3</b>	4·15/8	8	<b>fR</b>

Atesos els resultats per intervals, s'arriba a la conclusió que si a les vocals anteriors  $-[i, e, \varepsilon]-$  el paràmetre que més les identifica és l'interval  $F1 \sim F2$ , a les vocals posteriors i labials  $-[ɔ, o u]-$  el paràmetre és l'interval  $F2 \sim F3$ . Pel que fa a la vocal  $[a]$ , el paràmetre que millor la identifica és l'interval  $F0 \sim F1$ , pels seus alts valors en freqüència relativa.



## 4.2 Verificació

Per comprovar la validesa del mètode i donar solidesa a les afirmacions de l'apartat anterior, es van realitzar dos experiments:

1. Síntesi de vocals seguint els paràmetres del Quadre de Normalització per *fR* i test de percepció per comprovar la qualitat de les vocals sintetitzades.
2. Aplicació del mètode d'identificació a les vocals de l'anglès americà que comparteixen trets distintius amb les del català.

### 4.2.1 Experiment 1: Vocals normalitzades

Es van sintetitzar les set vocals tòniques del català seguint els paràmetres del Quadre de Normalització per *fR*. Els sons resultants van ser sotmesos a un test de percepció.

#### 4.2.1.1 Síntesi de les vocals

Per a la síntesi de les vocals s'ha utilitzat el sintetitzador de Klatt, versió klsyn88 (Klatt, 1980). Aquest programa inclou, per defecte, els formants de la vocal neutra teòrica:

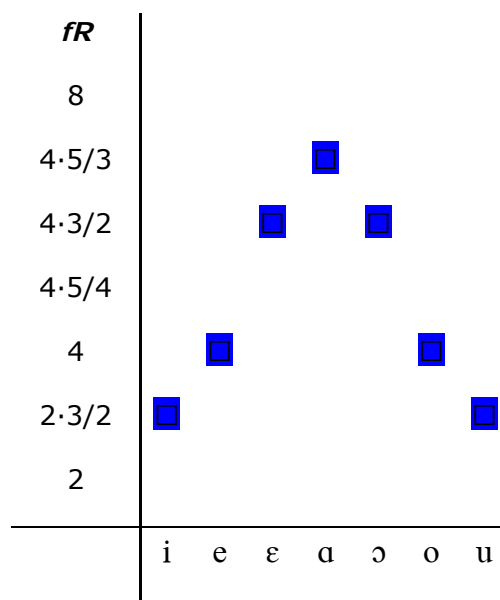
- F1=500Hz
- F2=1500Hz
- F3=2500Hz
- F4 =3250Hz
- F5=3700Hz
- F6=4990Hz

Els valors de freqüència en hertz que s'introdueixen a F1, F2 i F3 de les vocals s'extreu del càlcul dels intervals a partir de tres freqüències fonamentals, una de cada extensió d'F0. Per a F4, F5 i F6 s'han deixat els valors que dona el programa per a la vocal neutra. D'aquesta manera es parteix d'un senyal acústic neutral, la vocal neutra teòrica (vegeu capítol 1), al qual només se li modifica el to de veu (F0) i els formants del timbre vocàlic (F1, F2 i F3), seguint els criteris del Quadre de Normalització (taula 4.2). La durada establerta és de 600ms. Un cop sintetitzades, s'han guardat en arxius \*.wav, que s'han enumerat de l'01 al 21.

🚧 **Extensió F0 < 125Hz -> F0=112Hz.**

Arxius: 01, 02, 03, 04, 05, 06 i 07

La distribució del triangle vocàlic per obertura és  $F_0 \sim F_1 = 2 \cdot 3/2 fR$  per a les vocals tancades,  $F_0 \sim F_1 = 4 fR$  per a les vocals mig tancades,  $F_0 \sim F_1 = 4 \cdot 3/2 fR$  per a les vocals mig obertes i  $F_0 \sim F_1 = 4 \cdot 5/3 fR$  per a la vocal oberta (gràfic 4.1).



**Gràfic 4.1** Distribució de la freqüència relativa l'interval  $F_0 \sim F_1$  de les vocals sintetitzades amb  $F_0 = 112\text{Hz}$ .

arxiu 01	[ i ]		F0 = 112 Hz
interval F0~F1 =	2·3/2	fR	→ F1 = 336 Hz
interval F1~F2 =	4·5/3	fR	→ F2 = 2240 Hz
interval F2~F3 =	32/27	fR	→ F3 = 2655 Hz

És a dir:

- $F1 = F0 \text{ (Hz)} \times fR \text{ d}'F0\sim F1 = 112\text{Hz} \times 2\cdot3/2fR = 336\text{Hz}$
- $F2 = F1 \text{ (Hz)} \times fR \text{ d}'F1\sim F2 = 336\text{Hz} \times 4\cdot5/3fR = 2240\text{Hz}$
- $F3 = F1 \text{ (Hz)} \times fR \text{ d}'F2\sim F3 = 2240\text{Hz} \times 32/27fR = 2655\text{Hz}$

arxiu 02	[ e ]		F0 = 112 Hz
interval F0~F1 =	4	fR	→ F1 = 448 Hz
interval F1~F2 =	4·9/8	fR	→ F2 = 2016 Hz
interval F2~F3 =	4/3	fR	→ F3 = 2698 Hz

arxiu 03	[ ε ]		F0 = 112 Hz
interval F0~F1 =	4·3/2	fR	→ F1 = 672 Hz
interval F1~F2 =	2·4/3	fR	→ F2 = 1792 Hz
interval F2~F3 =	4/3	fR	→ F3 = 2390 Hz

arxiu 04	[a]		F0 = 112	Hz
interval F0~F1 =	4·5/3	fR	→ F1 = 747	Hz
interval F1~F2 =	8/5	fR	→ F2 = 1196	Hz
interval F2~F3 =	15/8	fR	→ F3 = 2243	Hz

arxiu 05	[ɔ]		F0 = 112	Hz
interval F0~F1 =	4·3/2	fR	→ F1 = 672	Hz
interval F1~F2 =	3/2	fR	→ F2 = 1008	Hz
interval F2~F3 =	2·32/27	fR	→ F3 = 2389	Hz

arxiu 06	[o]		F0 = 112	Hz
interval F0~F1 =	4	fR	→ F1 = 448	Hz
interval F1~F2 =	2	fR	→ F2 = 896	Hz
interval F2~F3 =	2·4/3	fR	→ F3 = 2389	Hz

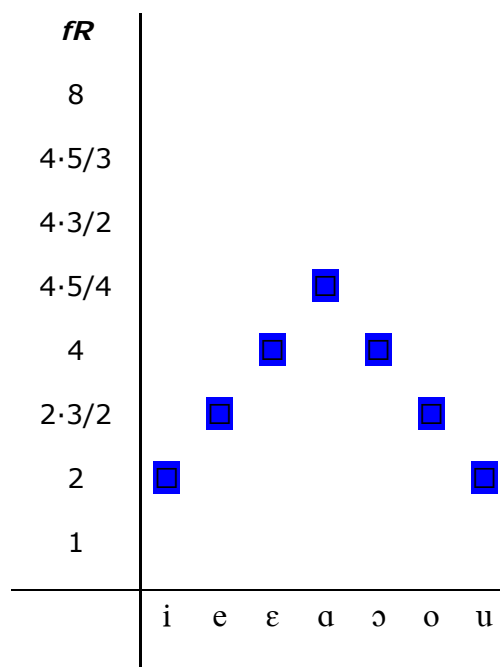
arxiu 07	[u]		F0 = 112	Hz
----------	-----	--	----------	----

interval F0~F1 =	2·3/2	fR	→	F1 =	336	Hz
interval F1~F2 =	2	fR	→	F2 =	672	Hz
interval F2~F3 =	4	fR	→	F3 =	2688	Hz

🚩 **Extensió F0: 125Hz – 200Hz -> F0=160Hz.**

Arxius 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14 i 15.

La distribució del triangle vocàlic per obertura és  $F0 \sim F1 = 2fR$  per a les vocals tancades,  $F0 \sim F1 = 2 \cdot 3/2 fR$  per a les vocals mig tancades,  $F0 \sim F1 = 4fR$  per a les vocals mig obertes i  $F0 \sim F1 = 4 \cdot 5/4 fR$  per a la vocal oberta (gràfic 4.2)



**Gràfic 4.2.** Distribució de la freqüència relativa l'interval F0~F1 de les vocals sintetitzades amb F0=160Hz.

arxiu 08	[ i ]		F0 = 160	Hz
interval F0~F1 =	2	fR	→ F1 =	320 Hz
interval F1~F2 =	4·15/8	fR	→ F2 =	2400 Hz
interval F2~F3 =	6/5	fR	→ F3 =	2880 Hz

arxiu 09	[ e ]		F0 = 160	Hz
interval F0~F1 =	2·3/2	fR	→ F1 =	480 Hz
interval F1~F2 =	4·10/9	fR	→ F2 =	2133 Hz
interval F2~F3 =	6/5	fR	→ F3 =	2560 Hz

arxiu 10	[ ε ]		F0 = 160	Hz
interval F0~F1 =	4	fR	→ F1 =	640 Hz
interval F1~F2 =	2·3/2	fR	→ F2 =	1920 Hz
interval F2~F3 =	6/5	fR	→ F3 =	2304 Hz

arxiu 11	[ a ]		F0 = 160	Hz
interval F0~F1 =	4·5/4	fR	→ F1 =	780 Hz
interval F1~F2 =	9/5	fR	→ F2 =	1440 Hz
interval F2~F3 =	3/2	fR	→ F3 =	2160 Hz

arxiu 12	[ɔ]		F0 = 160	Hz
interval F0~F1 =	4	fR	→ F1 = 640	Hz
interval F1~F2 =	3/2	fR	→ F2 = 960	Hz
interval F2~F3 =	2·4/3	fR	→ F3 = 2560	Hz

arxiu 13	[o]		F0 = 160	Hz
interval F0~F1 =	2·3/2	fR	→ F1 = 480	Hz
interval F1~F2 =	5/3	fR	→ F2 = 800	Hz
interval F2~F3 =	2·3/2	fR	→ F3 = 2400	Hz

arxiu 14	[u]		F0 = 160	Hz
interval F0~F1 =	2	fR	→ F1 = 320	Hz
interval F1~F2 =	2	fR	→ F2 = 640	Hz
interval F2~F3 =	2·5/3	fR	→ F3 = 2133	Hz

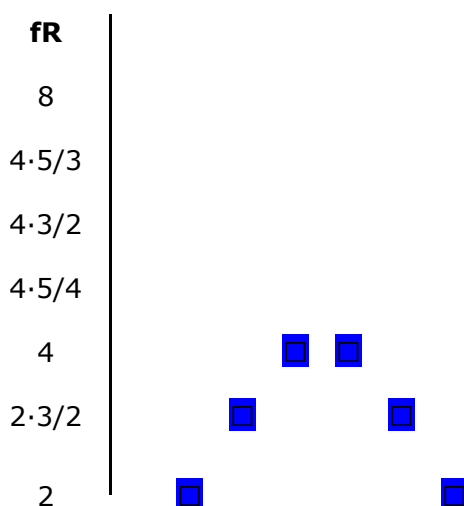
🚩 **Extensió F0 > 200Hz -> F0=210Hz.**

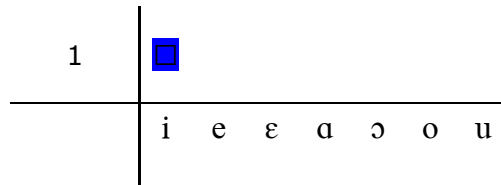


Arxius 16, 17, 18, 19, 20 i 21.

