

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERS  
INDUSTRIALS DE BARCELONA (UPC)**

*Institut de Cibernètica*

**NOVES TÈCNIQUES EN L'ANÀLISI DEL  
SENYAL ELECTROCARDIOGRÀFIC:  
APLICACIÓ A L'ECG D'ALTA  
RESOLUCIÓ.**

Autor: Raimon Jané Campos  
Director: Antonio Bayes

Juny 1989

## Agraïments

El treball realitzat en aquesta tesi s'ha desenvolupat en el marc d'un projecte d'investigació, subvencionat per la CAICYT, i del conveni de col.laboració entre l'Institut de Cibernètica i l'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Sense el suport prestat per aquestes institucions no hauria estat possible la consecució del present treball.

Vull aprofitar aqueste línies per expressar el meu agraïment a totes les persones que amb la seva col.laboració han enriquit el contingut d'aquesta tesi. Especialment:

Al Dr. Pere Caminal, professor titular de la Universitat Politècnica de Catalunya i cap de la Divisió de Bioenginyeria de l'Institut de Cibernètica, que ha dirigit amb gran interès aquesta tesi. Vull agrair-li, a ell que em va iniciar en l'apassionant camp de la Bioenginyeria, la seva dedicació i les seves constants paraules d'ànim, malgrat el poc temps que li deixen les seves nombroses ocupacions.

Al Dr. Luis Basañez, catedràtic de la Universitat Politècnica de Catalunya i director de l'Institut de Cibernètica, per haver posat a la meva disposició els mitjans tècnics de l'Institut per al desenvolupament d'aquest treball.

Al Professeur Gérard Alengrin, director del Laboratoire de Signaux et Systèmes de l'Université de Nice, durant els anys 1987 i 1988, per haver-me acollit en dues ocasions, amb motiu de col.laboracions científiques amb aquest centre.

Al Professeur Hervé Rix, investigador del Laboratoire de Signaux et Systèmes, per la seva orientació en la selecció dels mètodes d'alineament proposats en aquesta tesi, així com per les profitoses discussions de certes parts del present treball.

Al Dr. Antonio Bayés, professor titular de la Universitat Autònoma de Barcelona i cap de secció de registres gràfics del Servei de Cardiologia de l'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, pel seu entusiasme en la selecció i proposta de nous temes de recerca en el camp de la Cardiologia, en especial les considerades en aquest treball.

Al Dr. José María Domínguez, cap de secció de la Unitat Coronària de l'Hospital de la Santa Creu i de Sant Pau, pel seu suport en l'enregistrament dels senyals electrocardiogràfics considerats en aquesta tesi.

Al Dr. André Varenne, de l'Hôpital Pasteur de Nice, per l'aportació de la seva experiència envers l'obtenció i interpretació mèdica dels potencials ventriculars tardans.

A tots els components de la Divisió de Bioenginyeria de l'Institut de Cibernètica que m'han animat constantment, especialment a Pablo Laguna que ha col.laborat activament en la presentació d'aquest text.

A Teresa González i Neus Gil, per la seva participació en el mecanografiat i delineació d'algunes parts d'aquest treball.

A tots i cadascun dels membres de l'Institut de Cibernètica que han creat l'ambient propici per al desenvolupament profitós d'aquest treball.

Finalment a la meva esposa Núria i al meu fill Adrià, per el seu ajut i comprensió de totes les hores dedicades a aquesta tesi. Vull també expressar l'agraïment als meus pares i germans per les seves constants paraules encoratjadores.

## RESUM DE LA TESI DOCTORAL

### *“NOVES TÈCNIQUES EN L'ANÀLISI DEL SENYAL ELECTROCARDIOGRÀFIC: APLICACIÓ A L'ECG D'ALTA RESOLUCIÓ.”*

**Realitzada per:** Raimon Jané Campos

**Dirigida per:** Dr. Pere Caminal Magrans

L'estudi del senyal electrocardiogràfic (ECG) obtingut mitjançant elèctrodes de superfície és una prova mèdica freqüent que té una gran significació en el diagnòstic de l'activitat cardíaca.

