(Creative Commons)
Aquest treball està subjecte - excepte que s'indiqui el contrari- en una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 2.5 Espanya de Creative Commons. Podeu copiar-lo, distribuir-los i transmetre'ls públicament sempre que citeu l'autor i l'obra, no es faci un ús comercial i no es faci còpia derivada. La llicència completa es pot consultar en **http://creativecommons.org/licenses/by-ncnd/2.5/es/deed.es**.

UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA

Enginyeria Tècnica en Telecomunicacions

Disseny d'un sistema de filtrat d'àudio

Alumne/a: Sergi Duró Herrero

Dirigit per: Asier Ibeas Hernandez

CURS 2009-10 (Febrer)

Agraïments

Vull agraïr el suport de la meva dona durant tota la carrera,
especialment en els moments més dificils.

També al meu tutor Asier Ibeas,
Que m'ha sapigut orientar quan més ho necessitava.

Resum

L'objectiu d'aquest projecte final de carrera és el disseny d'un filtre d'àudio. Això implica que abans de res s'haurà de fer un estudi del senyal i determinar quines seran les freqüències a filtrar.

Per tant abans de fer res, haurem d'analitzar el senyal que ens facilitaran per fer el projecte. Aquest senyal tindrà varies components freqüencial, que haurem de determinar.

Un cop sapiguem les freqüències, passarem a fer l'estudi dels filtres i les seves característiques. Amb això veurem el comportament del senyal a la sortida. No tots els filtres es comporten igual, per tant, haurem de decidir el filtre que millor s'ajusti.

Un cop ens haguem decidit per el filtre passarem a fer la implementació, amb això es vol dir que haurem de programar un microcontrolador, prèviament escollit.

Finalment, s'haurà de fer la comprovació del programa que filtri tal i com hem dissenyat al inici del projecte. Fent les proves oportunes perquè avalin el correcte funcionament.

Índex

Capítol 1. Introducció 5

1.1 Objectius 7

1.2 Establiment de fites 8

1.4 Seguiment del projecte 14

1.4 Avaluació del material 15

1.5 Incidències i riscos 16

1.6 Desenvolupament del projecte 16

Capítol 2. Estudi del senyal i especificacions del filtre 18

2.1 Taula de característiques del filtre 21

Capítol 3. Disseny i comprovació del filtre 22

3.1 Disseny de Filtres analògics 22

3.2 Disseny filtres Digitals 33

3.3 Elecció del filtre 36

3.4 Simulació del filtre 37

Capítol 4. Implementació 39

4.1 Valoració econòmica 42

4.2 Implementació del Filtre 43

4.3 Validació 45

Capítol 5. Conclusions. 46

Capítol 1. Introducció

En la era de la comunicació li donem molta importància a la qualitat del so. Volem donar una certa qualitat als dispositius audiovisuals. Actualment la majoria dels dispositius que utilitzem son digitals, això és així a causa de la digitalització. La digitalització de l'àudio ens facilitarà el tractament del senyal en cas de voler enviar-lo per Internet o reproduir àudio a través de dispositius electrònics com ara reproductors d'MP3. És a dir, que per transmetre l'àudio prèviament l'hem digitalitzat, més endavant veurem de que tracta aquest procés.

El funcionament de la digitalització està representant en el següent diagrama en blocs,

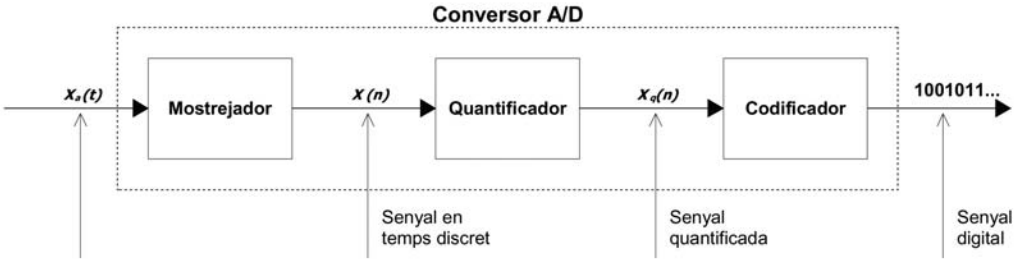


Figura 1.1 – Converso Analògic/Digital

En la entrada del converso tenim el senyal analògic, el primer bloc és el mostrejador, aquest es l'encarregat d'agafar el valor del senyal cada cert temps marcat per un rellotge de sincronisme. A la sortida del mostrejador tenim valors discrets en el temps. El senyal discret entra en el quantificador, que aquest bloc serà l'encarregat d'assignar valors finits dins d'uns marges anteriorment predefinit.
Un cop tenim el senyal discret i quantificat s'haurà de codificar. En aquest procés s'hauran de definir prèviament els criteris de codificació. És on es fa la traducció final dels valors obtinguts durant la codificació als valors digitals finals.
Per exemple, taula de valors de lectura:

Senyal Quantificada	Senyal Digital
0 volts	000
2,5 volts	010
5 volts	111

Taula 1 – Exemple de codificació

Cada cert temps es fa una lectura del senyal analògic i se li assigna un valor digital. El valor digital està entre 0 i 1.

També hi han molts medis de transmissió d'àudio, per exemple amb l'aparició dels altaveus wireless o el clàssic cable de coure.

El senyal de sincronització serà el temps de mostratge, quan més ràpid sigui la freqüència millor qualitat, ja que disposarem de més informació i tindrem menys pèrdua de senyal.

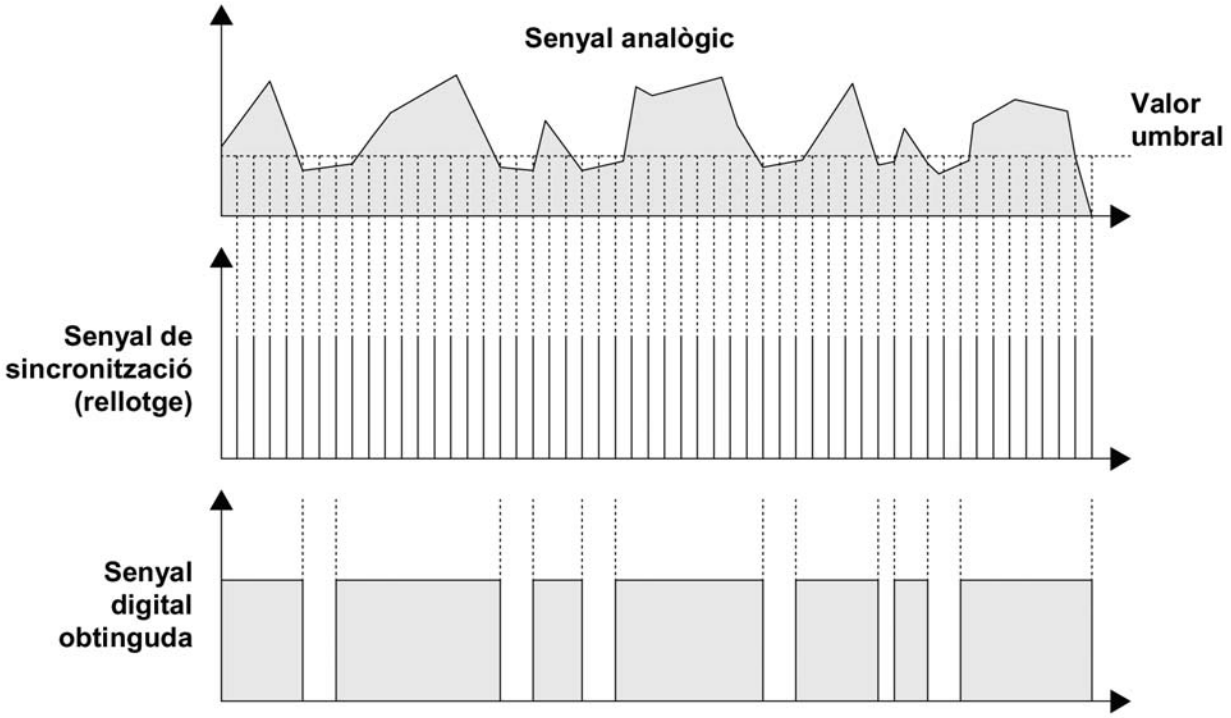


Figura 1.2 – Senyals

En la figura 1.2, la primera gràfica es pot veure un senyal analògic en la escala temporal. La senyal de sincronització ens marcarà el temps en el qual volem fer la captura del senyal, llegirem el valor analògic i farem la traducció a un valor digital. Si el valor llegit està per sota del llindar marcat, el valor digital serà zero, i si el valor està per sobre aleshores el valor digital serà ú.

En l'atmosfera que vivim hi han molts senyals, d'alta, mitja i baixa freqüència. Aquestes freqüències poden interferir en la transmissió de l'àudio. Un clar exemple que us haurà passat algun cop, és quan us deixeu un mòbil prop d'un altaveu aquest produeix una interferència. La senyal del telèfon es suma al senyal de l'altaveu. Podríem definir soroll, com aquell senyal no desitjat i que es sumat al senyal original, produint un resultat poc desitjable.

En aquest projecte tractarem d'analitzar els senyals d'àudio per tal de separar el senyal útil del soroll. La manera de fer això serà dissenyant filtres. La funció d'un filtre és separar el senyal bo del soroll, per tal d'eliminar les interferències. Tenim un senyal d'àudio i el que volem fer és filtrar les senyals mes grans de 20KHz

Això ens marcarà els següents objectius:

1.1 Objectius

Farem una breu explicació de quins son els objectius que volem assolir amb la realització del Treball Final de Carrera.