La distribució del triangle vocàlic per obertura és  $F_0 \sim F_1 = 1fR$  per a la vocal tancada anterior,  $F_0 \sim F_1 = 2fR$  per a la vocal tancada posterior i la vocal mig tancada anterior,  $F_0 \sim F_1 = 2 \cdot 3/2 fR$  per a la vocal mig tancada posterior i la vocal mig oberta anterior i  $F_0 \sim F_1 = 4fR$  per a la mig oberta posterior i la vocal oberta (gràfic 4.3).

A les vocals [ɛ] i [a] no se'ls hi ha posat la freqüència relativa màxima que tenen en l'interval  $F_0 \sim F_1$  de l'extensió  $F_0 > 200\text{Hz}$  perquè les freqüències dels formants tenien valors elevats que produïen estridència en el senyal. Per aquest motiu en l'exemple sintetitzat d'aquesta extensió, [ɛ] i [ɔ] no queden pas aparellades, sinó que [ɔ] queda aparellada amb [a] en la distribució de la freqüència relativa de l'interval  $F_0 \sim F_1$ . Tampoc queden aparellades les altres vocals en funció de l'obertura perquè les vocals anteriors es distribueixen a partir d' $1fR$  i les vocals posterior, a partir de  $2fR$  (vegeu l'apartat 3.2).





**Gràfic 4.3.** Distribució de la freqüència relativa l'interval F0~F1 de les vocals sintetitzades amb F0=210Hz.

arxiu 15	[i]		F0 = 210 Hz
interval F0~F1 =	1	fR	→ F1 = 210 Hz
interval F1~F2 =	8·3/2	fR	→ F2 = 2520 Hz
interval F2~F3 =	10/9	fR	→ F3 = 2800 Hz

arxiu 16	[e]		F0 = 210 Hz
interval F0~F1 =	2	fR	→ F1 = 420 Hz
interval F1~F2 =	4·9/8	fR	→ F2 = 1890 Hz
interval F2~F3 =	5/4	fR	→ F3 = 2363 Hz

arxiu 17	[ε]		F0 = 210 Hz
interval F0~F1 =	2·3/2	fR	→ F1 = 630 Hz
interval F1~F2 =	2·3/2	fR	→ F2 = 1890 Hz
interval F2~F3 =	5/4	fR	→ F3 = 2363 Hz

arxiu 18	[a]		F0 = 210	Hz
interval F0~F1 =	4	fR	→ F1 = 800	Hz
interval F1~F2 =	5/3	fR	→ F2 = 1400	Hz
interval F2~F3 =	8/5	fR	→ F3 = 2240	Hz

arxiu 19	[ɔ]		F0 = 210	Hz
interval F0~F1 =	4	fR	→ F1 = 800	Hz
interval F1~F2 =	3/2	fR	→ F2 = 1260	Hz
interval F2~F3 =	2	fR	→ F3 = 2520	Hz

arxiu 20	[o]		F0 = 210	Hz
interval F0~F1 =	2·3/2	fR	→ F1 = 630	Hz
interval F1~F2 =	16/9	fR	→ F2 = 1120	Hz
interval F2~F3 =	2·9/8	fR	→ F3 = 2520	Hz

arxiu 21	[u]		F0 = 210	Hz
interval F0~F1 =	2	fR	→ F1 = 420	Hz
interval F1~F2 =	2	fR	→ F2 = 840	Hz
interval F2~F3 =	2·15/8	fR	→ F3 = 3150	Hz

## 🚩 Altres paràmetres

Les vocals que es troben aparellades per l'interval  $F_0 \sim F_1$  es discriminen per la freqüència relativa de l'interval  $F_1 \sim F_2$ . Les vocals anteriors tenen l'interval  $F_1 \sim F_2 > 2.5/4fR$  i les vocals posteriors tenen l'interval  $F_1 \sim F_2 < 2.5/4fR$ .

La vocal [i] (arxius 01, 08 i 15) té la freqüència relativa d' $F_1 \sim F_2 > 4.3/2fR$ , la vocal [e] (arxius 02, 09 i 16) té la freqüència relativa d' $F_1 \sim F_2$  entre  $4fR$  i  $4.4/3fR$  i la vocal [ɛ] (arxius 03, 10 i 17) té la freqüència relativa d' $F_1 \sim F_2$  entre  $2.5/4fR$  i  $4fR$ .

Les vocals labials s'han sintetitzat amb l'interval  $F_2 \sim F_3 > 2fR$  i les no labials amb l'interval  $F_2 \sim F_3 < 2fR$ .

La vocal [u] amb l'interval  $F_0 \sim F_1 = 2.3/2fR$  (arxiu 07) s'ha sintetitzat amb un valor d' $F_2 \sim F_3$  superior a  $2.5/3fR$ , mentre que la vocal [o] amb l'interval  $F_0 \sim F_1 = 2.3/2fR$  (arxius 14 i 20) s'ha sintetitzat amb valors inferiors.

La vocal [ɔ] amb l'interval  $F_0 \sim F_1 = 4fR$  (arxius 13 i 19) ha estat sintetitzada amb valors d' $F_1 \sim F_2$  superiors a  $2fR$ , mentre que la vocal [o] amb la mateixa freqüència relativa a l'interval  $F_0 \sim F_1$  (arxiu 06) ha estat sintetitzada amb un valor inferior a  $2fR$  a l'interval  $F_1 \sim F_2$ .

## 🚩 Casos especials

A l'arxiu 11 ([a] amb  $F_0=160\text{Hz}$ ),  $F_1$  hauria d'ésser  $800\text{Hz}$ , però la vocal resultant surt estrident. Baixant  $F_1$  només  $20\text{ Hz}$ , es redueix l'estridència. Es va optar per aquesta solució per evitar modificar qualsevol altre paràmetre que no fos  $F_0$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  i  $F_3$ , com s'ha argumentat a l'inici d'aquest apartat.

Als arxius 18 i 19 ([a] i [ɔ] amb  $F_0= 210$ ),  $F_1$  hauria d'ésser  $840\text{Hz}$ , però la vocal resultant surt molt estrident. Baixant  $F_1$  a  $800\text{Hz}$  s'elimina l'estridència. Posar a  $F_1$  valors superiors a  $800\text{Hz}$  produeix estridència a l'ona resultant; per aquest motiu, a la vocal [a] no se l'ha pas sintetitzada amb  $F_0\sim F_1=4\cdot 5/4 fR$  a l'extensió  $F_0>200\text{Hz}$ .

### 4.2.1.2 Test de percepció

Les vocals sintetitzades (arxius 01-21) es van ordenar aleatòriament, sense insertar-les dins de cap mena de context fònic. La prova exigia haver de marcar una de les set opcions possibles, [i, e, ε, a, ɔ, o, u]. Prèviament, es passaven unes mostres de vocals sintetitzades perquè les primeres vocals del test no estiguessin pas mancades de la referència auditiva que tenien la resta. Els resultats es van evaluar per vocals i per trets distintius.

Els informants/oïdors van ser 31 parlants nadius, d'entre 20 i 35 anys, seleccionats entre la comunitat universitària de la Universitat Rovira i Virgili:

15 alumnes de Filologia Catalana, 2 alumnes de Filologia Hispànica, 6 alumnes de Química, 5 PAS tècnics de Ciències, 1 PAS administratiu de Lletres i 2 docents de Química.

**Resultats per vocals**

El percentatge d'identificació positiva supera el 75% excepte a la vocal [ɔ]. Les vocals extremes no s'han pas confòs entre elles. Les errades en la identificació han estat entre graus i punts de constricció adjacents, a excepció de la vocal [ɛ], que no s'ha pas confòs amb [a] (taula 4.2).

**Taula 4.2.** Percentatges d'identificació per vocals.

		vocal identificada						
		i	e	ɛ	a	ɔ	o	u
vocal sintetitzada	i	100%						
	e	5%	80%	15%				
	ɛ		12%	88%				
	a			9%	84%	7%		
	ɔ				29%	55%	16%	
	o					16%	77%	7%
	u						7%	93%

La vocal [i] ha estat identificada positivament en el 100% dels casos, seguida d' [u] (93%), [ɛ] (88%), [e] (80%), [a] (84%), [o] (77%) i [ɔ] (55%).

A la taula 4.3 es pot veure amb més detall la identificació

**Taula 4.3.** Identificació de les vocals tòniques catalanes sintetitzades

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
*wav	i	e	ɛ	a	ɔ	o	u	i	e	ɛ	a	ɔ	o	u	i	e	ɛ	a	ɔ	o	u	
informants	1										ɛ								a	ɔ	o	
	2					u													a	ɔ		
	3								ɛ										a			
	4											o					e	ɛ	a			
	5								ɛ		ɛ	o				ɛ			a			
	6											o							a			
	7		i	e	ɔ		u					o					e		a			
	8				ɔ														a	ɔ		
	9																		a			
	10																		a	ɔ	o	
	11																		a	ɔ		
	12																		a	ɔ		
	13																		a	ɔ		
	14		i									ɛ					e		a			
	15					o						ɛ					e		a			
	16		i		ɔ							ɛ										
	17															i	e		a	ɔ		
	18												o					ɛ	a	ɔ		
	19			e	ɔ		ɔ			ɛ			o			i						o
	20					o	u			ɛ	e		o							a		
	21					o				ɛ	e		o							a		o



22									ε			o							a			
23									ε										a	ɔ	o	
24				ɔ															a	ɔ		
25									ε			o	ɔ			ε			a	ɔ	o	
26			e		o	u						o									o	
27				ɔ		u					ε		ɔ			ε						
28						u			ε						ε				a			
29			e						ε										a			
30																			a			
31				ɔ															a			
		100%	90%	87%	78%	87%	77.4%	100%	100%	68%	94%	81%	65%	94%	100%	100%	81%	84%	94%	13%	61%	78%
identfció		F0 < 125 Hz						F0 = 125 - 200 Hz						F0 > 200 Hz								
x F0		89%						86%						73%								

La vocal [ɔ] és la que té la identificació positiva més baixa perquè a l'extensió F0>200Hz (arxiu 19) ha estat majoritàriament identificada com a [a] (taula 4.3). El motiu és que tant [a] com [ɔ] de l'extensió F0>200Hz (arxius 18 i 19, respectivament) tenen l'interval  $F0 \sim F1 = 4fR$  i [ɔ] té l'interval  $F2 \sim F3 = 2fR$ , és a dir, en el límit de domini del tret [labial] (vegeu l'apartat anterior i els arxius \*.wav de les vocals sintetitzades). Si [ɔ] s'hagués sintetitzat amb una freqüència relativa més alta, hauria augmentat la labialització i la distinció hauria estat més clara. Per aquest motiu, l'extensió d'F0>200Hz (veu aguda) és la que té el percentatge d'identificació positiva més baix (73%), mentre que les altres dues extensions tenen percentatges semblants (89% i 86%) (taula 4.3).

## 🚩 Resultats per trets distintius

Els resultats per trets distintius (taula 4.4) demostren que les freqüències relatives dels intervals assignades als límits de domini dels trets són les adequades, perquè el percentatge de discriminació del trets supera el 90% en tots els casos.