Des de la incorporació dels ordinadors als equips d'obtenció i enregistrament de l'ECG, que va provocar un gran impacte en la tecnologia i disseny d'aquests equips, l'anàlisi automàtica del senyal electrocardiogràfic ha estat un problema abordable. Cal precisar, però, que l'anàlisi assistit per computadora de l'ECG convencional no aporta *per se* nova informació per al diagnòstic respecte a l'observada directament per un cardiòleg.

L'Electrocardiografia d'alta resolució (ECGAR) és un camp de recerca recent. Consisteix en la detecció i quantificació de potencials cardíacs de baixa amplitud, que no es poden captar amb els procediments de l'ECG convencional. L'ECGRA requereix el desenvolupament de tècniques de processat digital en el domini temporal i la realització de programes que permetin l'obtenció automàtica de l'activitat cardíaca de baixa amplitud. A més a més cal, per captar el senyal, la utilització d'una instrumentació biomèdica molt superior en prestacions a l'emprada habitualment.

Els treballs presentats fins ara efectuen l'estimació dels potencials cardíacs vinculats a les ones d'amplitud més gran dins l'electrocardiograma. La majoria de les realitzacions existents són només aplicables a les ones d'elevada relació senyal-soroll. Aquesta restricció del problema no ha evitat certes deficiències en la qualitat de les estimacions obtingudes. Així s'ha arribat a una baixa coincidència de resultats en certs estudis mèdics comparatius. Les contribucions existents en aquest tema s'han pres com a referència i punt de partida d'aquesta tesi.

El treball presentat en aquesta tesi és una aportació en el camp del processat digital de senyals electrocardiogràfics, emmarcat especialment en l'ECG d'alta resolució.

En aquest sentit s'ha proposat i desenvolupat una estructura modular del sistema de processat, on s'han fet contribucions tant en els mètodes emprats com en l'aplicació.

En el primer capítol es fa una descripció detallada del problema, presentant les característiques del senyal i la metodologia per a la seva obtenció.

En el segon capítol es presenta el tractament de l'ECG d'alta resolució com un problema en el camp dels processos aleatoris. Es descriu la tècnica emprada per a l'estimació dels potencials cardíacs, modelats com la part determinista del procés. Segons aquest enfocament es proposa una estructura del sistema de processat per a l'anàlisi del senyal, que ve desenvolupada en els posteriors capítols.

El tercer capítol està dedicat a la detecció d'ones dins del senyal ECG, malgrat les seves variacions al llarg del temps i la contaminació per soroll d'origen biològic o extern. S'ha desenvolupat un sistema de detecció particularitzat per als complexos QRS, que són el conjunt d'ones associades a l'activitat de la contracció ventricular de cada batec cardíac. El sistema proposat s'ha mostrat molt robust, detectant les ones en tot tipus de situacions. Es puntualitzen les aportacions per a aquest detector, tant en el disseny com en l'aplicació. La seva contribució resulta molt útil per a les posteriors etapes de processat.

En el quart capítol es presenten uns mètodes d'alineament de senyals orientats al cas dels ECG. En principi es fa una descripció general del problema, descrivint tot seguit els mètodes proposats amb un enfocament original. A continuació s'efectua un estudi de les prestacions d'aquests mètodes en simulació, així com aplicats a senyals reals. Finalment es descriuen els criteris d'aplicabilitat en situacions reals, comprovant el bon funcionament fins i tot per a senyals de baixa relació senyal-soroll.

El cinquè capítol està específicament orientat al processat de l'ECG d'alta resolució. Es presenta la metodologia seguida, que també inclou les etapes proposades i descrites en capítols anteriors. A continuació es mostra l'aplicació d'aquestes tècniques a l'obtenció de potencials cardíacs de gran interès mèdic, com són els potencials ventriculars tardans, o diferents potencials vinculats a altres ones de l'ECG.

L'aplicació dels mètodes i les etapes de processat presentades per a l'obtenció i tractament de l'ECG d'alta resolució han permès la recuperació de potencials cardíacs de forma fiable, tot i aplicant-lo a senyals de baixa relació senyal-soroll.