1. **Estudi de les senyals** d'àudio en temps discret. Analitzarem espectralment el senyal per saber els senyals que haurem de filtrar. Cercarem requisits del filtre establint les bandes de pas del senyal i l'afectació del soroll
2. **Anàlisi i síntesi de filtres**. Analitzarem diferents tipus de filtres i finalment dissenyarem un filtre amb el compliment dels requisits de l'enunciat. Compararem els diferents tipus de filtres i seleccionarem el que s'ajusti als requisits. Implementarem simulacions.
3. **Implementació del filtre dissenya**t en un microcontrolador i disseny del programa en llenguatge C.
4. **Test i simulació del filtre.** Un cop s'ha dissenyat el filtre es faran un seguit de proves per veure el correcte funcionament. Validarem el filtre un cop superades les proves de test.

1.2 Establiment de fites

Establirem totes les tasques necessàries per el desenvolupament del projecte d'una manera ordenada. Dins de cada tasca hi haurà una breu explicació del que representa.

Tasca 1 - Preparació del TFC
En aquest punt llegirem el pla docent, els requisits i les eines necessàries per el desenvolupament de l'assignatura. Recopilarem tota la informació necessària, l'enunciat, software necessari, lectura d'enunciats anteriors, síntesi global del temps que es disposa. També analitzarem el temps que marca l'enunciat, tenint en compte que les entregues son els dies: 9/03, 13/4 i 18/5. A part d'aquestes dates d'entregues de les pacs, també tenim l'entrega del projecte i el debat.

Tasca 2 - Posta a punt del programari
En aquest punt buscarem les eines necessàries (el programari) i executarem la instal·lació i configuració. També llegirem els manuals dels diferents programaris instal·lats, ja que molts d'ells els utilitzarem per primera vegada.
Tant si es fa servir el Matlab[1], Mathematica[2], SciLab[3], ens haurem de llegir els manuals ja que encara que s'hagin utilitzat en altres assignatures, no sempre s'han utilitzat per el tractament de senyals.

Tasca 3 - Definició d'especificacions del filtre
Analitzarem el fitxer <signal.mat> per establir el tipus de filtre. En aquest apartat estudiarem quines característiques ha de tenir el filtre per tal que aconseguim un filtratge del senyal original.

a) <u>Realitzar l'anàlisi de Fourier</u>

Utilitzarem matlab per realitzar transformades de Fourier

b) <u>Especificar la resposta en magnitud</u>

Determinar la resposta de fase desitjada que serà de fase lineal, per eliminar la presència de distorsió de fase.

Buscarem les respostes del senyal, l'ample de banda,etc..

S'haurà de aconseguir les freqüències de tall, la banda de pas, el tipus de filtre (passabaix,passa-banda,...), i el guany.

Tasca 4 - Elecció del tipus de filtre

Dins d'aquesta fita haurem de seleccionar el tipus de filtre més adequat, tenim de dos tipus d'analògics i digitals. Comentarem quin dels dos tipus és més adient a les nostres

necessitats. S'ha de tenir en compte moltes variables, el cost del disseny, la facilitat de la implementació i el millor filtratge.

Tasca 5 - Disseny del filtre

Un cop escollit el filtre (analògic/digital) estudiarem les alternatives per el disseny. No hi ha una solució única, per tant s'hauran de buscar totes les possibilitats.

Tots aquest càlculs i solucions s'hauran de donar amb expressions matemàtiques, és a dir, la funció de transferència, una resposta impuls, etc..

a) Estudi de les diverses estratègies de disseny
b) Disseny del filtre

Tasca 6 - Validació i redisseny del filtre dissenyat

Un cop dissenyat el filtre s'haurà de verificar el funcionament emprant el fitxer font penjat al tauló. S'utilitzarà el programari Matlab. En aquest apartat podem tornar enrere per redissenyar el filtre.

Tasca 7 - Implementació del filtre
Un cop tinguem tots els valors passarem a fer la implementació del filtre

a) Analògic

Realitzarem els esquemes electrònics i el disseny de la placa de circuit imprès. Utilitzarem programari específic per aquesta funció.

b) Digital

Haurem de triar el microcontrolador necessari per poder realitzar la seva programació

1.3 Planificació

Establirem un calendari per el compliment de les fites marcades anteriorment. Utilitzarem el Microsoft Project [4] per veure l'encadenament de les tasques. Hi han algunes tasques que es podrien fer paral·lelament, mentre que n'hi han d'altres que han d'esperar la finalització d'altres tasques per poder iniciar-les. La durada de les tasques es pot veure en l'apartat 1.3 Calendari, on es defineix l'inici i el final de cada tasca.

Tasca	Precedència
0.-Definició del projecte	
1.-Pla de treball	
1.1.-Lectura enunciat i recopilatori de material necessari	
1.2.-Estimació de projecte, anàlisi temporal i repartiment de tasques	1.1
1.3.-Trobada presencial, assistència a la trobada presencial. Aclariment de dubtes	
1.4.-Dissenyar taula temporal amb la definició de tasques	1.2
1.5.-Redactar el pla de treball	1.4
2.-Lliurament PAC1: Pla de treball	1.5
3.-PAC2	2
3.1.-Preparació PAC2, recopilatori informació i cerca de documentació	
3.2.-Repàs del material d'altres assignatures	
3.3.-Lectura de manuals de Matlab per fer-lo funcionar	
3.4.-Anàlisi matemàtic del senyal	3.2, 3.3
3.5.-Definició del filtre	3.3
3.6.- Anàlisi del possibles errors	3.5 3.4
3.7.-Disseny del Filtre	3.6
3.8.-Redactar PAC2	3.4.3.5 3.6 3.7
4.-PAC3	
4.2.-Proves del filtre utilitzant el fitxer matlab	4.1
4.3.-Analitzar els diferents resultats obtinguts	4.2
4.4.-Confirmar i validar els resultats anteriors	4.3
4.5.-Implementació del filtre	4.1,4.2,4.3,4.4
4.6.-Redactar PAC3	4.5
5.-Conclusions	
6.-Revisió dels continguts, esquemes, ortografia,etc..	4
7.-Preparació de les parts que seran útils a la presentació	5
8.-Presentació: Preparació de document PowerPoint	7
9.-Lliurament de la memòria i la presentació	8
10.-Debat: Entre els dies 21 i 23 de juny hi ha un debat virtual	9

1.3.1 Horaris

Calcularem les hores que hi podré, de dilluns a divendres (color groc) dedicaré al projecte hora i mitja diària. I els caps de setmana de 3 a 5 hores.
La mitja de temps que dedicaré al projecte seran de 10 a 12 hores setmanals, tenint en compte que centraré part de l'estudi del projecte els caps de setmana.

La entrega de les pacs està en vermell.

Febrer 2010

DL	DM	DX	DJ	DV	DS	DU
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28

Març 2010

DLL	DM	DX	DJ	DV	DS	DU
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

Abril 2010

DLL	DM	DX	DJ	DV	DS	DU
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

Maig 2010

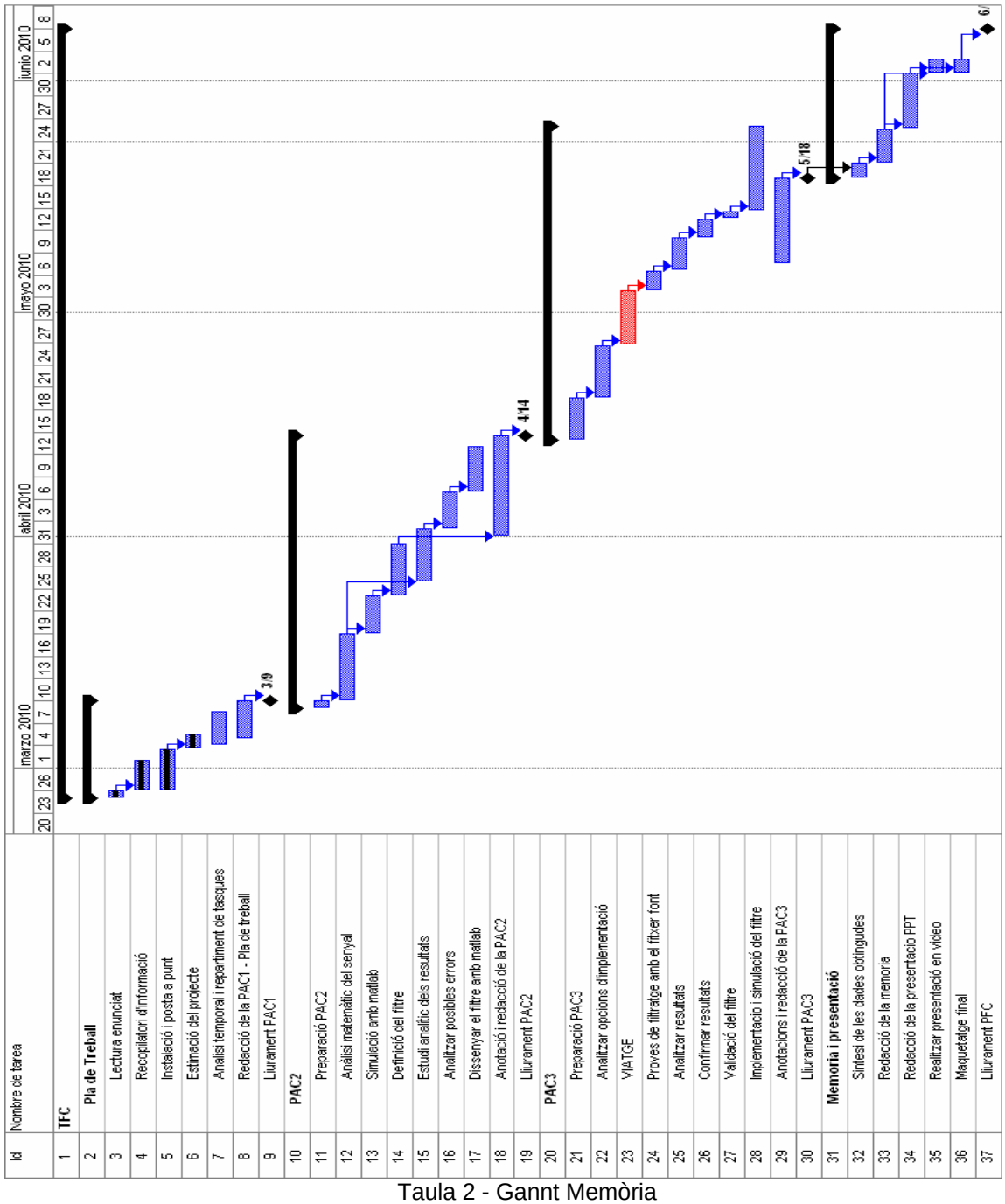
DLL	DM	DX	DJ	DV	DS	DU
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24 31	25	26	27	28	29	30