**Taula 4.4** Discriminació per trets de les vocals catalanes sintetitzades

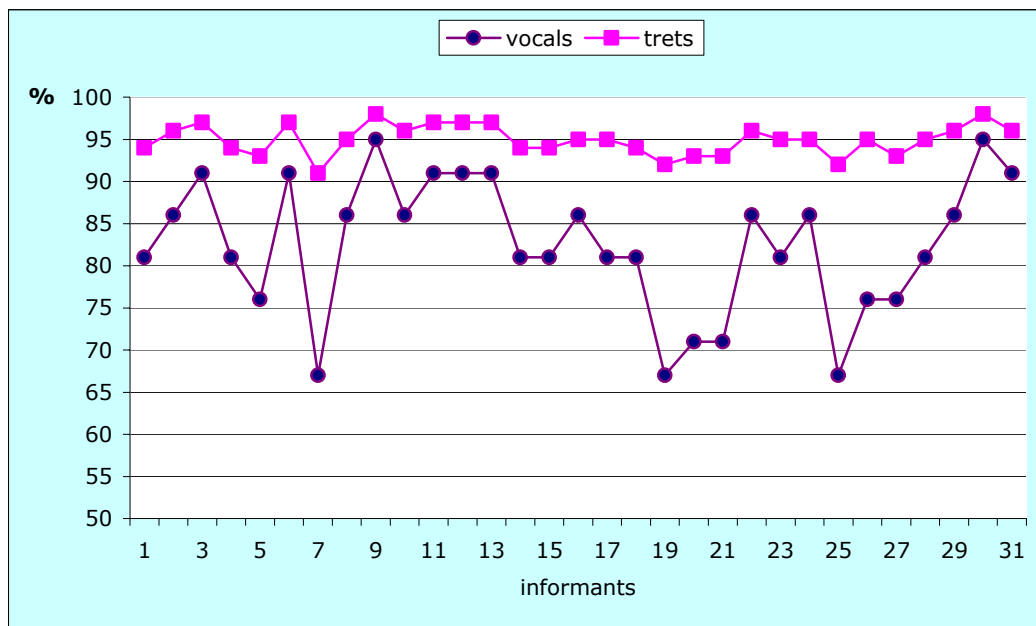
tret distintiu	discriminació
[alt]	97%
[baix]	94%
[pos]	99%
[AA]	92%
[lab]	95%

El tret [pos], que està assignat a l'interval  $F1 \sim F2$ , només té un 1% d'error, la qual cosa significa que la distribució d' $F1$  i  $F2$  en l'espai espectral és la que domina la discriminació.

Comparant el resultat de les vocals i dels trets distintius per informant (gràfic 4.4 i taula 4.5), s'observa que fins i tot quan la identificació positiva de les vocals és del 67%, la discriminació per trets distintius és superior al 90% (p.ex., informant 7).

Tanmateix, el 96% de discriminació per trets distintius, tant pot correspondre a un 86% com a un 91% d'identificació positiva de les vocals (informants 29 i 31).

En qualsevol cas, el percentatge de discriminació dels trets és sempre superior al percentatge d'identificació positiva de les vocals. Per resultats globals, el percentatge d'identificació positiva de les vocals sintetitzades és del 82% i el percentatge de discriminació dels trets distintius és del 95%.



**Gràfic 4.4.** Resultats de la percepció les vocals i dels trets distintius per informant.

**Taula 4.5.** Percentatges globals de la identificació positiva de les vocals sintetitzades i de la discriminació dels trets distintius per informant.

informant	vocals	trets
1	81%	94%
2	86%	96%
3	91%	97%
4	81%	94%
5	76%	93%
6	91%	97%
7	67%	91%
8	86%	95%
9	95%	98%
10	86%	96%
11	91%	97%
12	91%	97%
13	91%	97%
14	81%	94%
15	81%	94%
16	86%	95%
17	81%	95%

<b>informant</b>	<b>vocals</b>	<b>trets</b>
18	81%	94%
19	67%	92%
20	71%	93%
21	71%	93%
22	86%	96%
23	81%	95%
24	86%	95%
25	67%	92%
26	76%	95%
27	76%	93%
28	81%	95%
29	86%	96%
30	95%	98%
31	91%	96%
<b>resultats globals</b>	<b>82%</b>	<b>95%</b>

### 4.2.2 Experiment 2: Aplicació del mètode a vocals de l'anglès americà

Per comprovar els límits quàntics dels trets [posterior] i [labial] i la variable de l'extensió d'F0 per a la distribució del tret [alt] es va aplicar el mètode a vocals de l'anglès americà.

Atès que el sistema vocàlic de l'anglès americà és més complex, es van escollir les vocals [i, ε, a, ɔ, u], les quals comparteixen amb les vocals [i, ε, a, ɔ, u] del català els mateixos valors pel que fa a l'altura, posterioritat i labialització (Taula 4.6).

**Taula 4.6.** Vocals [i, ε, a, ɔ, u] de l'anglès americà classificades pels trets [alt], [posterior] i [labial]. Extret de Davenport (1998).

vocals	anglès americà	i	ε	a	ɔ	u
trets distintius	alt	+	-	-	-	+
	posterior	-	-	+	+	+
	labial	-	-	-	+	+

Els corpus (taula 4.7) són les mitjanes de la base de dades de Peterson i Barney (1952) que apareixen a Baken (1991:358) i que també utilitzen Syrdal i Gopal (1986) (vegeu capítol 1).

Com que les dades a què vam poder accedir són mitjanes de grup, cada vocal només té 3 mostres: C, W i M:

- ✚ C (children) → grup de nens i nenes: 15 informants (edat sense especificar).
- ✚ W (women) → grup de dones: 28 informants (edat sense especificar).
- ✚ M (men) → grup d'homes: 33 informants (edat sense especificar).

Peterson i Barney (1952) van analitzar les vocals

[i, ɪ, ε, æ, ɜ, ʌ, ɑ, ɔ, ʊ, u]

emeses per parlants nadius de l'anglès americà. El corpus va ser el següent:

*heed, hid, head, heard, had, hud, hod, hawed, hood, who'd*

A la taula 4.8 hi ha els resultats de l'aplicació del mètode d'identificació.



**Taul 4.7** Mitjanes de les vocals de l'anglès americà [i, ε, a, ə, u] de la base de dades de Peterson i Barney (1952). Extret de Baken (1991:358).

vocal	grup informants	F0 (Hz)	F1 (Hz)	F2 (Hz)	F3 (Hz)
i	C	272	370	3200	3730
i	W	235	310	2790	3310
i	M	136	270	2290	3010
ε	C	260	690	2610	3570
ε	W	223	610	2320	2990
ε	M	130	530	1840	2480
a	C	256	1030	1370	3170
a	W	212	850	1220	2810
a	M	124	730	1090	2440
ə	C	263	680	1060	3180
ə	W	216	590	920	2710
ə	M	129	570	840	2410
u	C	274	430	1170	3260
u	W	231	370	950	2670

vocal	grup informants	F0 (Hz)	F1 (Hz)	F2 (Hz)	F3 (Hz)
u	M	141	300	870	2240

**Taula 4.8.** Freqüències relatives dels intervals de les vocals de l'anglès americà [i, ε, α, ɔ, u] de la base de dades de Peterson i Barney (1952).

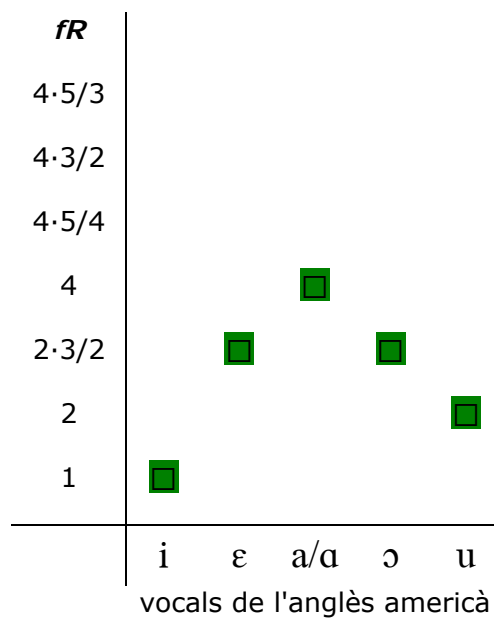
vocal	grup	extensió d'F0	F0~F1 (fR)	F1~F2 (fR)	F2~F3 (fR)
<b>i</b>	C	F0 > 200Hz	1	8·3/2	10/9
	W		1	8·3/2	10/9
	M	F0 < 200Hz	2	8	4/3
<b>ε</b>	C	F0 > 200Hz	2·3/2	2·5/3	4/3
	W		2·3/2	2·5/3	4/3
	M	F0 < 200Hz	4	2·5/3	3/2
<b>α</b>	C	F0 > 200Hz	4	5/4	2·6/5
	W		4	3/2	2·10/9
	M	F0 < 200Hz	4·3/2	3/2	2·10/9
<b>ɔ</b>	C	F0 > 200Hz	2·3/2	4/3	2·3/2
	W		2·3/2	4/3	2·5/3
	M	F0 < 200Hz	4	5/3	2·3/2
<b>u</b>	C	F0 > 200Hz	2	2	2·3/2

	W		2	2	2·3/2
	M	F0 < 200Hz	2	2·3/2	2·4/3

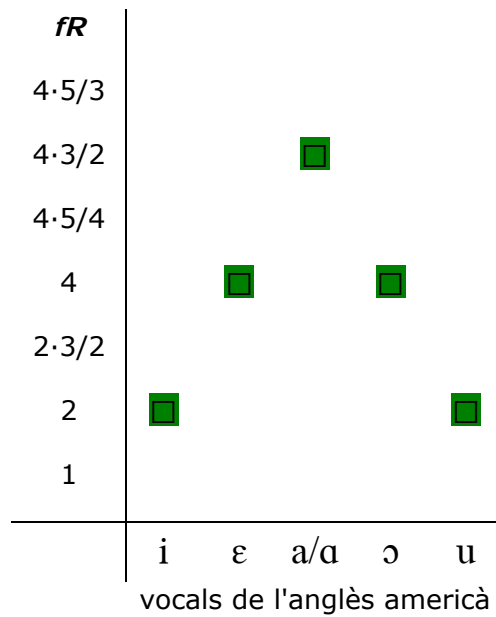
Com que només hi ha un F0 per sota de 125Hz (F0 [α] =124Hz), només es van establir dues extensions d’F0:

✚ F0 > 200 Hz

✚ F0 < 200 Hz



**Gràfic 4.5** Freqüència relativa de l'interval F0~F1 amb F0>200Hz



**Gràfic 4.6** Freqüència relativa de l'interval  $F_0 \sim F_1$  amb  $F_0 < 200\text{Hz}$

✚ Quan  $F_0 > 200\text{Hz}$ , l'interval  $F_0 \sim F_1$  es reparteix entre  $1fR$  de la vocal [i] i  $4fR$  de la vocal [ɑ]. Les vocals [ε, ɔ] tenen  $2 \cdot 3/2fR$  i la vocal [u] té  $2fR$  en aquest interval (gràfic 4.5).

✚ Quan  $F_0 < 200\text{Hz}$ , l'interval  $F_0 \sim F_1$  es reparteix entre  $2fR$  de les vocals [i, u] i  $4 \cdot 3/2fR$  de la vocal [ɑ] (gràfic 4.6).

### ✚ Els límits de domini dels trets distintius

Atesos els resultats, es dedueix que els límits de domini, vàlids per a qualsevol  $F_0$ , es poden establir de la manera següent:

A. Tret [alt]:  $2fR$  a l'interval  $F_0$ - $F_1$ .

✚ Si l'interval  $F_0 \sim F_1 \leq 2 fR$ , llavors la vocal serà [+alt] (i, u)

✚ Si l'interval  $F_0 \sim F_1 > 2 fR$ , llavors la vocal serà [-alt] ([ε, α, ə])

B. Tret [posterior]:  $2 \cdot 3/2 fR$  a l'interval  $F_1 \sim F_2$ .

✚ Si l'interval  $F_1 \sim F_2 \leq 2 \cdot 3/2 fR$ , llavors la vocal serà [+pos] ([α, ə, u])

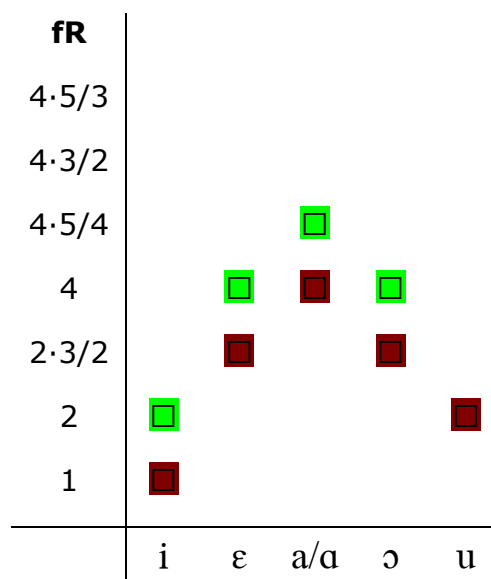
✚ Si l'interval  $F_1 \sim F_2 > 2 \cdot 3/2 fR$ , llavors la vocal serà [-pos] ([i, ε])

C. Tret [labial]:  $2 \cdot 5/4 fR$  a l'interval  $F_2 \sim F_3$  (freqüència intermèdia entre  $2 \cdot 6/5 fR$  de la vocal [α] i  $2 \cdot 3/2 fR$  de la vocal [ə]).