# Índex

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓ</b>	<b>1</b>
1.1	EL SENYAL ELECTROCARDIOGRÀFIC . . . . .	3
1.1.1	Caracterització del senyal . . . . .	4
1.1.2	Elèctrodes . . . . .	6
1.1.3	Derivacions normalitzades . . . . .	8
1.2	L'ECG D'ALTA RESOLUCIÓ . . . . .	9
1.3	DESCRIPCIÓ DELS OBJECTIUS DE LA TESI . . . . .	11
<b>2</b>	<b>TÈCNIQUES DE DETECCIÓ DE SENYALS DETERMINISTES</b>	<b>13</b>
2.1	INTRODUCCIÓ . . . . .	13
2.2	Plantejament del problema . . . . .	15
2.3	Estimació de les components deterministes . . . . .	17
2.4	Caracterització de la resposta freqüencial equivalent . . . . .	19
2.5	Influència de l'incompliment de les hipòtesis . . . . .	21
2.5.1	Identitat dels impulsos . . . . .	22
2.5.2	Invariància de les respostes . . . . .	22
2.5.3	Independència d'impulsos i respostes . . . . .	22

2.5.4	Constància de l'interval impuls-resposta . . . . .	23
2.5.5	Característiques del soroll . . . . .	26
2.6	Estructura del Processat d'ECG . . . . .	26
<b>3</b>	<b>DETECCIÓ DE COMPLEXOS QRS EN SENYALS ECG</b>	<b>29</b>
3.1	INTRODUCCIÓ . . . . .	29
3.2	DESCRIPCIÓ DELS MÈTODES DE DETECCIÓ . . . . .	31
3.2.1	Filtrat lineal . . . . .	32
3.2.2	Transformació no lineal . . . . .	33
3.2.3	Regla de decisió . . . . .	34
3.3	CARACTERITZACIÓ I REALITZACIÓ DEL DETECTOR . . . . .	36
3.3.1	Característiques de l'algorisme de detecció . . . . .	36
3.3.2	Descripció de l'algorisme . . . . .	41
3.4	APLICACIONS . . . . .	54
3.4.1	Descripció del sistema d'adquisició de senyals ECG . . . . .	54
3.4.2	Detecció de complexos QRS en senyals reals . . . . .	55
<b>4</b>	<b>MÈTODES D'ALINEAMENT PER A SENYALS ECG</b>	<b>63</b>
4.1	INTRODUCCIÓ . . . . .	63
4.2	MÈTODES D'ALINEAMENT DE SENYALS . . . . .	65
4.2.1	Conceptes bàsics de l'alineament de senyals . . . . .	65
4.2.2	Propostes de mètodes d'alineament per a senyals ECG . . . . .	67
4.2.3	Mètode de doble nivell . . . . .	68
4.2.4	Mètode de les integrals normalitzades en coincidència . . . . .	70

4.2.5	Mètode de filtrat adaptat . . . . .	73
4.3	ESTUDI DE LES PRESTACIONS EN SIMULACIÓ PER ORDINADOR	75
4.3.1	Plantejament de la simulació. Definició del senyal i el soroll . .	75
4.3.2	Resultats . . . . .	79
4.3.3	Conclusions . . . . .	90
4.4	APLICACIÓ A SENYALS ECG REALS . . . . .	91
4.4.1	Senyals electrocardiogràfics seleccionats . . . . .	91
4.4.2	Processat del senyal . . . . .	93
4.4.3	Resultats . . . . .	94
4.4.4	Conclusions . . . . .	97
5	PROCESSAT DE SENYALS ECG D'ALTA RESOLUCIÓ	105
5.1	INTRODUCCIÓ . . . . .	105
5.2	CARACTERITZACIÓ DE L'APLICACIÓ . . . . .	107
5.2.1	Configuració del sistema d'adquisició . . . . .	107
5.2.2	Derivacions . . . . .	110
5.2.3	Estructura del processat de senyal . . . . .	110
5.2.4	Filtrat del senyal . . . . .	112
5.3	APLICACIÓ A L'OBTENCIÓ DE POTENCIALS TARDANS . . . . .	117
5.3.1	Descripció i interès del problema . . . . .	117
5.3.2	Característiques de l'aplicació . . . . .	119
5.3.3	Resultats . . . . .	120
5.4	APLICACIÓ A L'ECG AMB VARIACIONS DE FORMA RÍTMIQUES	144
5.4.1	Descripció del problema . . . . .	144