Juny 2010

DLL	DM	DX	DJ	DV	DS	DU
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

1.3.2 Gannt

Adjuntem el diagrama de Gannt amb les fites, període de tasques per el desenvolupament del pla de treball:



Taula 2 - Gannt Memòria

1.3.3 Calendari

Com a conseqüència del diagrama de Gannt, tenim la següent estructura del calendari, el qual seguirem segons anem finalitzant les tasques tal i com estan en el diagrama. En cas que no es compleixin els temps, s'haurà d'especificar en les tasques i reajustar els temps.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
TFC	**146 días**	**jue 2/25/10**	**lun 6/7/10**
Pla de Treball	**18 días**	**jue 2/25/10**	**mar 3/9/10**
Lectura enunciat	2 días	jue 2/25/10	jue 2/25/10
Recopilatori d'informació	4 días	vie 2/26/10	lun 3/1/10
Instalació i posta a punt	7 días	vie 2/26/10	mié 3/3/10
Estimació del projecte	4 días	mié 3/3/10	vie 3/5/10
Analisi temporal i repartiment de tasques	5 días	jue 3/4/10	lun 3/8/10
Redacció de la PAC1 - Pla de treball	6 días	vie 3/5/10	mar 3/9/10
Liurament PAC1	0 días	mar 3/9/10	mar 3/9/10
PAC2	**53 días**	**mar 3/9/10**	**mié 4/14/10**
Preparació PAC2	2 días	mar 3/9/10	mar 3/9/10
Anàlisi matemàtic del senyal	14 días	mié 3/10/10	jue 3/18/10
Simulació amb matlab	6 días	vie 3/19/10	mar 3/23/10
Definició del filtre	10 días	mié 3/24/10	mar 3/30/10
Estudi analític dels resultats	10 días	vie 3/26/10	jue 4/1/10
Analitzar posibles errors	6 días	vie 4/2/10	mar 4/6/10
Dissenyar el filtre amb matlab	8 días	mié 4/7/10	lun 4/12/10
Anotació i redacció de la PAC2	19 días	jue 4/1/10	mié 4/14/10
Lliurament PAC2	0 días	mié 4/14/10	mié 4/14/10
PAC3	**60 días**	**mié 4/14/10**	**mar 5/25/10**
Preparació PAC3	7 días	mié 4/14/10	lun 4/19/10
Analitzar opcions d'implementació	10 días	lun 4/19/10	lun 4/26/10
VIATGE	11 días	lun 4/26/10	lun 5/3/10
Proves de filtratge amb el fitxer font	5 días	mar 5/4/10	jue 5/6/10
Analitzar resultats	5 días	jue 5/6/10	lun 5/10/10
Confirmar resultats	5 días	mar 5/11/10	jue 5/13/10
Validació del filtre	2 días	jue 5/13/10	vie 5/14/10
Implementacio i simulació del filtre	15 días	vie 5/14/10	mar 5/25/10
Anotacions i redacció de la PAC3	15 días	vie 5/7/10	mar 5/18/10
Lliurament PAC3	0 días	mar 5/18/10	mar 5/18/10
Memoria i presentació	**28 días**	**mié 5/19/10**	**lun 6/7/10**
Sintesi de les dades obtingudes	4 días	mié 5/19/10	jue 5/20/10
Redacció de la memoria	5 días	vie 5/21/10	mar 5/25/10
Redacció de la presentacio PPT	11 días	mar 5/25/10	mar 6/1/10
Realitzar presentació en video	4 días	mié 6/2/10	jue 6/3/10
Maquetatge final	4 días	mié 6/2/10	jue 6/3/10
Lliurament PFC	0 días	lun 6/7/10	lun 6/7/10

Taula 3 - Calendari

1.4 Seguiment del projecte

Tasca 1 i 2, 8 de Març
Seguin el calendari previst per a la execució d'aquestes dues tasques, que podem dir que son prèvies a l'inici del projecte pròpiament dit, no s'ha plantejat cap entrebanc destacable.
L'únic que he assignat dos dies menys en la recopilació d'informació però els he utilitzat per el programari. Finalment el resultat final no s'ha vist afectat.

Tasca 3, 18 de març
Hi han hagut canvis temporals en la tasca 3, Vaig tenir un parell de dies de parada. Aquest dos dies els vaig haver de recuperar, forçant ampliar-me l'horari d'estudi.

Tasca 4, 8 al 14 d'abril
Ha sorgit un imprevist d'un viatge no esperat, he hagut i hauré de modificar algunes de les tasques que anteriorment comptava amb més temps. Aquest imprevist, m'ha afectat l'entrega final de la PAC2 i segurament m'afectarà a l'inici de la PAC3, ja que es quan realitzo el viatge.
Des del 25 d'abril al 1 de Maig, vaig estar de viatge de feina (Taiwan), això i el jet-lag ha provocat un desplaçament de les tasques de manera considerable. He hagut de replantejar els nous *timmings* per tal que no es vegi afectada la data d'entrega de la pac3. El pla de contingència que he aplicat per tal que l'impacta no fos molt crític, va ser treballar a l'hotel amb el portàtil en les hores lliures.

Tasca 5, 14 d'abril al 18 de maig
Iniciat el procés d'implementació encara arrossego una mica el retard produït tant per el viatge, com l'altre assignatura i també per la feina. He modificat el pla de treball, tot i fer l'entrega la implementació no l'he pogut dur a terme. Actualment estic en la fase de programació. Ja tinc clar de quin sistema faré servir, però estic immers en l'entorn de programació del MPLAB[5].

1.4 Avaluació del material

Avaluarem el material necessari per poder implementar el projecte, ja sigui maquinari com programari.

- **Coneixements previs**

Tal i com especifica l'assignatura s'han de tenir coneixements de sistemes lineals, sistemes electrònics digitals i a més si triem el filtre digital requerirem de fonaments de programació per poder programar el microcontrolador.

- **Requeriments de maquinari**

A part de l'ordinador com a eina principal de treball, també s'hauran de disposar eines per poder desenvolupar la pràctica.

- **Requeriments de programari**

Aquest projecte té un alt grau de càlculs, per poder fer les simulacions haurem de disposar del MatLab, en el seu defecte disposarem de SciLab.

Un cop fetes les proves matemàtiques haurem de simular el circuit, per això tindrem programari per poder fer les simulacions com pot ser EAGLE[6] versió estudiant. Si el filtre és digital el programarem en llenguatge C utilitzant el MPLAB de lliure distribució.

  - **Matlab**: L'utilitzarem per l'estudi del senyal i el seu comportament. També el farem servir per dissenyar el filtre i veure el resultat teòric.
  - **MPLAB**: Ens permetrà, juntament amb el mòdul de programació C30, la simulació i programació del integrat que escollim.
  - **Proteus[7]**: Implementarem la simulació, un cop tinguem el programa compilat. Aquest programari l'utilitzarem per simular i veure els resultats del filtre.

1.5 Incidències i riscos

Analitzarem el possibles riscos i problemes que puguin sorgir durant l'elaboració del projecte. Al tractar-se de riscos, s'han d'avaluar el màxim de possibles entrebancs per evitar un retard. És difícil contemplar-los tots, ja que encara no s'han produït i tampoc sabem que passarà en un futur. Però s'intentarà acorar al màxim.

Incidència	Pla de contingència
Compromisos personals (sopars, aniversaris,..)	Sempre pot sorgir algun compromís, el pla seria distribuir el temps dedicat al compromís entre setmana, ja que tinc marge de maniobra.
Viatges laborals	En cas de realitzar un viatge laboral, disposo d'ordinador portàtil on hi duc el projecte, en les esperes es pot desenvolupar o si mes no dedicar-hi temps.
Error en planificació	Si no dona temps, puc demanar festa a la feina.
Incidències (Internet, ordinador,...)	En cas de tall d'Internet, disposo d'una biblioteca a prop de casa. Sinó a la feina. Disposo de tres ordinadors, faig copies de seguretat per duplicat cada vegada que modifico el projecte.