✚ Si l'interval  $F_1 \sim F_2 < 2 \cdot 5/4 fR$ , llavors la vocal serà [-lab] ([i, ε, α])

✚ Si l'interval  $F_1 \sim F_2 > 2 \cdot 5/4 fR$ , llavors la vocal serà [+lab] ([ə, u])

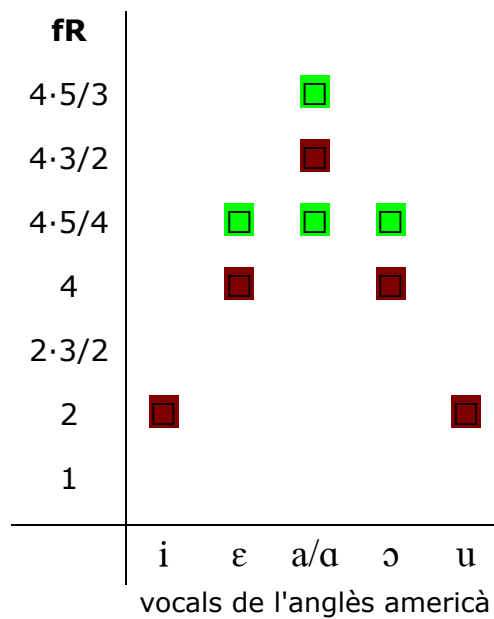
#### 4.2.2.2 Comparació amb les vocals catalanes



vocals de l'anglès americà

**Gràfic 4.7** Freqüència relativa de l'interval  $F_0 \sim F_1$  amb  $F_0 > 200\text{Hz}$

- Coincidència amb les vocals catalanes amb  $F_0 > 200\text{Hz}$
- Altres  $fR$  de les vocals catalanes



**Gràfic 4.8** Freqüència relativa de l'interval  $F_0 \sim F_1$  amb  $F_0 < 200\text{Hz}$

- Coincidència amb les vocals catalanes amb  $F_0: 125\text{Hz}-200\text{Hz}$
- Altres  $fR$  de les vocals catalanes

Les freqüències relatives de l'interval  $F_0 \sim F_1$  a l'extensió  $F_0 < 200\text{Hz}$  de les vocals angleses són equivalents a les de l'extensió  $F_0: 125\text{Hz}-200\text{Hz}$  de les

vocals catalanes, encara que la mitjana d'F0 de la vocal [a] sigui 124Hz. Tret d'aquesta excepció, les altres mitjanes d'F0 més petites de 200Hz són superiors a 125Hz, per aquest motiu no s'ha pogut fer la comparació pertinent amb l'extensió  $F_0 < 125\text{Hz}$ .

Els límits de domini dels trets [posterior] i [labial] ( $2 \cdot 3/2fR$  a l'interval F1-F2 i  $2 \cdot 5/4fR$  a l'interval F2-F3, respectivament) s'estableixen un xic per sobre de les freqüències relatives límits establertes per al català.

Tot i només tenir mitjanes d'F0, F1, F2 i F3 s'han obtingut resultats de distribució i domini dels trets distintius per intervals de freqüència relativa semblants als del català. Les diferències a  $F_1 \sim F_2$  i  $F_2 \sim F_3$ , que són variacions mínimes, poden ser degudes al fet que les dades acústiques a què s'ha aplicat el mètode de càlcul són mitjanes. També es poden considerar adaptacions que depenen del nombre i distribució de les vocals del sistema fonològic de cada llengua.

A les taules 4.5 i 4.6 es comparen aquests resultats amb els de Syrdal i Gopal (1986), perquè aquests investigadors també van utilitzar la base de dades de Peterson i Barney per calcular en banda crítica de 3 Bark les distàncies espectrals (dimensions) entre formants adjacents (vegeu el capítol 1, apartat 1.3). Segons els seus resultats, seria la distància espectral entre F2 i F3 (dimensió  $F_3 - F_2$ ), i no pas la d'entre F1 i F2 (dimensió  $F_2 - F_1$ ), la que marcaria el punt d'articulació de les vocals, essent [+pos]

aquelles vocals que entre F2 i F3 tinguessin la distància espectral superior a 3 Bark (taula 4.5). Segons els nostres resultats (resumits a la taula 4.6), la distància espectral entre F1 i F2 (interval F1~F2) és la que marca el punt d'articulació de les vocals ([±pos]), mentre que la distància entre F2 i F3 (interval F2~F3) marca la posició del llavis, la qual cosa corrobora els resultats obtinguts amb les vocals tòniques del català i demostra que el mètode que defensem en aquesta tesi és aplicable a llengües de famílies diferents.

**Taula 4.5** Classificació de les vocals [i, ε, α, ɔ, u] de l'anglès americà basada en la diferència crítica de 3 Bark de les distàncies espectrals (dimensions) entre F0 i F1, entre F1 i F2 i entre F2 i F3, segons Syrdal i Gopal (1986).<sup>25</sup>

	Dimensions		
Bark	F1—F0 < 3 Bark	F2—F1 < 3 Bark	F3—F2 < 3 Bark
i	+	-	+
ε	-	-	+
α	-	+	-
ɔ		+	-

<sup>25</sup> [ɔ] no presenta cap valor +/- en la dimensió F1—F0, perquè, per a Syrdal i Gopal (1986), aquesta vocal no es distingeix en aquesta dimensió.



u	+	-	-
---	---	---	---

**Taula 4.6** Classificació de les vocals [i, ε, α, ɔ, u] de l'anglès americà basada en la freqüència relativa de les distàncies espectrals (intervals) entre F0 i F1, entre F1 i F2 i entre F2 i F3.

fR	Intervals		
	F0~F1 ≤ 2 fR	F1~F2 ≤ 2·3/2 fR	F2~F3 > 2·5/4 fR
i	+	-	+
ε	-	-	+
α	-	+	+
ɔ	-	+	-
u	+	+	-

### 4.3 Recapitulació

### 4.3.1 Interval F0~F1, les extensions d'F0 i els trets [alt] i [baix]

Diferents investigacions sobre identificació de les vocals han demostrat la forta relació de l'interval F0~F1 amb el tret [alt]. Traunmüller (1981), manipulant l'F0 i l'F1 de vocals sintetitzades del bavarès, arriba a la conclusió que la distància entre F0 i F1 és el criteri a seguir en la percepció de l'alçada de la vocal i que les altres distàncies hi tenen un paper marginal. Syrdal (1985), analitzant vocals de l'anglès americà amb la banda crítica dels 3 Bark, va trobar que la distància entre F0 i F1 augmenta paral·lelament a l'augment de l'obertura de la vocal.

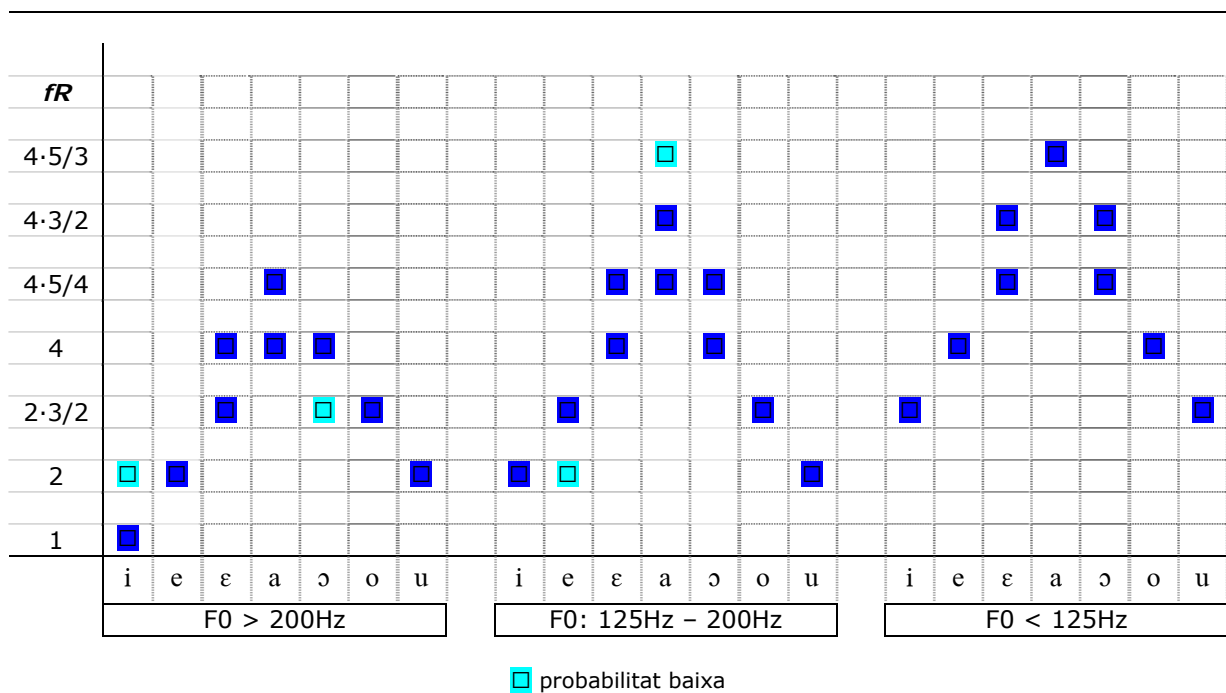
En el nostre model d'identificació, a l'interval F0~F1 se li ha assignat el domini del tret [alt] supeditat a l'extensió d'F0. Per a una llengua amb només dos graus d'obertura vocàlica, la distribució de la freqüència relativa de l'interval F0~F1 no presentaria complicacions i l'adjudicació d'un límit de freqüència relativa al tret [alt] seria molt clar, sense haver de recórrer al tret [baix] ni a la divisió del to fonamental per extensions d'F0; però en una llengua com la catalana, que té més de dos graus d'obertura, sí que és necessària la classificació per F0 per poder relacionar la freqüència relativa de l'interval F0~F1 amb l'obertura de la vocal. Per aquest motiu hem dividit F0 en 3 extensions:

- F0 > 200Hz (veu de to agut)
- F0: 125Hz-200Hz (veu de to mitjà)
- F0 < 125Hz. (veu de to greu)

D'aquesta manera:

- a) Les variacions del to fonamental dins l'extensió no afecten la percepció de l'alçada de la vocal.
- b) El pas d'una extensió de veu a una altra comporta la redistribució de la freqüència relativa de l'interval F0~F1 de totes les vocals.