5.4.2	Resultats . . . . .	152
5.5	APLICACIÓ A L'ESTUDI DE L'ONA P . . . . .	161
5.5.1	Descripció de l'aplicació . . . . .	161
5.5.2	Resultats . . . . .	164
5.6	APLICACIÓ A L'ESTUDI DE L'ONA T . . . . .	174
5.6.1	Descripció de l'aplicació . . . . .	174
5.6.2	Resultats . . . . .	174
6	<b>CONCLUSIONS</b>	<b>179</b>
6.1	APORTACIONS DE LA TESI . . . . .	180
6.2	EXTENSIONS FUTURES . . . . .	182

# Llista de Figures

1.1	<i>Senyal ECG ideal, amb la indicació de les ones, intervals i segments que el caracteritzen. . . . .</i>	4
1.2	<i>Espectre del senyal ECG, i de les seves components. (Reproduït de (Thakor, 1984)) . . . . .</i>	6
1.3	<i>Derivacions del triangle d'Einthoven (D1, D2 i D3), corresponents al pla frontal. . . . .</i>	9
2.1	<i>Model del senyal ECG considerat com un procés aleatori, amb una component determinista <math>s(t)</math>. . . . .</i>	17
2.2	<i>Freqüència de tall equivalent a -3 dB, en funció dels valors de <math>\sigma</math> per a la variable aleatòria gaussiana <math>\theta</math>. . . . .</i>	25
3.1	<i>Diagrama de blocs d'un detector de complexos QRS. . . . .</i>	31
3.2	<i>Diagrama de blocs de l'etapa de filtrat lineal del detector de QRS . . .</i>	37
3.3	<i>Diagrama de blocs de l'etapa de transformació no lineal del detector de QRS. . . . .</i>	37
3.4	<i>Senyals obtinguts en les diferents etapes de processat del detector de QRS aplicat a un ECG normal. . . . .</i>	38
3.5	<i>Representació en el pla Z del filtre passa baix de primer ordre, per al cas de <math>m=12</math> . . . . .</i>	44
3.6	<i>Resposta freqüencial del filtre passa-baix, per a una <math>f_m = 1000</math> Hz. . .</i>	46

3.7	<i>Esquema de blocs del filtre passa-banda, obtingut a partir d'una combinació en paral·lel de dos filtres.</i>	47
3.8	<i>Resposta freqüencial del filtre passa-alt, per a una <math>f_m = 1000</math> Hz.</i>	48
3.9	<i>Resposta freqüencial del filtre passa-banda, per a una <math>f_m = 1000</math> Hz.</i>	49
3.10	<i>Resposta freqüencial del filtre derivatiu per a una <math>f_m = 1000</math> Hz.</i>	50
3.11	<i>Detecció dels complexos QRS en un senyal amb variació de la línia base.</i>	55
3.12	<i>Detecció dels complexos QRS en un senyal amb una extrasístole auricular en el setè batec.</i>	56
3.13	<i>Detecció dels complexos QRS en un senyal amb una morfologia de QRS no convencional.</i>	57
3.14	<i>Detecció dels complexos QRS en un senyal amb una extrasístole ventricular en el cinquè batec.</i>	57
3.15	<i>Detecció dels complexos QRS en un senyal amb un episodi puntual d'artefacte de moviment.</i>	58
3.16	<i>Detecció dels complexos QRS en un senyal amb una activitat muscular moderada.</i>	59
3.17	<i>Detecció dels complexos QRS en un senyal amb una activitat muscular moderada.</i>	59
3.18	<i>Detecció dels complexos QRS en un senyal amb una forta activitat muscular.</i>	60
3.19	<i>Detecció dels complexos QRS en un senyal amb una forta activitat muscular.</i>	61
4.1	<i>Definició del punt d'alineament <math>t_a</math> pel mètode de doble nivell.</i>	69
4.2	<i>Aplicació del mètode de DN a senyals amb baixa SNR.</i>	70
4.3	<i>Ona denominada "bifàsica", segons la terminologia mèdica.</i>	73