1.6 Desenvolupament del projecte

Finalment el projecte ha canviat una mica respecte la planificació original, tenint en compte que hi ha hagut imprevistos, i he hagut d'aplicar alguns plans de contingència. Per tal de recuperar els endarreriments soferts durant el projecte.
Les incidències les he tingut en la part final del projecte, quan van sorgir problemes perquè vaig haver de fer un viatge que no estava previst, ni tant sols en la planificació.
El pla de contingència, vaig haver de treure hores, comprimir l'estudi, i deixar de banda, l'altre assignatura per tal de poder establir l'horari del pla original.
He fet canvis en el diagrama de Gannt, per tal d'ajustar a la nova previsió.

1.7 Estructura de la memòria

En el capítol 1, farem una petita introducció del senyal, i que s'entén per la digitalització, que son les freqüències de mostreig. I la importància del filtratge.

En el capítol 2, podrem veure l'estudi del senyal del qual hem de filtrar. També tindrem una introducció dels filtres analògics i digitals. Parlarem dels diferents tipus d'aproximacions, amb els corresponents anàlisis matemàtics i gràfiques.

En el capítol 3, dissenyarem i comprovarem el disseny del filtre. En el disseny del filtre veurem diferents aproximacions teòriques.

En el capítol 4, s'implementarà el filtre obtingut en l'apartat anterior, amb les seves corresponents comprovacions.

En el capítol 5, les conclusions. Una reflexió sobre el que ha estat la realització d'aquest projecte.

Capítol 2. Estudi del senyal i especificacions del filtre

Per poder determinar el tipus de filtre a amprar farem l'estudi del senyal i analitzarem l'espectre de freqüències. Un cop tinguem les freqüències, podrem determinar la funció del filtre teòric per saber quina funció de transferència necessita.

Quan tenim el senyal temporal, el primer que hem de fer es analitzar-lo espectralment per tal d'obtenir les freqüències que apareixen en el senyal. Per obtenir les components freqüencials el primer que hem de fer és la Transformada Discreta de Fourier (TDF).

La TDF ens servirà per analitzar les freqüències que hi han en el senyal mostrejat. La transformada de Fourier discreta la podrem calcular d'una forma eficient mitjançant l'algorisme FFT. Conceptualment l'operació que fem es pot veure podem veure l'equació de transformació (1)

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi j}{N}nk} \qquad k = 0,\ldots,N-1 \quad (1)$$

El resultat de Xk seran les components freqüencial i el seu mòdul. El resultat final serà la gràfica de la figura 2.1, podem veure totes les components freqüencials en mòdul. A partir d'aquí és quan tenim tota la informació del senyal principal i ara es quan ens centrem en l'estudi del filtre.

Es pot veure que hi han components freqüencials per sobre de les freqüències de 20KHz, aquestes son les freqüències que ens interessen filtrar.

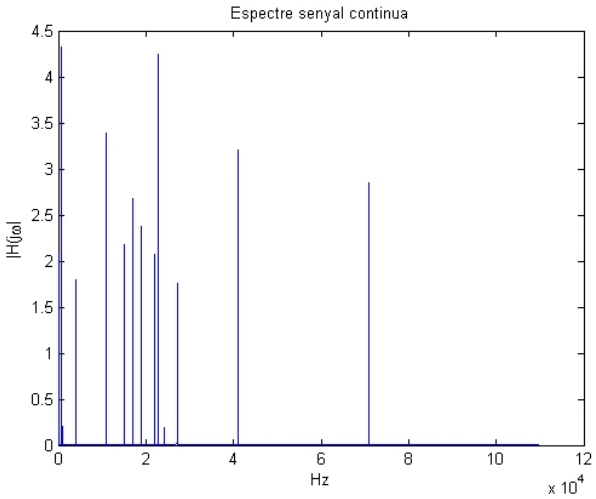


Figura 2.1 – Gràfiques espectrals.

La principal dificultat que ens trobem en aquest anàlisi, és la distancia entre les freqüències al voltant dels 20kHz. Els components del senyal estan molt pròxims i això ens determinarà el fet de triar un tipus de filtre. Per tant ens interessa que la distància de transició sigui el més estret possible.

Volem dissenyar un filtre passabaixes, explicarem quins criteris ens serviran per escollir o descartar el disseny del filtre. Un filtre ideal no es realitzable degut a que els components no es comporten de manera ideal. És a dir, un component passiu es veu influenciat per la temperatura i per el temps que porta en funcionament, modificat els resultats a mida que s'escalfa. En la figura 2.2, es pot veure la plantilla d'un filtre passa-baixes. Haurà de complir que la freqüència de $F_c > \omega_p$ i $F_c < \omega_a$, sent la Fc la freqüència de tall. La freqüència de tall és aquella freqüència per la qual la seva amplitud es redueix a $1/\sqrt{2}$ del valor màxim. En el cas que hi hagi simetria, es donen dues freqüències de tall, en canvi en un filtre passa-baixes i un filtre passa-altes només tenim una sola freqüència de tall. El significat de la caiguda d'$1/\sqrt{2}$, indicarà que la potència s'ha reduït a la meitat.

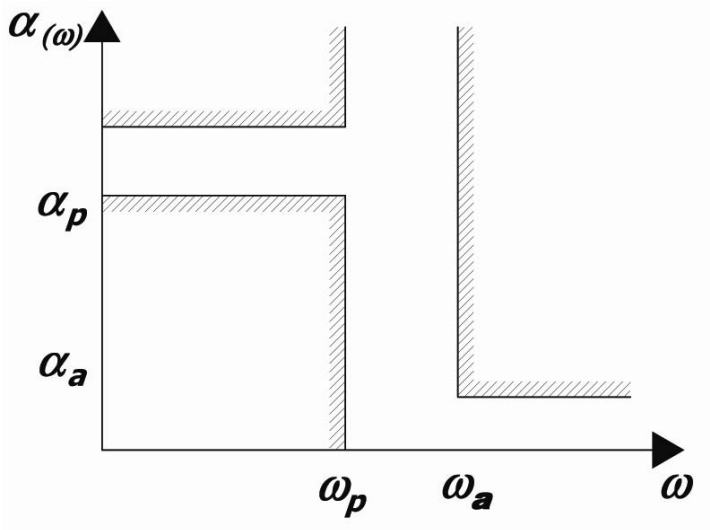
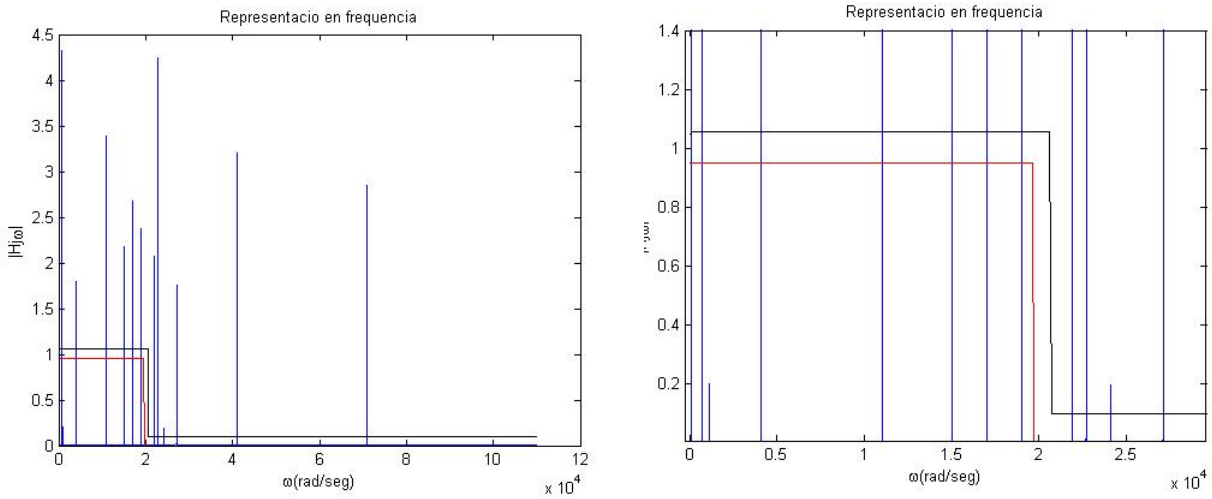


Figura 2.2 – Esquema de càlcul del Filtre

α_p, es el punt en el qual l'atenuació de la banda de pas esta en 3dB, per tant ens interessa que la corba d'atenuació creui aquest punt i que la seva atenuació sigui de 3dB. En quan a α_a és el punt d'atenuació de la freqüència ω_a, on l'atenuació val 30dB. La diferència entre ω_p i ω_a es la banda de transició, al dissenyar el filtre es important que la caiguda de la transició estigui dins d'aquest dos paràmetres.

En la figura 2.3, es pot veure l'especificació del filtre (línies vermella i negre) amb aquesta especificació es pretén eliminar totes les components que no estiguin dins del

rang de les freqüències d'àudio (20-20000Hz). La principal dificultat que ens podem trobar es que la zona de transició és molt estreta i ens limitarà molt a l'hora de dissenyar el filtre. És un punt important a tenir en compte.



a) b)

Figura 2.3 – Resposta en freqüència **a**, ampliació **b**

La dificultat que se'ns planteja serà aconseguir una corba de resposta el més pronunciada possible per tal que compleixi el requisit de la freqüència de tall. Això farà que el grau dels filtres sigui molt alt.