**Freqüències relatives de l'interval F0~F1**



A les vocals de l'anglès americà només hem pogut establir dues extensions, F0>200Hz i F0<200Hz, perquè el corpus han estat les mitjanes de la base de dades de Peterson i Barney (1952) que es troben a Baken (1991). Les freqüències relatives d'aquestes extensions coincideixen amb les de les extensions F0>200Hz i F0:125Hz-200Hz establertes en català. Les dades de Di Benedetto (1994) també coincideixen amb les de les extensions del català. Di Benedetto troba diferències en la identificació de vocals de

l'anglès americà sintetitzades amb  $F_0=125\text{Hz}$  i  $F_0=245\text{Hz}$ , però no pas entre vocals sintetitzades amb  $F_0=125\text{Hz}$  i  $F_0=185\text{Hz}$ .

Hoemeke i Diehl (1994) i Fahey, Diehl i Traunmüller (1996) van recollir el testimoni de Syrdal i Gopal (1986) (vegeu capítol 1) per comprovar si realment la banda crítica de 3 Bark en la dimensió  $F_1-F_0$  era la responsable de la distinció quàntica entre vocals [+alt] i vocals [-alt] de l'anglès americà. A Hoemeke i Diehl (1994) es van estudiar només les vocals anteriors i es va arribar a la conclusió que la dimensió  $F_1-F_0$  només era determinant per a la distinció 'pura' de l'alçada; és a dir, entre [ɪ] i [ɛ] ([+alt] i [-alt], respectivament), però no pas entre [ɪ] i [i] (ambdues [+alt]) ni entre [ɛ] i [æ] (ambdues [-alt]), en les quals era determinant la freqüència d' $F_1$ . A Fahey, Diehl i Traunmüller (1996) es van revisar aquestes dades i s'hi van afegir les vocals posteriors per completar l'estudi. Els resultats foren descoratjadors per als investigadors, perquè els van obligar a refutar la hipòtesi que la dimensió  $F_1-F_0$  marca límits quàntics en la percepció de l'alçada de la vocal.<sup>26</sup> Pel que fa a les vocals posteriors, Fahey i els seus col·legues van trobar que la hipòtesi es complia en el cas de /ʊ/-/ʌ/, però no pas en el de /ʊ/-/ɔ/.

És cert que els nostres resultats, tant els del català com els de l'anglès americà, no sempre donen límits quàntics de l'alçada de la vocal que siguin

---

<sup>26</sup> Tot i això, Traunmüller, per exemple, està convençut de la importància d' $F_0$  en la percepció de l'alçada de la vocal a jutjar pels estudis que ha fet posteriorment (vegeu Traunmüller, 1998).

prou nítids, tot i fer la classificació per extensió d'F0. El problema és el nombre de vocals: com més vocals tingui una llengua, més graus d'obertura s'hauran de distingir. El correlat articuladori d'F1 és el grau de constricció d'un punt del tracte vocal que depèn de l'alçada de la llengua, la qual està controlada pel maxil·lar. Així, per exemple, tant si es produeix un estretament en la part anterior com en la part posterior de la cavitat oral, la freqüència d'F1 disminueix (Stevens 1998:261). El grau de constricció que ha de controlar el maxil·lar per diferenciar dues vocals que són adjacents en funció de l'obertura presenta més dificultat com més vocals hi ha en el sistema, perquè el control articuladori ha de ser més precís. Però, la precisió articulatòria en l'obertura de les vocals no és pas una condició *sine qua non* per a seva la identificació perquè, com demostrem amb el nostre mètode, depèn de la combinació de les freqüències relatives dels tres intervals implicats. Tot i així, hem trobat que l'interval F0~F1 és el que millor caracteritza la vocal [a].

D'altra banda, si només considerem les vocals cardinals extremes, atesos els resultats de l'aplicació del mètode al català i a l'anglès americà, s'estableixen un límits molt clars per a la classificació [+alt,-baix] versus [-alt,+baix] d'Stevens (1998), independentment de la freqüència d'F0:

- Interval  $F0 \sim F1 \leq 2 \cdot 3/2fR \rightarrow$  vocals [+alt,-baix] ([i, u])
- Interval  $F0 \sim F1$  d'[a]  $> 4fR \rightarrow$  vocals [-alt,+baix] ([a, ɑ])

En el tractament de la base de dades es podrien haver dividit les mostres de veu per grups de parlants com fan altres mètodes d'identificació que

treballen en l'elaboració de sistemes de normalització de les vocals (Miller 1989). Però això no ens hauria pas permès aconseguir un mètode d'identificació de les vocals que minimitzés les diferències entre parlants (Disner, 1980). D'altra banda, la utilització de mitjanes d'F0 en les investigacions sobre les vocals és un factor que pot distorsionar els resultats perquè entre els valors a partir dels quals s'extreu la mitjana hi pot haver més d'un valor que no pertanyi a l'extensió d'F0 de la mitjana.

Quan només només es té en compte el hertz per sintetitzar vocals, la variació entre parlants no representa pas cap problema sempre que se sintetitzin a partir de les dades d'un únic informant. Però si el que es vol és partir de dades genèriques que permetin fer diferents tons de veu amb la mateixa base de dades, cal la distribució de la freqüència relativa de l'interval  $F_0 \sim F_1$  per extensions d'F0 per tal d'evitar sons estranys. Potter i Steinberg (1950) van sintetitzar la vocal [æ] de l'anglès americà combinant valors de freqüència absoluta d'F1 i F2 de veu d'home (veu greu) amb l'F0 d'una veu de nen (veu molt aguda).<sup>27</sup> La vocal resultant es va percebre com un so indeterminat entre [æ] i [ɛ] produït per un nen.

Segons la teoria de la Modulació de Traunmüller (1994, 1998 i 2000) l'oïdor tindria la capacitat d'analitzar l'evolució d'un segment inicial del discurs per extreure'n una estimació del valor base de l'F0 del parlant, que li serviria de referència per a la identificació dels sons del missatge. Aquesta referència, al nostre entendre, és necessària perquè la relació d'F1 amb F2 i d'F2 amb

---

<sup>27</sup> La base de dades és la mateixa que van utilitzar posteriorment Peterson i Barney (1952).

F3 d'una vocal no varia, però la relació entre F0 i F1 sí que canvia d'un to de veu greu a un to de veu agut, i a l'inrevés. Si a això li sumem que l'ésser humà aprèn a relacionar els tons fonamentals greus amb la veu d'home, els tons aguts amb la veu de dona i els tons més aguts amb la veu de nen petit, s'explica el resultat de l'experiment de Potter i Steinberg. El to de veu es va identificar correctament com veu de nen, però la identificació de la vocal va ser confusa, es percebia un vocal indeterminada entre [æ] i [ɛ] (és a dir, més tancada que [æ]) perquè la distància entre F0 i F1 havia disminuït.

### 4.3.2 Interval F1~F2 i els trets [posterior] i [arrel avançada]

Sigui quin sigui el mètode de càlcul, totes les investigacions conclouen que la distribució d'F2 a l'espai espectral és decisiva en la classificació del tret [posterior] de les vocals (Fant, 1983; Syrdal i Gopal, 1986; Ladefoged, 1993). Ladefoged (1993) considera que el correlat acústic del tret [posterior] és igual a la diferència en hertz entre F1 i F2.

Syrdal i Gopal (1986) situen el correlat de tret [posterior] a la distància espectral entre F2 i F3 (dimensió F3—F2), establint que la vocal és [+pos] quan la distància és inferior a 3 Bark i és [-pos] quan la distància és superior a 3 Bark, perquè calculant amb la banda crítica de 3 Bark, les vocals de l'anglès americà (no aporten dades d'altres llengües) es divideixen perfectament en anteriors i posteriors en la dimensió F3—F2 i no pas en la dimensió F2—F1. No els és possible situar la classificació de [ $\pm$ pos] a la distància espectral entre F1 i F2, perquè aquesta dimensió només distingeix les vocals posteriors [ɑ] i [ɔ] (>3 Bark) de la resta de vocals, posteriors i anteriors, (<3 Bark).

Com demostrem en aquesta tesi, calculant les distàncies espectrals entre formants en freqüència relativa, el tret [posterior] queda directament relacionat amb l'interval F1~F2, tant en català com en anglès americà. Aquesta premissa també és aplicable al suec. Fant (1983), en la revisió de les vocals del suec, conclou que la correlació amb el punt d'articulació es troba en la distància espectral entre F1 i F2 i no pas en la distància espectral entre F2 i F3. Per tant, la teoria de la correlació de la distancia espectral



entre F1 i F2 i el tret [posterior] és més sòlida perquè és aplicable a llengües de famílies diferents. Es podria argumentar que la diferència de criteri en la selecció dels paràmetres acústics és perquè s'utilitzen mesures diferents, si no fós perquè a la identificació de les vocals de l'espanyol no cal pas utilitzar les freqüències d'F3.

De la nostra recerca també se n'extreu que la freqüència relativa de l'interval F1~F2 permet distingir les vocals [-pos] entre elles, perquè no comparteixen freqüències relatives en aquest interval. Aquest fet converteix l'interval F1~F2 en l'interval dominant de les vocals [i], [e], i [ɛ], perquè es l'interval que millor les identifica i les distingeix entre si. Com es pot comprovar al Quadre de Normalització, les vocals [i] i [e], per exemple, poden coincidir en la freqüència relativa de l'interval F0~F1 dins una mateixa extensió d'F0. Això succeeix en les extensions d'F0>200Hz i F0:125Hz-200Hz, en les quals tant [i] com [e] poden tenir l'interval F0~F1=  $2fR$ . Però aquesta possibilitat no impedeix pas que les dues vocals es distingeixin perfectament, perquè la freqüència relativa de l'interval F1~F2 és inferior a  $4\cdot3/2fR$  en la vocal [e], mentre que és superior o igual a  $4\cdot3/2fR$  en la vocal [i]. Delattre, Cooper, Liberman i Gerstmann (1952), utilitzant el sistema *Pattern-Playback* que sintetitzava vocals de dos formants, ja van demostrar la importància de la posició d'F2 en la distinció de les vocals anteriors. No succeeix el mateix amb les vocals [+pos], que tenen les freqüències relatives de l'interval F1~F2 força encavalcades perquè es distribueixen en un espai espectral molt reduït, fins a  $2\cdot5/4fR$ , en comparació amb les vocals [-pos], per sobre  $2\cdot5/4fR$  (gràfics 3.4 i 3.5).

Per als sistemes de síntesi i de reconeixement de la parla és important que la freqüència relativa de l'interval  $F1 \sim F2$  identifiqui clarament [i], [e] i [ɛ] perquè una informació d'aquesta mena permet simplificar els sistemes i augmentar-ne la qualitat.

En el nostre mètode també assignem a l'interval  $F1 \sim F2$  el domini del tret [AA], però com a tret identificatiu secundari i estretament relacionat amb l'interval  $F0 \sim F1$ . El considerem secundari perquè distingeix entre [o] i [ɔ] només quan ambdues vocals tenen l'interval  $F0 \sim F1 = 4fR$ , si no,  $F0 \sim F1$  ja distingeix aquestes dues vocals que, articulàtorialment, tenen un grau mig de constricció, [-alt, -baix].

El límit de domini del tret [AA] a les vocals anteriors és molt més clar perquè les freqüències relatives no s'encavalquen pas, la qual cosa ens permet establir-lo a  $4fR$ . Les vocals anteriors [+AA], [i, e], tenen la freqüència relativa de l'interval  $F1 \sim F2$  per sobre de  $4fR$ , mentre que la vocal anterior [-AA], [ɛ], la té per sota de  $4fR$ . A més a més, la vocal [i], que és [+alt, -baix], té la freqüència relativa d' $F1 \sim F2$  a partir de  $4 \cdot 3/2fR$ , mentre que les vocals [e, ɛ], que són [-alt, -baix], el tenen per sota d'aquesta freqüència relativa; per aquest motiu vam arribar a la conclusió que a les vocals anteriors el tret [alt] també pot estar assignat a l'interval  $F1 \sim F2$ . Tot i estar assignat a l'interval  $F1 \sim F2$ , la relació del tret [AA] amb l'interval  $F0 \sim F1$  en les vocals anteriors es veu per la relació inversament proporcional que existeix entre els intervals: com més petita és la freqüència relativa de l'interval  $F0 \sim F1$ , més gran és la freqüència relativa de l'interval  $F1 \sim F2$ . És a

dir, el correlat articuladori del tret [AA] incideix en la convergència *versus* divergència d'F1 i F2. La vocal [ɛ], que és la vocal anterior caracteritzada amb [-AA], és la que té, proporcionalment, F1 i F2 més convergents i F0 i F1 més divergents (de les de les vocals anteriors, la vocal [ɛ] és la que té les freqüències relatives més baixes a l'interval F1~F2 i més altes a l'interval F0~F1).