4.4	<i>Senyal ECG seleccionat per extreure el complex QRS de referència per a la simulació i per a l'anàlisi en el cas de senyals reals (Pacient P1).</i>	76
4.5	<i>Senyal ECG seleccionat per extreure l'ona P de referència per a la simulació i per a l'anàlisi en el cas de senyals reals (Pacient P2).</i>	77
4.6	<i>Complex QRS emprat en la simulació com senyal determinista (pacient P1).</i>	77
4.7	<i>Ona P emprada en la simulació com senyal determinista (pacient P2).</i>	78
4.8	<i>Complex QRS simulat per a una SNR de 20 dB.</i>	80
4.9	<i>Ona P simulada per a una SNR de 20 dB.</i>	80
4.10	<i>Complex QRS estimat pel càlcul de la mitjana amb sincronització perfecta.</i>	81
4.11	<i>Ona P estimada pel càlcul de la mitjana amb sincronització perfecta.</i>	81
4.12	<i>Complex QRS estimat amb la mitjana de 80 batecs (SNR=20 dB), pel cas d'una <math>\sigma_d = 5</math> ms.</i>	82
4.13	<i>Complex QRS estimat amb la mitjana de 80 batecs (SNR=20 dB), pel cas d'una <math>\sigma_d = 3</math> ms.</i>	83
4.14	<i>Complex QRS estimat amb la mitjana de 80 batecs (SNR=20 dB), pel cas d'una <math>\sigma_d = 2</math> ms.</i>	83
4.15	<i>Complex QRS estimat amb la mitjana de 80 batecs (SNR=20 dB), pel cas d'una <math>\sigma_d = 1</math> ms.</i>	84
4.16	<i>Ona P estimada amb la mitjana de 80 batecs (SNR=20 dB), pel cas d'una <math>\sigma_d = 5</math> ms.</i>	84
4.17	<i>Ona P estimada amb la mitjana de 80 batecs (SNR=20 dB), pel cas d'una <math>\sigma_d = 3</math> ms.</i>	85
4.18	<i>Ona P estimada amb la mitjana de 80 batecs (SNR=20 dB), pel cas d'una <math>\sigma_d = 2</math> ms.</i>	85
4.19	<i>Ona P estimada amb la mitjana de 80 batecs (SNR=20 dB), pel cas d'una <math>\sigma_d = 1</math> ms.</i>	86

4.20	<i>Desviació tipus per a cada SNR aplicant els diferents mètodes d'alineament (DL, NI i FA) al complex QRS. . . . .</i>	88
4.21	<i>Desviació tipus per a cada SNR aplicant els diferents mètodes d'alineament (DL, NI i FA) a l'ona P. . . . .</i>	89
4.22	<i>Pacient P3 seleccionat per a l'anàlisi de l'alineament en el cas real. .</i>	91
4.23	<i>Pacient P4 seleccionat per a l'anàlisi de l'alineament en el cas real. .</i>	92
4.24	<i>Complex QRS estimat després de calcular la mitjana de 80 batecs (P3), amb el mètode de DN. . . . .</i>	95
4.25	<i>Complex QRS estimat després de calcular la mitjana de 80 batecs (P3), amb el mètode de IN-Q. . . . .</i>	96
4.26	<i>Complex QRS estimat després de calcular la mitjana de 80 batecs (P3), amb el mètode de FA-DN. . . . .</i>	96
4.27	<i>Complex QRS estimat després de calcular la mitjana de 80 batecs (P3), amb el mètode de FA-IN-Q. . . . .</i>	97
4.28	<i>Ona P estimada després del càlcul de la mitjana de 80 batecs (P1), emprant l'algorisme DN. . . . .</i>	98
4.29	<i>Ona P estimada després del càlcul de la mitjana de 80 batecs (P1), emprant l'algorisme DN-QRS. . . . .</i>	99
4.30	<i>Ona P estimada després del càlcul de la mitjana de 80 batecs (P1), emprant l'algorisme IN-P. . . . .</i>	99
4.31	<i>Ona P estimada després del càlcul de la mitjana de 80 batecs (P1), emprant l'algorisme FA-DN. . . . .</i>	100
4.32	<i>Ona P estimada després del càlcul de la mitjana de 80 batecs (P1), emprant l'algorisme FA-DN-QRS. . . . .</i>	100
4.33	<i>Ona P estimada després del càlcul de la mitjana de 80 batecs (P1), emprant l'algorisme FA-IN-P. . . . .</i>	101