A l'hora de dissenyar un filtre ens interessa que sigui amb unes característiques ideals que s'han mostrat a la figura 2.4, per exemple, però com que això no és possible degut a que els components passius d'alguns filtres analògics es poden veure alterades algunes funcions a causa de la temperatura i interferències. Així doncs treballarem amb el que anomenem aproximacions. Aquestes intentaran ajustar-se al màxim a les característiques del filtre ideal.

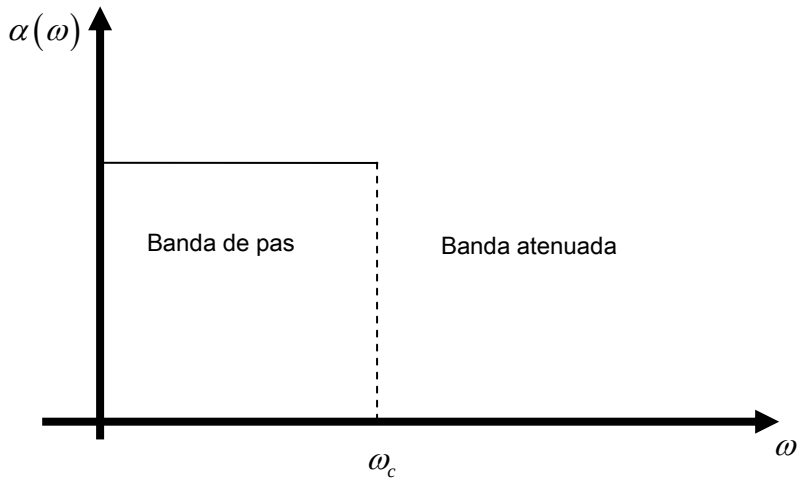


Figura 2.4 – Filtre ideal passa-baixes

La teoria de l'aproximació ha de donar la funció $|H(j\omega)|$ que respectant els límits d'error, verifiqui les condicions establertes del filtre que volem dissenyar.

A continuació voldrem dissenyar un filtre igual al de la figura 2.4, però com que no serà possible degut a les limitacions dels components, i les distorsions creades per els sistemes passius, aleshores treballarem amb aproximacions. De manera que s'ajustarà al màxim al filtre ideal.

2.1 Taula de característiques del filtre

Les característiques que volem dissenyar del filtre son les següents.

1. La freqüència de tall serà Fc=20kHz
2. Definir l'amplada de la zona de transició (ω_a, ω_p)
3. L'atenuació en la banda d'atenuació serà de 30 dB.
4. L'atenuació en la banda de pas és d'1dB.

Capítol 3. Disseny i comprovació del filtre

En aquest capítol veurem el disseny dels filtres, tant analògics com digitals. Es farà la simulació dels resultats dels filtres per determinar el correcte funcionament.

3.1 Disseny de Filtres analògics

En aquest capítol veurem diferents tipus de filtres, separats en dos grans grups. Filtres analògics i filtres digitals, veurem les principals característiques de cadascun. En el nostre cas en contret, haurem de dissenyar un filtre passa-baixes, que compleixi les especificacions del capítol 2.

Els passos a seguir per a l'estudi d'un filtre son els següents:

1.- Definirem les especificacions del filtre, freqüències de tall, atenuació amplada de la banda de pas.

2.- Convertirem el filtre a passa-baixes. Per facilitar el disseny de qualsevol filtre, el transformarem a un filtre passa-baixes. És un mètode útil i senzill per generalitzar els resultats obtinguts amb filtres passabaixes a tipus mes complicats de filtres. Per tal d'aconseguir això haurem d'aplicar transformacions.

3.-En el nostre cas en concret no caldrà fer transformacions, ja que el filtre a dissenyar és un passa-baixes.

Com s'ha vist en el capítol 2, un filtre ideal no es pot realitzar, ens interessarà treballar amb aproximacions polinòmiques que és la manera més fàcil de representar la funció característica d'un filtre

Normalment farem les aproximacions que establim per a un filtre passabaixes sobre un dels paràmetres, mòdul i fase, mentre que l'altre l'intentarem solucionar posteriorment, si es necessari amb equalitzadors. Segons aquest paràmetres podem definir dos criteris de disseny de filtres analògics. Les aproximacions que fem utilitzant el paràmetre del mòdul seran les aproximacions Butterworth i Chebychev, mentre que si utilitzem el paràmetre de la fase l'aproximació serà la Bessel, que te resposta lineal.

3.1.1 Aproximació o filtres de Butterworth

Un dels mètodes d'aproximació és l'anomena't Butterworth que és un tipus d'aproximació polinòmica, veure Annex I. En l'aproximació de Butterworth agafem com a funció de transferència. La funció de transferència es la resposta d'un sistema en relació al seu quocient. L'expressió següent, és la funció de transferència:

$$F\left(\omega^2\right) = K\frac{\left(\omega^2 - \omega_0^2\right)^n}{D\left(\omega^2\right)}$$

fent que el denominador valgui la unitat, $D\left(\omega^2\right) = 1$. I traslladem a l'origen, això farà que $\omega_0 = 0$ d'aquesta manera la funció característica que obtenim pel mètode Butterworth sigui:

$$F\left(\omega^2\right) = K\omega^{2n}$$

Ateses unes especificacions concretes, $\alpha_p, \alpha_a, \omega_p$ i ω_c la determinació de la constant de la funció ,K, i de l'ordre del filtre n, resulta senzilla. La plantilla la podem observar en la figura següent.

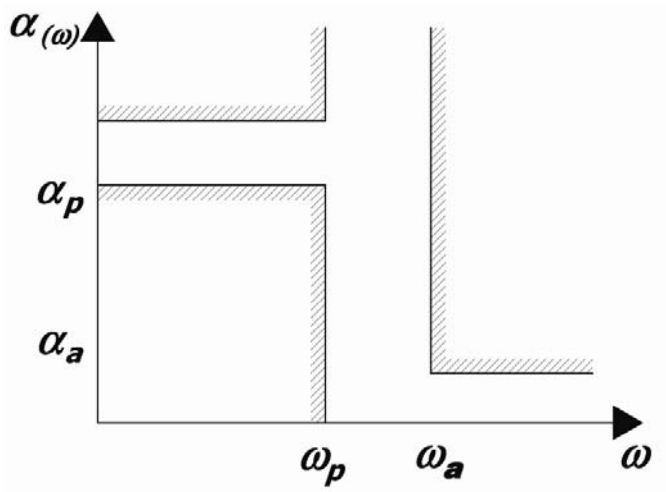


Figura 3.1 – Plantilla filtre passa-baixes

Els filtres de Butterworth tenen la propietat de tenir una corba de resposta plana al volten de la freqüència zero. Aquesta característica es podrà veure en les gràfiques següents. Com es pot veure en la figura 3.4 les respostes en la banda de pas son planes.

Com a conclusió, tindríem les següents característiques dels filtres Butterworth:

- Estan basats en els polinomis de Butterworth (annex I)
- No presenten oscil·lació en la banda de pas
- La pendent es de -20dB/dècada per cada ordre , aleshores, un filtre d'ordre 8 té 160dB/dècada

Calcularem l'aproximació del filtre de Butterworth:

Podem cercar l'ordre amb les dades teòriques del filtre, ens donarà una aproximació de l'ordre que s'haurà d'implementar. Els valors omega (figura 3.1) estan expressats en dB.

Sabem que a la banda de pas ha d'estar per sobre del valor de α_p i que la banda atenuada ha d'estar per sota de α_a (figura 3.1). Per tant tenim, la funció característica per la banda de pas i per la banda atenuada:

- Banda de pas: $F\left(\omega^2\right) \leq 10^{\frac{\alpha_p}{10}} - 1$

- Banda atenuada: $F\left(\omega^2\right) \geq 10^{\frac{\alpha_a}{10}} - 1$

Aquestes dues equacions s'han de complir per tots els punts de les bandes respectives. Els punts més conflictius son, veient la plantilla, $\alpha_p, \alpha_a, \omega_p$ i ω_c en aquest punts avaluarem la resposta en amplitud del filtre per tal que satisfaci les condicions mostrades en la banda de pas i la banda atenuada.

Aquestes dues equacions s'han de complir per les respectives bandes. Substituint la funció característica pel seu valor corresponent en cada cas, en els punts extrems.

$$K\omega_p^{2n} \leq 10^{\frac{\alpha_p}{10}} - 1$$

$$K\omega_a^{2n} \geq 10^{\frac{\alpha_a}{10}} - 1$$

Ens interessa trobar el valor d'n (sent n el número del grau), per tant dividirem les equacions:

$$\left(\frac{\omega_p}{\omega_a}\right)^n \leq \sqrt{\frac{10^{\frac{\alpha_p}{10}} - 1}{10^{\frac{\alpha_a}{10}} - 1}}$$

Apliquem logaritmes:

$$K_S = \frac{\omega_p}{\omega_a} = \frac{2\pi 19500}{2\pi 20500} = 0.95$$

$$K_D = \sqrt{\frac{10^{\frac{\alpha_a}{10}} - 1}{10^{\frac{\alpha_p}{10}} - 1}} = \sqrt{\frac{10^{0.1} - 1}{10^2 - 1}} = 0.051141$$

$$n > \frac{\ln(K_D)}{\ln(K_S)} = \frac{\ln(0.051141)}{\ln(0.95)} = 58.2 \Rightarrow n \geq 59$$

Quan obtinguem el resultat n, s'haurà d'agafar l'enter superior immediat i tindrem l'ordre. Teòricament hem trobat el resultat que l'ordre del filtre butterworth és de 59.

Quan més alt es l'ordre del filtre més ràpida és la caiguda en la banda de transició.