### 4.3.3 Interval F2~F3 i el tret [labial]

Segons la nostra teoria, malgrat que la freqüència d'F3, per ella mateixa, no determini la labialització de les vocals, la relació entre F3 i F2 (interval F2~F3) sí que marca la divisió entre [+labial] i [-labial]. Així, per exemple, les vocals sintetitzades [ɛ] i [ɔ] amb F0=112Hz (arxius 03 i 05, respectivament), tenen pràcticament la mateixa freqüència en hertz d'F3, la qual cosa, en principi, descarta la relació d'F3 amb el tret [labial]; però l'interval F2~F3 d'[ɛ] (arxiu de wave 03) és de  $4/3fR$ , mentre que l'interval F2~F3 de [ɔ] (arxiu 05) és de  $2 \cdot 32/27fR$ . No només la distància espectral entre F2 i F3 és sensiblement diferent, sinó que la  $fR$  de la vocal [ɛ] està clarament per sota del límit de domini del tret [labial], que és de  $2fR$ , mentre que la  $fR$  de la vocal [ɔ] és dins del domini [-lab] (gràfics 3.7 i 3.8).

Segons Stevens (1998:292), 'the second formant frequency F2 is always lower for the rounded member of each pair'. És a dir, la labialització fa que l'F2 de la vocal sigui més baix. Si la labialització fa que F2 baixi, la distància entre F2 i F3 augmenta i, per tant, la freqüència relativa de l'interval F2~F3 és la que distingeix si una vocal és labial o no. En català i en espanyol no hi ha parelles de vocals posteriors que es distingeixen pel tret [labial], com passa amb [ʌ] i [ɔ] de l'anglès; per aquest motiu Martínez Celdrán (1995) no utilitza el tret [labial] en la identificació de les vocals de l'espanyol. En català, però, pot donar-se la confusió acústica entre [a] i [ɔ], si només ens atenim als dos primers formants en la distinció del timbre de les vocals. Fujisaki i Kawashima (1968) ja van establir que la distància espectral entre F2 i F3 (interval F2~F3) distingia la vocal [ɑ] de la vocal [ɔ] quan hi havia confusió perquè coincidien a les distàncies entre F0 i F1 i F1 i F2. Els nostres resultats han donat que si [a] i [ɔ] tenen el mateix F0~F1, com que la freqüència relativa dels respectius F1~F2 generalment coincideix (gràfic 3.5), llavors és F2~F3 l'interval que les distingeix, perquè les vocals [-lab], [i, e, ε, a], tenen l'interval F2~F3 < 2fR i les vocals [+lab], [ɔ, o, u], tenen l'interval F2~F3 > 2fR (vegeu el Quadre de Normalització, a l'inici d'aquest capítol).

Segons el càlcul de la freqüència relativa dels intervals de les vocals tòniques del català, l'interval F2~F3 no només classifica per [±lab], sinó que també distingeix graus de labialització. Quan l'interval F0~F1=2·3/2fR, l'interval F2~F3 de [ɔ] >2·3/2fR i F2~F3 de [u] >2·3/2fR. Així doncs, contràriament al que diuen Carlson, Fant i Granström (1975), F3 sí que és

pertinent en el reconeixement de les vocals posteriors i, consegüentment, l'interval  $F2 \sim F3$  es perfila com el paràmetre dominant de les vocals labials.

Stevens (1998:283), quan parla de la distinció entre vocals anteriors i posteriors, comenta que sembla probable que els formants superiors no juguin un paper significatiu en la determinació del timbre de la vocal, atès que una de les conseqüències acústiques del fet que  $F2$  s'apropi a  $F1$  és que, com es pot comprovar visualment, les amplituds dels formants superiors són més baixes que les d' $F1$  i  $F2$ . Aquest fenomen es pot donar en vocals posteriors labials, concretament en la vocal [u]. En els espectres promediats de les vocals catalanes analitzades, es va observar que en algunes ocasions l'amplitud d' $F3$  de la vocal [u] podia arribar a ser molt baixa, encara que mai inferior a l'equivalent a 9,5dB.<sup>28</sup> Aquest fet no invalida pas l'argument que l'interval  $F2 \sim F3$  és el correlat acústic del tret [labial] perquè, com que a les vocals labials l' $F3$  no es troba pas mai per sota de  $2fR$  en relació a  $F2$  (interval  $F2 \sim F3 < 2fR$ , vocal [-lab]), qualsevol freqüència (Hz) per sobre de  $2fR$  en relació a  $F2$  serà considerada com  $F3$  (interval  $F2 \sim F3 > 2fR$ , vocal [+lab]). És possible que, si perceptivament no es troba un formant amb una amplitud similar a  $F1$  i  $F2$  per sota de  $2fR$  en relació a  $F2$  (és a dir, interval  $F2 \sim F3 < 2fR$ ), es consideri que l' $F3$  és el primer formant que es troba per sobre de  $2fR$  (una octava) en relació a  $F2$  (és a dir, interval  $F2 \sim F3 > 2fR$ ), sigui quina sigui la seva amplitud.

---

<sup>28</sup> Segons Fry (1979:135), en el reconeixement de les vocals es pot percebre una variació de 7dB i considerar-la pista d'intensitat.

Pel que fa a les vocals anteriors, Carlson (1975), comparant les respostes d'identificació entre vocals naturals i vocals sintetitzades amb dos formants, va arribar a la conclusió que [i] havia de tenir l'F2 sintetitzat tocant les freqüències de l'F3 d'[i] natural; és a dir, que la distància entre F2 i F3 havia d'ésser mínima, com ho demostren els resultats del càlcul de l'interval  $F2 \sim F3$  d'[i], que pot tenir  $1fR$ . De totes maneres, per a [i], [e] i [ɛ] aquest interval no és pas decisiu perquè en català no hi ha vocals anteriors labialitzades.

#### 4.3.4 Les oposicions binàries

Tant acústicament com articulatòriament, les vocals tenen diferents graus d'obertura, posició i labialització, però els trets distintius, que són les propietats abstractes o funcionals dels sistemes fonològics, són binaris; és a dir, no és pas possible especificar un grau intermedi del tret.

Posem per cas el tret [labial]. Les vocals [lab] són emeses amb més o menys protusió labial, en la progressió [u] > [o] > [ɔ] (Recasens 1991:22). Però segons Halle (1990) només es reconeixen dues classes de sons en relació a l'arrodoniment de llavis ([+lab] i [-lab]). Acústicament, els resultats del domini del tret labial estableixen que se situa per sobre de  $2fR$  en l'interval  $F2 \sim F3$  i és l'interval de la vocal [u] el que recull valors més alts de freqüència relativa (gràfic 3.8). Concretament, la freqüència relativa de l'interval  $F2 \sim F3$  de la vocal [u] és molt més elevada que la de la vocal [o] quan ambdues vocals coincideixen a l'interval  $F0 \sim F1 = 2 \cdot 3 / 2fR$ . En conseqüència, en les vocals [u] i [o] que es van sintetitzar es va tenir en compte el paràmetre del grau de labialització en la seva distinció (arxius 06, 07, 13, 14, 20 i 21).<sup>29</sup> Amb la divisió binària que es fa dels components d'un sistema no hi ha la possibilitat de valorar els graus acústics i articulatoris de

---

<sup>29</sup> Caldria una prova de percepció específica per demostrar en propietat la importància del grau de labialització, sobretot en aquells casos en què [u] i [o] no es distingeixen per l'interval  $F0 \sim F1$ .

la protusió labial, distingint, per exemple, [+lab<sup>1</sup>], [+lab<sup>2</sup>].....[+lab<sup>5</sup>], on el número marcaria el grau de labialització.

Una de les crítiques més comunes als trets fonològics és, precisament, la seva naturalesa binària, la qual exclou que fonològicament hi hagi una escala de valors que doni informació sobre els graus articuladori i acústic que té un segment en relació a un tret distintiu determinat. Però cal tenir en compte que, tal i com defensen Chomsky i Halle (1979:227), la finalitat dels trets fonològics és classificar els segments segons si pertanyen o no a una determinada categoria, per aquest motiu són binaris, i que les característiques fonètiques dels segments, que responen a escales físiques, queden acotades pel component fonològic. És a dir, en la relació entre el tret fonològic i els paràmetres acústics, la funció del tret fonològic seria marcar els límits a partir dels quals el paràmetre acústic es realment significatiu.

Tot i que en els sistemes d'oposicions binàries queden exclosos els graus intermedis, sí que és possible, fonològicament, caracteritzar un segment que es troba entre de dos segments extrems, mitjançant la combinació de dos trets distintius. Així, per exemple, amb el tret [alt] i el tret [baix] es pot classificar una tercera classe de vocals naturals, les anomenades mitjanes, que són [-alt, -baix] (Stevens, 1998), les quals, com les vocals [+alt, -baix] i [-alt, +baix], es distingeixen segons si són [+pos] o [-pos]. Quan és necessària una distinció més, cal recórrer a un tret secundari per complementar el sistema d'oposicions, p.ex. el tret [AA] en català. En el sistema d'identificació que defensem en aquesta tesi hi ha uns límits de



domini que marquen la oposició binària [+AA] / [-AA] en l'interval F1~F2, amb la peculiaritat de que estan supeditats a unes condicions específiques que s'expliquen perquè el tret [AA] és secundari i que es troben en el sistema vocàlic català (caldría fer un estudi en d'altres llengües que també tinguessin aquest tret). D'altra banda, els trets [alt] i [baix], que no són pas secundaris, també tenen els correlats acústics dels límits de domini supeditats a una condició: l'extensió d'F0. Aquesta condició també l'hem trobada en les vocals analitzades de l'anglès americà, la qual cosa és indicatiu que la classificació per extensions d'F0 és una característica comuna a altres llengües. Aquests fets fan palès que la correlació entre els paràmetres acústics i els trets fonològics no és pas tant senzilla, perquè els trets tenen bases articulatòries.

Una altra dada a tenir en compte sobre els correlats acústics dels trets distintius és la següent: Si totes les cavitats tenen a veure amb la distribució dels formants d'una vocal (Fant 1960), el correlat acústic d'un tret pot trobar-se en més d'un interval. Posem per cas els trets [alt] i [pos] i les freqüències relatives de l'interval F1~F2 de les vocals [i, e, ε] del català (vegeu el Quadre de Normalització). La freqüència relativa de l'interval F1~F2 no només divideix les vocals en [+pos], sinó que, per ella mateixa, distingeix les tres vocals [-pos], de manera que és possible classificar en aquest interval les vocals [i, e, ε] segons el tret [alt], el qual, en principi, només s'ha assignat a l'interval F0~F1:

	[alt]	[pos]
■ interval F1~F2 de [i] $\geq 4 \cdot 3/2fR$	+	-
■ interval F1~F2 de [e]: $4 - 4 \cdot 3/4fR$	-	-
■ interval F1~F2 de [ε]: $2 \cdot 5/4fR - 4fR$	-	-

Aquesta característica podria ser comuna a totes les vocals [-pos], perquè també es aplicable a les vocals analitzades de l'anglès americà. La vocal [i] també té l'interval F1~F2 per sobre de  $4 \cdot 3/2fR$ , mentre que la vocal [ε] té l'interval F1~F2 entre  $2 \cdot 5/4fR$  i  $4fR$ .