4.34	<i>Ona P estimada després del càlcul de la mitjana de 80 batecs (P4), emprant l' algorisme DN. . . . .</i>	101
4.35	<i>Ona P estimada després del càlcul de la mitjana de 80 batecs (P4), emprant l' algorisme IN-P. . . . .</i>	102
4.36	<i>Ona P estimada després del càlcul de la mitjana de 80 batecs (P4), emprant l' algorisme FA-DN. . . . .</i>	102
4.37	<i>Ona P estimada després del càlcul de la mitjana de 80 batecs (P4), emprant l' algorisme FA-IN-P. . . . .</i>	103
5.1	<i>Esquema de blocs del sistema d'adquisició de senyals ECG d'alta resolució. . . . .</i>	108
5.2	<i>Derivacions precordials bipolars emprades per a l'obtenció dels senyals d'alta amplificació. a)Vista frontal. b)Vista transversal. . . . .</i>	111
5.3	<i>Esquema de blocs del processat de senyals ECG d'alta resolució. . . . .</i>	111
5.4	<i>Resposta impulsional dels filtres FIR de N=100 coeficients, d'una banda de pas: a) 100-300 Hz. b) 100-150. . . . .</i>	115
5.5	<i>Resposta freqüencial dels filtres FIR de N=100 coeficients, d'una banda de pas: a) 100-300 Hz. b) 100-150. . . . .</i>	116
5.6	<i>Senyal baixa-amplificació i alta-amplificació (derivació B1) del pacient P1, amb la indicació dels complexos QRS detectats. . . . .</i>	121
5.7	<i>Finestra baixa amplificació per a un batec del pacient P1. . . . .</i>	122
5.8	<i>Finestra alta amplificació per a un batec del pacient P1. . . . .</i>	122
5.9	<i>Estimació de les components deterministes mitjançant FA (pacient P1): a) baixa amplificació. b) alta amplificació (derivació B1). c) alta amplificació filtrat passa-banda (100-300 Hz). . . . .</i>	123
5.10	<i>Estimació de les components deterministes mitjançant FA (pacient P1): a) baixa amplificació. b) alta amplificació (derivació B2). c) alta amplificació filtrat passa-banda (100-300 Hz). . . . .</i>	124

- 5.11 *Estimació de les components deterministes mitjançant FA (pacient P1): a) baixa amplificació. b) alta amplificació (derivació B3). c) alta amplificació filtrat passa-banda (100-300 Hz). . . . .* 125
- 5.12 *Estimació de les components deterministes mitjançant FA (pacient P1): a) baixa amplificació. b) alta amplificació (derivació B4). c) alta amplificació filtrat passa-banda (100-300 Hz). . . . .* 126
- 5.13 *Detall del senyal d'alta amplificació (derivació B1) del pacient P1, estimat mitjançant FA i filtrat amb les bandes: a) 100-300 Hz. b) 100-150 Hz. c) 150-200 Hz. . . . .* 128
- 5.14 *Detall del senyal d'alta amplificació (derivació B1) del pacient P1, estimat mitjançant FA i filtrat amb les bandes: a) 200-250 Hz. b) 250-300 Hz. c) 300-350 Hz. . . . .* 129
- 5.15 *Detall del senyal d'alta amplificació (derivació B2) del pacient P1, estimat mitjançant FA i filtrat amb les bandes: a) 100-300 Hz. b) 100-150 Hz. c) 150-200 Hz. . . . .* 130
- 5.16 *Detall del senyal d'alta amplificació (derivació B2) del pacient P1, estimat mitjançant FA i filtrat amb les bandes: a) 200-250 Hz. b) 250-300 Hz. c) 300-350 Hz. . . . .* 131
- 5.17 *Detall del senyal d'alta amplificació (derivació B1) del pacient P1, estimat mitjançant FA i filtrat amb les bandes: a) 80-300 Hz. b) 150-250 Hz. c) 300-500 Hz. . . . .* 132
- 5.18 *Comparació de les estimacions de les components deterministes del pacient P1 (derivació B1) filtrades passa-banda (100-300 Hz) i obtingudes amb els mètodes: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . . .* 134
- 5.19 *Senyal baixa-amplificació i alta-amplificació (derivació B1) del pacient P2, amb la indicació dels complexos QRS detectats. . . . .* 135
- 5.20 *Finestres per a un batec del pacient P2: a) baixa amplificació. b) alta amplificació. . . . .* 136