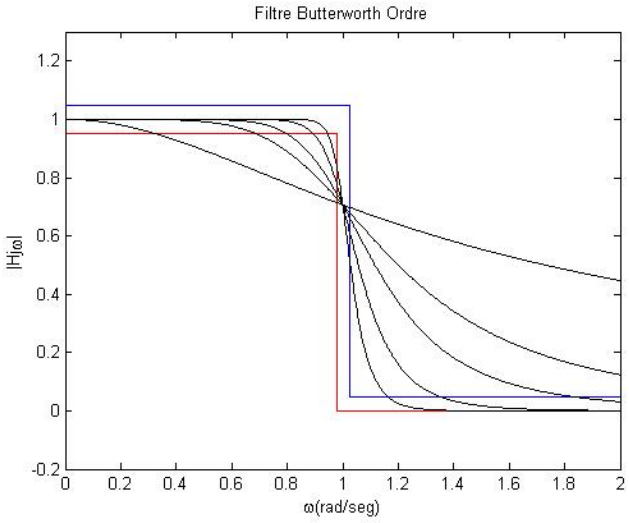


Figura 3.4 – Filtre butterworth normalitzat

A priori pràcticament el podem descartar pel alt grau del filtre, això dificultaria la construcció física del filtre per el nombre de components que s'hauria d'utilitzar. Quants més components introduïm al filtre, mes difícil es farà la estabilitat del mateix, hi haurà més possibilitat d'introduir soroll, cosa que no ens interessa. Els components es veuen influenciats a mida que s'escalfen, van perden les propietats inicials, i es veu alterat el seu funcionament òptim.

Diagrama de Fases

El desfasament es produeix quan hi ha un desplaçament del senyal. La projecció del senyal sinusoïdal projecte un recorregut circular, i en aquest exemple es pot veure que hi ha un desplaçament β que es correspon amb un desfasament del senyal, desplaçament cap a al dreta de mateix 45 graus.

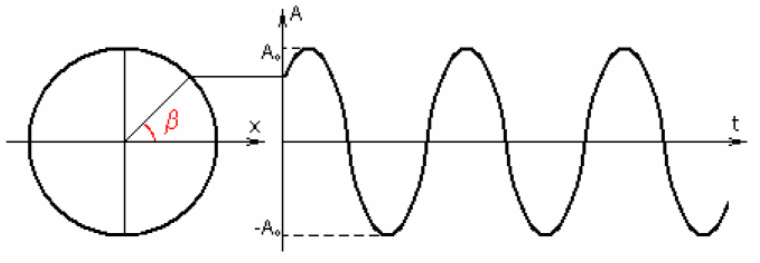


Figura 3.5 – Desplaçament del senyal 45 graus

Que hi hagi un desfasament en el filtre implica que en dos senyals abans d'entrar estaven en fase, però al passar per el filtre aquest es desfasen, fent que la suma dels senyals a la sortida no sigui igual que l'entrada.

En els apartats anteriors hem tractat el filtre en termes de magnitud i ordre, ara un cop dissenyat el filtre ens trobem amb el problema de la distorsió de fase. Com es pot veure hi ha més distorsió al voltant de la freqüència de tall. En el nostre cas en particular no és gaire bo, ja que tenim freqüències útils molt a prop de la freqüència de tall.

Gràfica de fases dels filtres de Butterworth

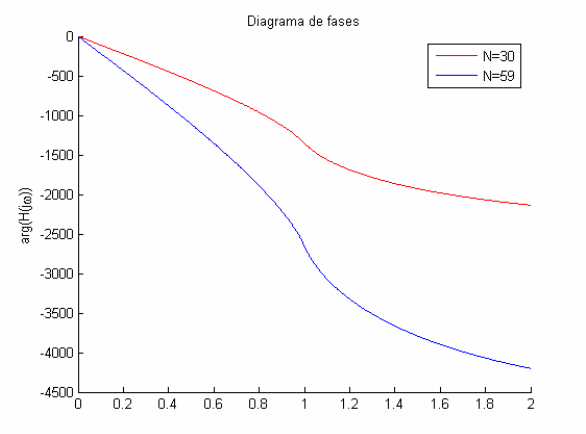


Figura 3.6 – Diagrama de fases

Aquest tipus de filtres son fàcils de calcular. Presenten una resposta transitòria satisfactòria, però una corba resposta en la regió de transició molt dolenta. Com s'ha vist anteriorment, ens interessa que la resposta en la transició ens interessa que sigui el màxim de pronunciada ja que tenim senyals molt propers a valors de 20kHz.

Per tant podem descartar aquest tipus de filtres al no complir les especificacions inicials. A més, un altre punt en contra es la distorsió en les fases, especialment al voltant de la freqüència de tall que és molt no lineal. Aquest filtres son utilitzats en aquelles aplicacions que no requereixin de gran precisió, o en les que la freqüència de tall està molt lluny de les ultimes freqüències de la banda de pas.

3.1.2 Aproximació o filtres de Chebychev

Com hem vist en els filtres Butterworth resultant òptims en la resposta plana al voltant de les freqüències de l'origen.

Per altre banda, els filtres de Chebychev, quan més gran es l'ordre més oscil·lacions te en la banda de pas. A causa d'aquesta imperfecció aquest filtre presentarà una atenuació residual en la banda de pas. Però l'atenuació augmenta de forma continuada en la banda atenuada.

El següent estudi el basarem en els filtres Chebychev que tenen les següents característiques:

- Estan basats en els polinomis de Chebychev (Annex I)
- Presenten una resposta arrissada en la banda de pas
- La pendent es més pronunciada que la de Butterworth

La funció d'aproximació de Chebychev es:

$$\left|H(v)\right|^2 = \frac{1}{1+L_n^2(n)} = \frac{1}{1+\varepsilon^2 T_n^2(v)}$$

on $T_n(v)$ es el polinomi descrit a continuació:

$$T_n(x) = \cosh\left(n\cosh^{-1}(x)\right)$$

Com que volem dissenyar un filtre passa-baixes, no caldrà fer el prototip. Podem calcular directament el nostre filtre utilitzant les especificacions d'atenuació en la banda de pas i la banda atenuada, com les freqüències de tall.

$$-A_p = 10\log\frac{1}{1+\varepsilon^2}$$

$$-A_s = 10\log\frac{1}{1+\varepsilon^2\cosh^2\left(n\cosh^{-1}V_s\right)}$$

Sent A_p i A_s les atenuacions en la banda de pas i la banda atenuada respectivament.

Per calcular l'ordre del filtre a utilitzar tenim:

$$n = \frac{\cosh^{-1}\left[\left(10^{0.1A_s} - 1\right)/\varepsilon^2\right]^{\frac{1}{2}}}{\cosh^{-1} V_s}$$

Funció de transferència de l'aproximació de Chebychev:

$$\left|H(v)\right|^2 = \frac{1}{1+\varepsilon^2 T^2\left(s/j\right)}$$

Una de les característiques de l'aproximació Chebychev es que a la banda de pas l'atenuació és arrissada, aquest valor es quantificat amb la següent formula:

$$1 - \frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon^2}}$$

Anàlisi del filtre Chebychev d'ordre 10, en aquest cas s'aproxima molt més però encara no s'ajusta. També podem veure com augmenta la arrissada de la banda de pas.

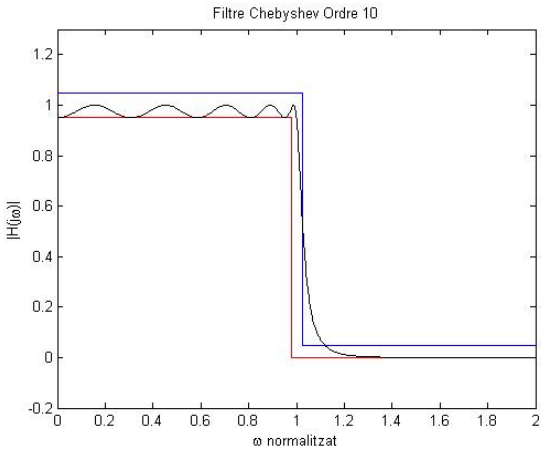


Figura 3.7 – Filtre Chebychev d'ordre 10

Diagrama de Fase dels filtres Chebychev

En el diagrama de fase de Chebychev a diferencia del de Butterworth presenta varis punts de ruptura. Quant més gran el grau del filtre Chebychev mes esglaonat es el diagrama de fases.

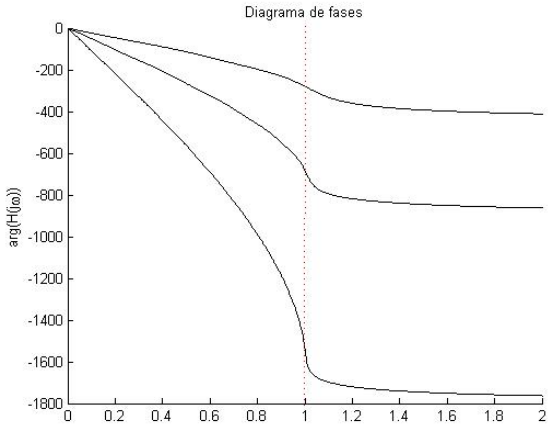


Figura 3.8 – Diagrama de Fases Chebychev

La no-linealitat de la fase, especialment al voltant de la freqüència de tall pot causar distorsió de fase a les freqüències properes a la banda de transició. Podem descartar aquest tipus de filtres per la seva complexitat en la implementació ja que el grau és molt elevat i a més presenta distorsió de fase al voltant de la freqüència de tall.