## Capítol 5 Conclusions

D'aquesta tesi s'extreuen dues conclusions principals:

1. Les vocals es poden identificar a partir de l' $F_0$  i de les freqüències relatives dels intervals  $F_0 \sim F_1$ ,  $F_1 \sim F_2$  i  $F_2 \sim F_3$ .
2. Calcular les distàncies espectrals en *freqüència relativa* i classificar el to fonamental per extensions de veu permet eliminar les variacions entre parlants.

### Conclusió 1

Les vocals es poden identificar a partir de l' $F_0$  i de les freqüències relatives dels intervals  $F_0 \sim F_1$ ,  $F_1 \sim F_2$  i  $F_2 \sim F_3$ .

Les característiques acústiques invariants que caracteritzen les vocals són el resultat de la combinació de les freqüències relatives dels intervals  $F_0 \sim F_1$  (en combinació amb  $F_0$ ),  $F_1 \sim F_2$  i  $F_2 \sim F_3$ .

$$\mathbf{F_0 \text{ (Hz)} + int.F_0 \sim F_1 (fR) + int.F_1 \sim F_2 (fR) + int.F_2 \sim F_3 (fR)}$$

La variació que hi ha en la combinació de freqüències relatives està acotada pels límits de domini dels trets distintius.

El correlat acústic dels límits de domini dels trets distintius són les freqüències relatives dels intervals que marquen els canvis quàntics.

Hi ha uns correlats acústics en els trets distintius que funcionen per a qualsevol valor d' $F_0$  i per a totes les vocals tòniques del català. És així a l'interval  $F_1 \sim F_2$ :

- interval  $F_1 \sim F_2$  :  $2 \cdot 5/4 f_R$  és el límit del tret [posterior]

Fant (1989) i Ladefoged (1993) també relacionen la distància espectral entre  $F_1$  i  $F_2$  amb el tret [posterior] (vocals del suec). Per contra, Syrdal i Gopal no assignen el tret posterior a la distància entre  $F_1$  i  $F_2$ , però això és perquè el càlcul de la distància amb la banda crítica de 3 Bark no els permet distingir les vocals posteriors de les anteriors en aquest interval, sinó en l'interval  $F_2 \sim F_3$  (dimensió  $F_2 - F_3$  per a elles) (vocals de l'anglès americà). En l'aplicació del nostre mètode a les vocals de l'anglès americà utilitzades per Syrdal i Gopal (base de dades de Peterson i Barney), també trobem el correlat acústic de  $F_1 \sim F_2$  amb el tret posterior.

Els resultats també demostren que l'interval  $F_1 \sim F_2$  no només distingeix entre vocals [+pos] i [-pos], sinó que distingeix perfectament les tres vocals [-pos] del català.

Això fa pensar que, encara que la identificació d'una vocal depengui de la combinació de la freqüència relativa dels seus tres primers intervals, sempre

hi haurà un interval predominant que jugaria el paper més important en la identificació d'una classe de vocals.

Així, per exemple, les freqüències relatives límit que s'ha trobat a l'interval  $F1 \sim F2$  de les vocals [i, e, ε] permeten classificar-les també pel tret [alt] i pel tret [AA]. Amb la qual cosa, podem concloure que l'interval més significatiu per a la identificació de les vocals [-pos] del català és l'interval  $F1 \sim F2$ .

Un altre correlat acústic que funciona per a qualsevol valor d' $F0$  i per a totes les vocals és:

- $F2 \sim F3$  :  $2fR$  és el límit del tret [labial]

Stevens (1998) explica que d'una parella de vocals que ocupen la mateixa posició, tindrà la freqüència d' $F2$  més baixa la que és labial. Aquest comportament dona informació sobre el tret [labial], perquè si l' $F2$  baixa, la distància entre  $F2$  i  $F3$  augmenta en la vocal [+lab] i, per aquest motiu, és lícit establir el correlat acústic del tret [labial] a l'interval  $F2 \sim F3$ .

A més de classificar les vocals pel tret [labial), l'interval  $F2 \sim F3$  també distingeix graus de labialització, amb la qual cosa aquest interval es perfila com l'interval predominant de les vocals labials.

Pel que fa a l'interval  $F_0 \sim F_1$ , sembla que no hi ha una freqüència relativa límit, sinó que hi ha una distribució de les freqüències relatives relacionada amb l'obertura de les vocals. Tot i això, si en les vocals anteriors el tret predominant és  $F_1 \sim F_2$  i en les vocals labials, és  $F_2 \sim F_3$ , en el cas de la vocal posterior no labialitzada, l'interval predominant és  $F_0 \sim F_1$ .

Els resultats han demostrat que l'interval  $F_0 \sim F_1$  depèn de l'extensió de to de veu a la qual pertany  $F_0$  de la vocal.

- $F_0 > 200$  Hz (to agut)
- $F_0$ : 125Hz - 200Hz (to mitjà)
- $F_0 < 125$ Hz (to greu)

Recerques com les de Traunmüller (1981) i Syrdal (1985) avalen el paper cabdal de la distància entre  $F_0$  i  $F_1$  en la percepció de l'obertura de la vocal.

Els resultats de Di Benedetto (1994) corroboren que hi ha una extensió de veu compresa entre 125Hz i 200Hz, en la qual les variacions del to fonamental no alteren la identificació de les vocals, mentre que sí que hi ha una identificació diferent si es canvia  $F_0$  a una freqüència superior a 200Hz.

De totes maneres, en teoria, el mètode pot establir els límits de domini entre la classe natural de les vocals [+alt, -baix] i la de les vocals [-alt, +baix], sigui quin sigui el valor d' $F_0$ , si es tracta de llengües amb un sistema que només tinguin tres vocals, perquè si només agafem les tres

vocals extremes del català, tenim que  $4fR$  a l'interval  $F_0 \sim F_1$  marca el límit entre les vocals [+al, -baix] i la vocal amb els trets [-alt, -baix].

Quan les llengües tenen un major nombre de vocals és imprescindible prendre en consideració el valor d' $F_0$ , de la mateixa manera que com més complex és el sistema vocàlic d'una llengua, més trets distintius són necessaris per classificar les vocals en un sistema binari. Per tant, la relació entre el correlat acústic i el tret distintiu serà complexa, però les freqüències relatives que marquen els límits de domini semblen seguir unes pautes o directrius. Així, en les vocals [i, ε, a, ɔ, u] de l'anglès americà es van trobar límits quàntics similars als de les vocals [i, ε, a, ɔ, u] del català pel que fa als trets [posterior], [alt] i [labial]. Les diferències, que són variacions mínimes, poden ser degudes al fet que les dades acústiques a què s'ha aplicat el mètode de càlcul són mitjanes. També es poden considerar adaptacions que depenen del nombre i distribució de les vocals dels sistema fonològic de cada llengua. En qualsevol cas, podem afirmar que:

- A.** Hi ha una pauta en l'assignació dels trets distintius per intervals.
- B.** Sempre hi ha un interval que predomina per damunt dels altres en la identificació de les vocals o que és més significatiu per a la seva classificació:

- Vocals [i, e, ε] → interval  $F_1 \sim F_2$

- Vocals [u, o, ɔ] → interval F2~F3
- Vocal [a] → interval F0~F1

## Conclusió 2

Calcular les distàncies espectrals en *freqüència relativa* i classificar el to fonamental per extensions de veu permet eliminar les variacions entre parlants.

D'aquesta manera, la identificació perceptiva de la vocal es interpretada segons els referents de la vocal (les freqüències relatives) i no pas els valors absoluts (els hertz) dels paràmetres acústics (vegeu la Introducció de la Tesi).

El càlcul logarítmic és més adequat, atès que la relació entre la realitat física i l'auditiva és logarítmica i no pas lineal. Per aquest motiu, és millor utilitzar la freqüència relativa com a unitat de mesura que no pas el hertz.

La freqüència relativa ( $fR$ ) és una unitat de mesura millor que no pas el Bark, perquè la banda crítica de 3 Bark no distingeix totes les vocals en totes les distàncies espectrals.



La classificació de les extensions de veu fa possible que les variacions del to fonamental dins l'extensió no afectin la percepció de l'alçada de la vocal perquè el pas d'una extensió de veu a una altra comporta la redistribució de la freqüència relativa de l'interval  $F_0 \sim F_1$  de totes les vocals.

És més lògic classificar l' $F_0$  per extensions de veu i no pas pel sexe i edat dels parlants, si tenim la capacitat d'analitzar l'evolució d' $F_0$  d'un segment inicial de per extreure'n una estimació del seu valor base com a referència, com defensen algunes teories auditives (Traunmüller, 1998).

## **Resumint**

Potser la manera més sintètica de resumir el mètode d'identificació que defenso en aquesta Tesi sigui els dos requisits que imposa Disner (1980) als models de normalització de les vocals, perquè és un mètode que:

- (a) maximitza les diferències entre categories vocàliques, i**
- (b) minimitza les diferències entre parlants.**

## Quadres de resum

### Interval F1~F2

- Per a  $F_0 = x$

**F1~F2** →  $2.5/4fR$  límit del tret [posterior]

$F_1 \sim F_2 \leq 2.5/4fR$  → vocal [+pos]

$F_1 \sim F_2 > 2.5/4fR$  → vocal [-pos]

### Interval F1~F2 i les vocals anteriors

vocals [-pos]	[alt]	[AA]
[ i ] → $F_1 \sim F_2 \geq 4.3/2fR$	+	+
[ e ] → $F_1 \sim F_2 : 4fR - 4.4/3fR$	-	+
[ ε ] → $F_1 \sim F_2 < 4fR$	-	-

### F1~F2

interval predominant de les vocals [-pos]

### Interval F2~F3

- Per a  $F_0 = x$

**F2~F3** →  $2fR$  límit del tret [labial]

$F_2 \sim F_3 > 2fR$  → vocal [+lab]

$F_2 \sim F_3 < 2fR$  → vocal [-lab]

### Interval F2~F3 i el tret [labial]

**F2~F3**

distinció de graus de labialització



**F2~F3**

interval predominant de les vocals [+lab]

**Interval F0~F1 i les vocals extremes**

<b>i, u</b>	<b>a</b>
$F0 \sim F1 \leq 2 \cdot 3/2 \cdot fR$	$F0 \sim F1 \geq 4 \cdot fR$
[+alt, -baix]	[-alt, +baix]

**F0~F1**  
interval predominant de la vocal [-alt, +baix]

QN

## Referències bibliogràfiques

BAKEN, R.J. 1991. *Clinical Measurement of Speech and Voice*. San Diego, California: College-Hill Press.

BERANEK, 1949

BLUMSTEIN, S. 1986. On acoustic invariance in speech. Dins J. PERKELL i D. KLATT (eds.) *Invariance and variability in speech processes*, 178 i ss.

BLUMSTEIN, S. i STEVENS, K. 1979. Acoustic invariance in speech production: evidence from measurements of the spectral characteristics of stop consonants. *JASA* 66: 1001-1017.

BLUMSTEIN, S. i STEVENS, K. 1981. Phonetic features and acoustic invariance in speech. *Cognition* 10: 25-32.

BONET, E. i LLORET, M.R. 1998. *Fonologia catalana*. Barcelona: Ariel.

BORDEN, G.J., HARRIS, K.S. i LAWRENCE, J.R. 1980. *Speech science primer: Physiology, acoustic, and perception of speech*. Baltimore: Williams & Wilkins [cito per l'edició de 1994].