5.21	<i>Estimació de les components deterministes mitjançant FA (pacient P2): a) baixa amplificació. b) alta amplificació (derivació B1). c) alta amplificació filtrat passa-banda (100-300 Hz).</i>	137
5.22	<i>Estimació de les components deterministes mitjançant FA (pacient P2): a) baixa amplificació. b) alta amplificació (derivació B2). c) alta amplificació filtrat passa-banda (100-300 Hz).</i>	138
5.23	<i>Detall del senyal d'alta amplificació (derivació B1) del pacient P2, estimat mitjançant FA i filtrat amb les bandes: a) 100-300 Hz. b) 100-150 Hz. c) 150-200 Hz.</i>	140
5.24	<i>Detall del senyal d'alta amplificació (derivació B1) del pacient P2, estimat mitjançant FA i filtrat amb les bandes: a) 200-250 Hz. b) 250-300 Hz. c) 300-350 Hz.</i>	141
5.25	<i>Detall del senyal d'alta amplificació (derivació B1) del pacient P2, estimat mitjançant FA i filtrat amb les bandes: a) 80-300 Hz. b) 150- 250 Hz. c) 300-500 Hz.</i>	142
5.26	<i>Senyal baixa-amplificació (derivació B1) del pacient P3, amb la indicació dels complexos QRS.</i>	143
5.27	<i>Finestra baixa amplificació per a un batec del pacient P3.</i>	143
5.28	<i>Finestra alta amplificació per a un batec del pacient P3.</i>	144
5.29	<i>Estimació de les components deterministes mitjançant FA (pacient P3): a) baixa amplificació. b) alta amplificació (derivació B1). c) alta amplificació filtrat passa-banda (100-300 Hz).</i>	145
5.30	<i>Estimació de les components deterministes mitjançant FA (pacient P3): a) baixa amplificació. b) alta amplificació (derivació B3). c) alta amplificació filtrat passa-banda (100-300 Hz).</i>	146
5.31	<i>Senyal baixa-amplificació (derivació B1) del pacient C1, amb la indicació dels complexos QRS.</i>	147
5.32	<i>Finestra baixa amplificació per a un batec del pacient C1.</i>	147



- 5.33 *Finestra alta amplificació per a un batec del pacient C1. . . . . 148*
- 5.34 *Estimació de les components deterministes mitjançant FA (pacient C1):  
a) baixa amplificació. b) alta amplificació (derivació B2). c) alta  
amplificació filtrat passa-banda (100-300 Hz). . . . . 149*
- 5.35 *Estimació de les components deterministes mitjançant FA (pacient C1):  
a) baixa amplificació. b) alta amplificació (derivació B3). c) alta  
amplificació filtrat passa-banda (100-300 Hz). . . . . 150*
- 5.36 *Senyal baixa-amplificació i alta-amplificació (derivació B1) del pacient  
PB1, amb la indicació dels complexos QRS detectats. . . . . 152*
- 5.37 *Senyals obtinguts en les diferents etapes de detecció de QRS. a) ECG  
original. b) ECG filtrat passa-banda. c) Sortida del bloc de filtrat de  
mitjana mòbil. . . . . 153*
- 5.38 *Finestra baixa amplificació per a un batec sinusal del pacient PB1. . . 154*
- 5.39 *Finestra alta amplificació per a un batec sinusal del pacient PB1. . . . 154*
- 5.40 *Finestra baixa amplificació per a una extrasístole del pacient PB1. . . 155*
- 5.41 *Finestra alta amplificació per a una extrasístole del pacient PB1. . . . 155*
- 5.42 *Estimacions de les components deterministes del pacient PB1 en el  
senyal de baixa amplificació, i per al QRS sinusal. S'han obtingut  
amb els mètodes: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en  
coincidència. c) doble nivell. . . . . 157*
- 5.43 *Estimacions de les components deterministes del pacient PB1 en el  
senyal de baixa amplificació, i per a l'extrasístole. S'han obtingut  
amb els mètodes: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en  
coincidència. c) doble nivell. . . . . 158*
- 5.44 *Estimacions de les components deterministes del (pac. PB1) en  
el senyal d'alta amplificació (der. B1), sincronitzades respecte al  
QRS sinusal amb: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en  
coincidència. c) doble nivell. . . . . 159*