3.1.3 Aproximació o filtres Bessel

Tal i com hem definit al inici del capítol, aquest filtres es dissenyen amb el criteri de la fase. Ja que la fase d'aquest filtres és lineal. I desprès s'analitzarà la magnitud.

Aquest tipus de filtres son ideals per aquells casos que no s'accepti ningun tipus de deformació en règim transitori. Per exemple quan es vulgui transmetre impulsos sense deformació. Però per contra té la pendent de transició pitjor que la de Butterworth.

L'aproximació de Bessel està optimitzada per produir un desfasament lineal en la freqüència de pas. Dit d'una altre manera l'aproximació de Bessel sacrifica la pendent d'atenuació per tal de aconseguir un desfasament lineal. L'atenuació a l'origen resulta nul·la igual que els filtres de Butterworth.

Diagrama de fases del filtre de Bessel

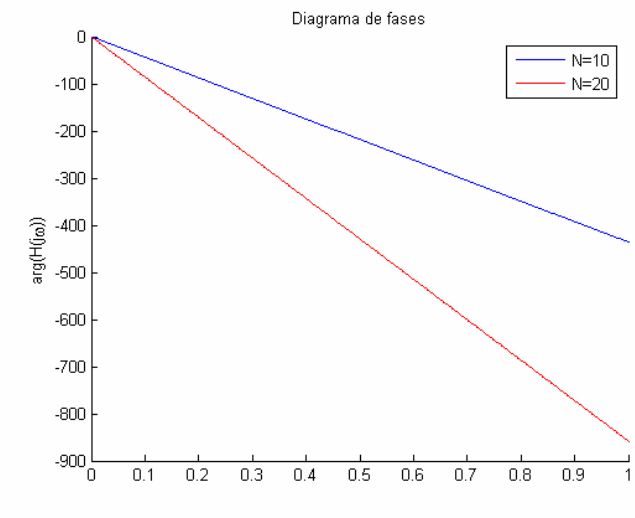


Figura 3.9 – Diagrama de Fases

Com que ens interessa que la corba de transició sigui amb més pendent possible, haurem de descartar-los. A la figura 3.9, podem veure la gràfica de fases resultant del filtre de Bessel

Un dels avantatges d'aquest filtres es que no presenten distorsió de fase ja que la fase és lineal.

Que tingui un desfasament lineal per totes les freqüències de la banda de pas significa que la freqüència fonamental de l'entrada del filtre es desfasaran linealment a la sortida. Això vol dir que la senyal de sortida tindrà la mateixa forma que el senyal d'entrada.

Els filtres analògics es caracteritzen per l'ús de components discrets, resistències, bobines, amplificadors operacionals. Per a la implementació del filtre analògic doncs, s'haurà d'implementar segons els requisits del filtre ubicant els components d'una determinada disposició per que facin la seva funció.

Càlcul del filtre de Bessel d'orde 20

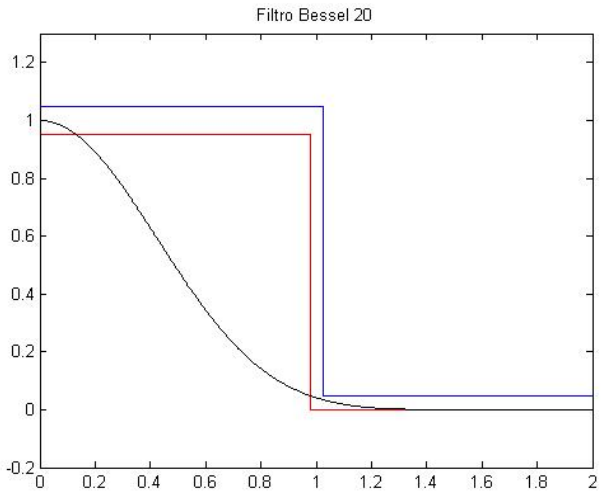


Figura 3.10 – Filtre Bessel ordre 20

No compleix els requisits, ja que $F_c < \omega_p$, això vol dir que atenuaria freqüències que son part del senyal útil.

La conclusió que podem treure d'aquest filtres es que directament no son viables la seva construcció ja que el filtre d'ordre 20 esta molt lluny de les nostres especificacions.

3.2 Disseny filtres Digitals

L'altre gran bloc de disseny de filtres és el digital. Dins del digital, tenim dos grans blocs, els IIR (Resposta Impuls Infinita), i els FIR (Resposta Impuls Finita), els IIR els descartarem per la seva complexitat computacional.
Mentre que farem un repàs als FIR. I quins tipus hi han, i quines eines farem servir per calcular els filtres FIR.

3.2.1 Filtre digital IIR

Aquest filtres digitals, IIR son de resposta infinita. És a dir, si el senyal d'entrada és un impuls, la resposta del filtre tindrà un valor infinit de termes.
La funció d'un filtre IIR

$$y[n] + A_1 y[n-1] + A_2 y[n-2] + ... + A_N y[n-N] = x[n]$$

Dona lloc a la funció de transferència:

$$H(z) = \frac{1}{1 + A_1 z^{-1} + A_2 z^{-2} + ... + A_N z^{-N}}$$

El filtre és recursiu, això vol dir que la sortida no només depèn de la entrada actual sinó que també depèn de valors passats de la sortida, per això es diu que es recursiu.
La resposta al impuls es infinita, tal i com diu el nom.

Implementar un filtre Digital IIR, representa un cost computacional elevat, podem veure a la figura següent l'esquema:

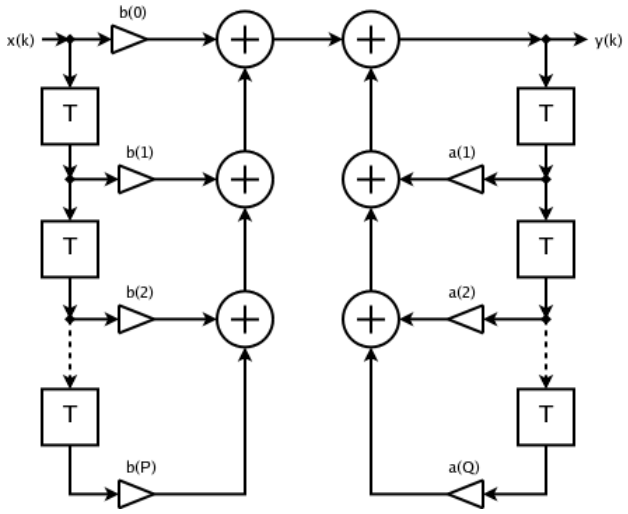


Figura 3.11 – Esquema computacional filtre IIR

En la figura es pot veure com la entrada es realimenta amb la sortida. L'avantatge d'aquest filtres es que redueixen l'ordre del filtre FIR.
Aquest filtres produeixen distorsió de fase, és a dir, la fase no es lineal amb la freqüència.

3.2.2 Filtres digitals FIR posar

Un dels avantatges de dissenyar filtres digitals es que la banda de transició és molt més pronunciada. Però per contra solen tenir un ordre molt més alt que els filtres analògics. En un filtre digital el fet que l'ordre sigui alt no representa un problema per a la implementació. Ja que l'ordre indicarà el mostreig que s'haurà de fer al senyal original, quan més gran l'ordre, més mostres. El filtre FIR no te distorsió de fase, com es pot veure en la gràfica de color verd de la figura 5.1

Els filtres FIR d'ordre M tenen la següent equació:

$$y[n] = B_0 x[n] + B_1 x[n-1] + ... + B_M x[n-M]$$

Donarà lloc a la següent funció de transferència, on la seqüència de Bk son els coeficients del filtre.

$$H(z) = B_0 + B_1 z^{-1} + ... + B_M z^{-M}$$

Hi ha tres mètodes per dissenyar filtres FIR.

- Mètode de les series de Fourier
- Mètode del Mostreig en Freqüència
- Mètodes Iteratius basats en condicions optimes de disseny

En aquest cas en particular he fet servi al eina del matlab fdatool per dissenyar el filtre FIR.

En la pantalla de la figura __ és on definim les característiques del nostre filtre FIR. Un cop hem escollit les freqüències de pas, la freqüència de tall, la atenuació en la banda de pas i la atenuació en la banda atenuada. Introduïm les dades i dissenyem el filtre.

Amb aquesta eina, un cop dissenyat el filtre tenim la opció de generar un fitxer *.h[(1)] per exportar els coeficients del filtre i utilitzar-los en la programació del nostre integrat.

1: Fitxer *.h és el fitxer de capçalera (header) que es fa servir en programació

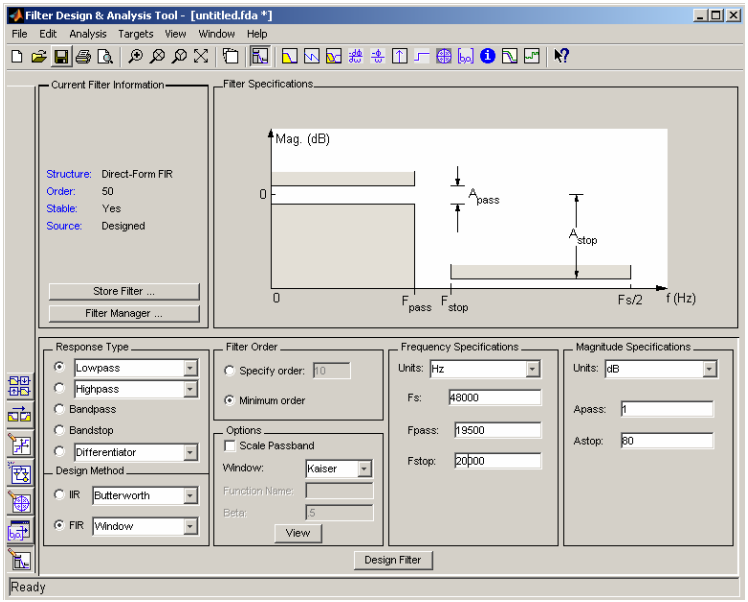


Figura 3.12 – Pantalla de configuració del filtre

Un cop introduït les dades, aquest es el resultat que obtenim. Amb la seva resposta en magnitud(color blau) i la fase(color verd).