CARLSON, R., FANT, G. i GRANSTROM, B. 1975. Two-formant models, pitch, and vowel perception. Dins, G. FANT i M.A.A. TATHAM (eds.) *Auditory Analysis and Perception of Speech*. New York: Academic Press, 55-82.

CHIBA, T. i KAJIYAMA, M. 1941. *The vowel, its Nature and Structure*. Tokyo: Kaiseikan.

CHISTOVICH, L.A. i LUBLINSKAYA, V.V. 1979. The 'center of gravity' effect in vowel spectra and critical distance between the formants:

Psychoacoustical study of perception of vowel-like stimuli. *Hearing Research* 1:185-195.

CHOMSKY, N. i HALLE, M. 1968. *The Sound Pattern of English*, New York: Harper and Row.

DAVENPORT, M. i HANNAHS, S. J. 1998. *Introducing Phonetics and Phonology*. London: Arnold.

DELATTRE, P., LIBERMAN, A.M., COOPER, F.S. i GERSTMAN, L.J. 1952. An experimental study of acoustic determinants of vowel color: Observations on one and two-formant vowels synthesized from spectrographic patterns. *Word* 8:195-210.

DI BENEDETTO, M. G. 1994. Acoustic and perceptual evidence of a complex relation between F1 and F0 in determining vowel height. *Journal of Phonetics* 22: 205-224.

DISNER, Sandra Ferrari. 1980. Evaluation of vowel normalization procedures. *JASA* 67: 253-261.

FAHEY, R. P., DIEHL, R. L. i TRAUNMÜLLER, H. 1996. Perception of back vowels: Effects of varying F1 – F0 Bark distance. *JASA* 99: 2350-2357.

FANT, G. 1960. *Acoustic theory of speech production*. La Haya: Mouton [cito per l'edició de 1970].

FANT, G. 1961. *The Acoustic of Speech*. Dins L. Cremer (ed.) *Proceedings of the Third International Congress on Acoustics, Stuttgart, 1959*. Amsterdam: Elsevier [cito per la versió recollida a G.FANT. 1973. *Speech Sounds and Features*. Cambridge, Mass.: MIT Press. 3-16].

FANT (1973) *Speech Sounds and Features*

FANT, G. 1983. Feature analysis of Swedish vowels—a revisit. *Speech Transmission Laboratory: Q.Prog.Stat.Rep.* 2-3: 1-19.

FRY, J.B. 1979. *The Physics of Speech*. Cambridge: Cambridge University Press [cito per l'edició de 1996].

FUJISAKI, H. i KAWASHIMA, T. 1968. The role of pitch and higher formants in perception vowels. *Trans Audio Electroacoustics*. AU-16: 73-77.

HALLE, M. 1990. Features. Dins de W.Bright (ed.) *International encyclopedia of linguistics*. New York: Oxford University Press. 1-19.

HALLE, M. 1992. Phonological features. Dins W.Bright (ed.) *International encyclopedia of linguistics*. Oxford: Oxford University Press. 207-212.

HALLE, M. i STEVENS, K.N. 1969. On the feature 'advanced tongue root'. *MIT Research Laboratory of Electronics Quarterly Progress Report* 94: 209-215.

HALLE, M. i STEVENS, K.N. 1971. A note of laryngeal features. *MIT Research Laboratory of Electronics Quarterly Progress Report* 101: 198-2153

HALLE, M. i STEVENS, K.N. 1991. Knowledge of language and the sounds of speech. Dins J.Sundberg, L.Nord i R.Carlson (eds.) *Music, language, speech and brain*. London: Macmillan. 1-19.

HILLENBRAND, J. i GAYVERT, R.T. 1993. Vowel classification on fundamental frequency and formant frequencies. *Journal of Speech and Hearing Research* 36: 694-700.

HOEMEKE, K.A. i DIEHL, R.L. 1994. Perception of vowel height: The role of F1—F0 distance. *JASA* 96: 661-674.

HYMAN, L. 1975. *Phonology: Theory and Analysis*. New York; Holt, Rinehart, and Winston. [cito pr l'edició de 1981. *Fonología: Teoría y análisis*. Madrid: Paraninfo].

IPA. 1989. Report on the 1989 Kiel Convention. *Journal of the International Phonetic Association* 19, 2: 67-80.

ISALGUÉ BUIXEDA, A. 1995. *Física de la llum i el so*. Barcelona: Edicions UPC.

JAKOBSON, R. i HALLE, M. 1956. *Fundamentals of Language*. The Hague: Mouton.

JAKOBSON, R., FANT, G. i HALLE, M. 1963. *Preliminaries to Speech Analysis: The Distinctive Features and Their Correlates*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

JOHNSON, K. 1990. Contrast and normalization in vowel perception. *Journal of Phonetics* 18: 229-254.

JOHNSON, K. 1997. *Acoustic and Auditory Phonetics*. Cambridge, Mass.: Blackwell.

JONES, D. 1918. *An Outline of English Phonetics*. Cambridge: Cambridge University Press [cito per l'edició de 1980].

KLATT, D. 1980. Software for a cascade / parallel formant synthesizer. *JASA* 67,3: 971-95.

LADEFOGED, P. 1962. *Elements of Acoustic Phonetics*. Chicago: University of Chicago Press [cito per l'edició de 1996].

LADEFOGED, P. 1975. *A Course in Phonetics*. Fort Worth: Harcourt Brace College Publishers [cito per l'edició de 1993].



- LADEFOGED, P. 2003. *Phonetic Data Analysis*. Oxford: Blackwell publishing.
- LASS, R. 1984. *Phonology: An introduction to basic concepts*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LIEBERMAN, P. i S. BLUMSTEIN. 1986. *Speech physiology, speech perception and acoustic phonetics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LINDAU, M. 1978. Vowel features. *Language* 54: 541-63.
- LLISTERRI, J. 1984. *Anàlisi i síntesi de vocals catalanes*. Memòria de llicenciatura no publicada. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- LLOYD, R.J. 1890a. *Some Researches into the Nature of Vowel-Sound*. Liverpool: Turner & Dunnett.
- LLOYD, R.J. 1890b. *Speech sounds: Their nature and causation (I)*. *Phonetische Studien* 3: 251-278.
- MALMBERG, B. 1974. *Manuel de phonetique générale*. París: Picard.
- MARTÍNEZ CELDRÁN, E. 1984. *Fonética*. Barcelona: Teide [cito edició de 1986).
- MARTÍNEZ CELDRÁN, E. 1995. *En torno a las vocales del español: análisis y reconocimiento*. *Estudios de Fonètica Experimental VII*: 195-218. Barcelona: PPU.
- MARTÍNEZ CELDRÁN, E. 1996. *El sonido en la comunicación humana*. Barcelona: Octaedro.
- MARTÍNEZ CELDRÁN, E. 1998. *Tecnologies de la parla*. Dins M.À. Pradilla (ed.) *El món dels sons*. Benicarló: Edicions Alambor. 200-210.
- MASCARÓ, J. 1995. *A Reduction and Spreading Theory of Voicing and Other Sound Effects*. *CatWPL* 4, 2: 267-328.

MILLER, J. D. 1984. Auditory perceptual correlates of the vowels. JASA Suppl.1, 76, S79(A).

MILLER, J. D. 1989. Auditory-perceptual interpretation of the vowel. JASA 85: 2114-2134.

MILLER, R. 1953. Auditory tests with synthetic vowels. JASA 25: 114-121.

NEARY, M.T. 1989. State, dynamic, and relative properties in vowel perception. JASA 85(5): 2088-2113.

ORTUÑO ORTÍN, M. 1996. Física para biología, medicina, veterinaria y farmacia. Col·lecció: Nuevos instrumentos universitarios. Barcelona: Crítica.

PALMADA, B. 1994. La fonologia del català: els principis generals i la variació. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

PERKELL, J. 1971. Physiology of speech production: a preliminary study of two suggested revisions of the features specifying vowels. Quarterly Progress Report 102: 123-39. Research Institute of Electronics, MIT.

PERTERSON, G.E. i BARNEY, H.L. 1952. Control methods used in a study of the vowels. JASA 24: 175-184.

PETERSON, G. 1961. Parametres of vowel quality. Journal Speech and Hearing Research 4, 10-29.

PLANAS MORALES, S. i VILLALBA, X. 1997. The identification of Catalan tonic vocalism using frequency scales. Journées d'Etudes Linguistiques: La voyelle dans tous ses états. Université de Nantes.

POTTER, R.K. i STEINBERG, J.C. 1950. Toward the specification of speech. JASA 22: 807-820.

RECASENS, D. 1986. Estudis de fonètica experimental del català oriental central. Barcelona: Publicacions de l'Abadia de Montserrat

RECASENS, D. 1991. Fonètica descriptiva del català. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.

SERRA, P. 1996. La fonologia prosòdica del català. Tesi Doctoral. Universitat de Girona.

STEVENS, K. N. 1972. The quantal nature of speech: Evidence from articulatory-acoustic data. Dins E. E. David i P. B. Denes (eds.) *Humana Communication: a unified view*. New York: McGraw-Hill. 51-66.

STEVENS, K. N. 1989. On the quantal nature of speech. *Journal of Phonetics*, 17, 3-45.

STEVENS, K. N. 1998. *Acoustic Phonetics*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

STEVENS, K. N. i BLUMSTEIN, S. E. 1979. Invariant cues for place of articulation in stop consonants. *JASA* 64: 1358-1368.

STEVENS, K. N. i BLUMSTEIN, S. E. 1981. The search for invariant acoustic correlates of phonetics features. Dins P. Eimas i J. Miller (eds.) *Perspectives on the study of speech*. New Jersey: Erlbaum.

STEWART, J.M. 1967. Tongue-root position in Akan vowel harmony. *Phonetica* 16: 185-204.

SYRDAL, A.K. 1984. Aspects of a model of the auditory representation of American English vowels. *Speech Communication* 4, 121-135.

SYRDAL, A. K. 1985. Aspects of a model of the auditory representation of American English vowels. *Speech Communication* 4: 121-135.

SYRDAL, A. K. i GOPAL, H. S. 1986. A perceptual model of vowel recognition based on the auditory representation of American English vowels. *JASA* 79: 1086-1100.

TORRES, B. i GIMENO, F. 1995. Bases anatòmiques de la veu. Barcelona: Proa.

TOSI, O. 1992. Elementos de acústica i psicoacústica. Dins M.C. Jackson-Menaldi (ed.) *La voz normal*. Buenos Aires: Panamericana. 27-46.

TRAUNMÜLLER, H. 1981. Perceptual dimension of openness in vowels. *JASA* 69: 1465-1475.

TRAUNMÜLLER, H. 1990. Analytical expressions for the tonotopic sensory scale. *JASA* 88: 97-100.

TRAUNMÜLLER, H. 1994. Conventional, biological, and environmental factors in speech communication: A Modulation Theory. *Phonetica* 51: 170-183.

TRAUNMÜLLER, H. 1998a. Modulation and demodulation in production, perception and imitation of speech and bodily gestures. *FONETIK'98* Dept. of linguistics, Stockholm University. 40-43.

TRAUNMÜLLER, H. 1998b. The role of F0 in vowel perception. [www.ling.su.es/staff/hartmut/i.htm](http://www.ling.su.es/staff/hartmut/i.htm).

TRAUNMÜLLER, H. 2000. Evidence for Demodulation in Speech Perception. [www.ling.su.es/staff/hartmut/aktupub.htm](http://www.ling.su.es/staff/hartmut/aktupub.htm).

ZAMACOIS, J. 1954. *Teoria de la música II*. Barcelona: Labor [cito edició de 1976].

ZWICKER, E. i TERHARDT, E. 1980. Analytical expressions for critical-band rate and critical bandwidth as a function of frequency. JASA 68: 1523-1525.