- 5.45 *Estimacions de les components deterministes del (pac. PBI) en la senyal d'alta amplificació (der. B1), sincronitzades respecte a l'extrasístole amb: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . . . 160*
- 5.46 *Estimacions de les components deterministes (pac. PBI i der. B1), en la banda 100-300 Hz i sincronitzades amb el QRS sinusal, amb : a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . . . 162*
- 5.47 *Estimacions de les components deterministes (pac. PBI i der. B1), en la banda 100-300 Hz i sincronitzades amb l'extrasístole, amb: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . 163*
- 5.48 *Finestra baixa amplificació per a l'ona P del pacient P1. . . . . 165*
- 5.49 *Finestra alta amplificació per a l'ona P, l'interval P-R i el complex QRS, del pacient P1 . . . . . 165*
- 5.50 *Estimacions de l'ona P de baixa amplificació (pac. P1), sincronitzades respecte a la pròpia ona P, amb els mètodes: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . . . 167*
- 5.51 *Estimacions de l'ona P de baixa amplificació (pac. P1) sincronitzades respecte al QRS del mateix batec, amb els mètodes: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . . . 168*
- 5.52 *Estimacions de l'ona P d'alta amplificació (pac. P1 i der. B1), sincronitzades respecte a la pròpia ona P, amb els mètodes: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . 169*
- 5.53 *Estimacions de l'ona P de baixa amplificació (pac. P1) sincronitzades respecte al QRS del mateix batec amb els mètodes: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . . . 170*

- 5.54 *Estimacions de les components deterministes (finestres alta amplificació), en la banda 100-300 Hz, sincronitzades respecte a l'ona P amb els mètodes: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . . . 171*
- 5.55 *Estimacions de les components deterministes (finestres alta amplificació), en la banda 100-300 Hz, sincronitzades respecte al QRS amb els mètodes: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . . . 172*
- 5.56 *Finestra baixa amplificació per a l'ona T del pacient P1 . . . . . 175*
- 5.57 *Estimacions de l'ona T de baixa amplificació, sincronitzades respecte a la pròpia ona T, amb els mètodes: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . . . 176*
- 5.58 *Estimacions del QRS i l'ona T d'alta amplificació (derivació B1), sincronitzades respecte a la pròpia ona T, amb els mètodes: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . 177*
- 5.59 *Estimacions de les components deterministes (finestres alta amplificació), en la banda 100-300 Hz, sincronitzades respecte a l'ona T amb els mètodes: a) filtrat adaptat. b) integrals normalitzades en coincidència. c) doble nivell. . . . . 178*

# Llista de Taules

4.1	<i>Mitjana (<math>\mu_d</math>) i desviació tipus (<math>\sigma_d</math>) dels retards obtinguts en l'estudi de simulació (complex QRS), per als diferents algorismes d'alineament i SNR. . . . .</i>	87
4.2	<i>Mitjana (<math>\mu_d</math>) i desviació tipus (<math>\sigma_d</math>) dels retards obtinguts en l'estudi de simulació (ona P), per als diferents algorismes d'alineament i SNR. . .</i>	88
4.3	<i>Mitjana (<math>\mu_\tau</math>) i desviació tipus (<math>\sigma_\tau</math>) dels retards obtinguts en el cas real (complex QRS) relatiu als punts definits pel detector de QRS , per als diferents pacients i algorismes d'alineament. . . . .</i>	95
4.4	<i>Mitjana (<math>\mu_\tau</math>) i desviació tipus (<math>\sigma_\tau</math>) dels retards obtinguts en el cas real (ona P) relatiu als punts definits pel detector de QRS , per als diferents pacients i algorismes d'alineament. . . . .</i>	98