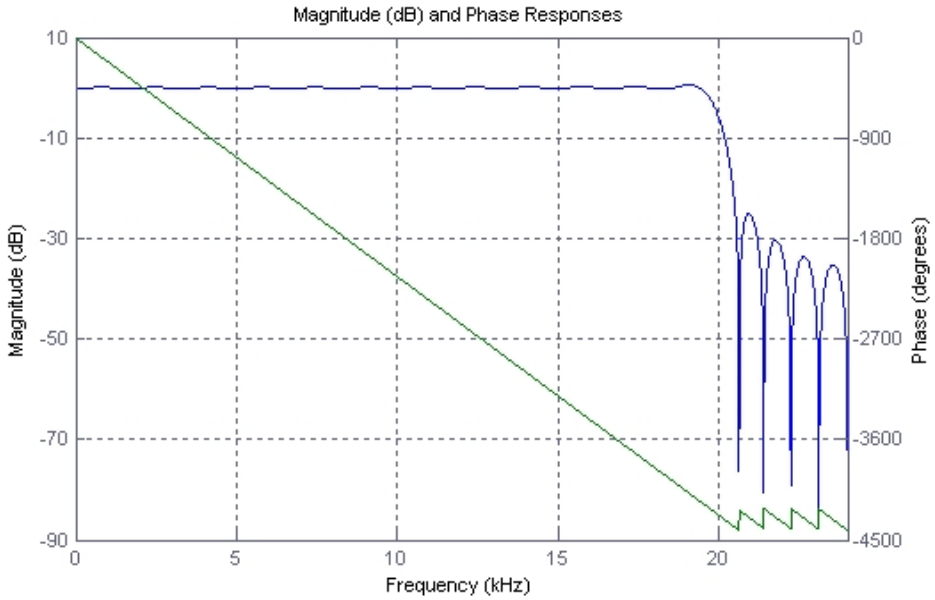


Figura 3.13 – Magnitud i fase filtre FIR

3.3 Elecció del filtre

Després de l'anàlisi matemàtic dels filtres podem arribar a una conclusió i veure quin dels filtres s'ajusta més als requisits.

Hem analitzat tres filtres analògics,

- Butterworth
- Chebychev
- Bessel

En el qual per obtenir una bona resposta s'ha d'aplicar un ordre molt elevat. El fet d'elevar l'ordre porta associat una distorsió de fase.

En el cas dels filtres Bessel, la corba de transició no s'aconsegueix entrar dins de les especificacions i en aquest tipus de filtre és molt difícil poder calcular l'ordre teòricament. Per això es sol fer amb la metodologia de prova i error.

Anàlisi de filtres digitals

- FIR – Window
- IIR – Digital

El filtre FIR té una resposta molt plana en la banda de pas i amb l'avantatge que no presenta distorsió de fase en la freqüència de tall.

Per tant, per tal d'avançar en el projecte i el desenvolupament del filtre ens decantarem en la implementació del filtre digital FIR, utilitzant el mètode Window.

3.4 Simulació del filtre

Un cop tenim el disseny del filtre passarem a veure si realment es comporta com desitgem per tal que les freqüències que estan fora dels 20kHz quedin filtrades.

Especificacions del filtre

La figura 3.14 ens indica quin seria el filtre ideal, on es pot veure que la freqüència de tall es de 20kHz.

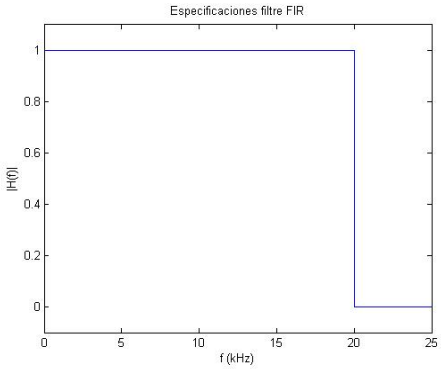


Figura 3.14 – Filtre ideal

Càlcul de la resposta a l'impuls

La resposta a l'impuls d'un sistema es la que es presenta a la sortida en front d'un senyal breu d'entrada.

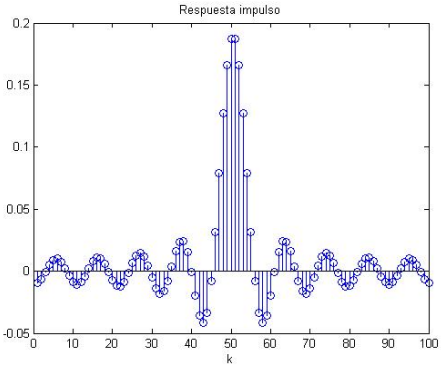


Figura 3.15 – Resposta al impuls

Sortida del filtre

En aquesta gràfica mostra la TDF de la sortida del filtre.

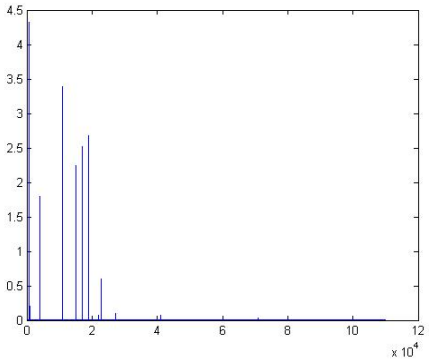


Figura 3.16 – TDF de la sortida

En la figura 3.16 es pot veure el senyal filtrat, amb les seves components. L'ideal hagués estat que la component que està per sobre dels 20KHz s'hagués atenuat més però per contra l'ordre del filtre seria més gran. Personalment doncs per vàlid aquest filtre resultant.

Capítol 4. Implementació

Per a la implementació del filtre tenim varies opcions, en aquest apartat estudiarem quina de les opcions es la més òptima per el nostre filtre. Tenim tres opcions diferents d'implementació del filtre.

1) Microcontrolador i ADC extern.

Utilitzem un converso analògic/digital extern per realitzar la conversió del senyal analògic, un cop feta la conversió a digital utilitzaríem el microcontrolador per tractar el senyal. El senyal que entri al microcontrolador ja serà quantificada.

Aquesta opció dificulta el disseny i complica la implementació del hardware, ja que s'afegeix mes dispositius passius en el circuit per tal de connectar tant el microcontrolador com el ADC[8].

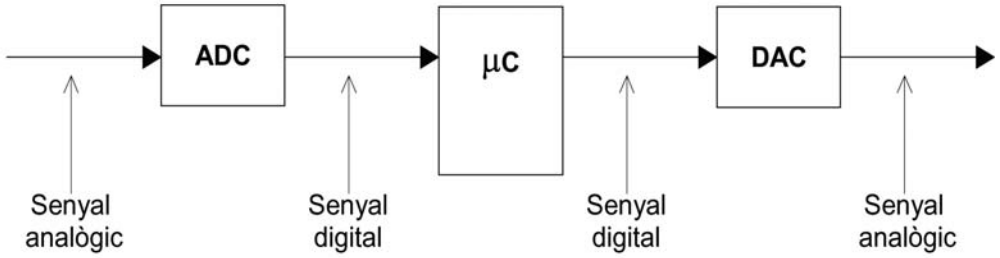


Figura 4.1 – Diagrama en blocs. Microcontrolador + ADC

Fabricant: ANALOG DEVICES
Referència del fabricant: AD1674AR
Preu unitari: 21,81 €

Aquesta opció se li ha de sumar el preu del microcontrolador, que ha de ser amb prou memòria per poder encabir els valors de la resposta al impuls obtinguts amb el matlab. A més de sumar-hi els components passius per el correcte funcionament del circuit.

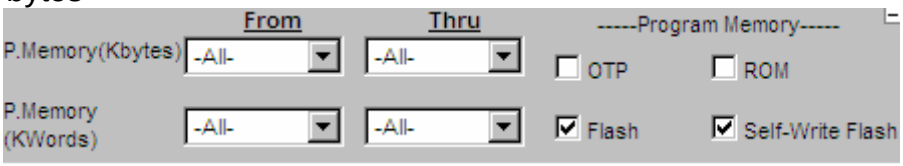
2) microcontrolador.

En el mercat tenim molta varietat de microcontroladors, de gama baixa, mitja i alta. Haurem de buscar a la pàgina del fabricant el microcontrolador que necessitem segons la seva capacitat de memòria RAM, per guardar les variables, de memòria on anirà el nostre programa. En cas de tenir, el ADC incorporat, saber la velocitat de mostreig.

En la pàgina de microchip[9] tenim l'opció de fer una cerca acurada del tipus de microcontrolador que necessitem segons les característiques del filtre.

Si tenim una petita idea cap a on anirà les característiques del filtre, podem triar la família del microcontrolador a triar:

Podem especificar la capacitat de memòria per emmagatzemar el programa i les variables, haurem de tenir en compte que s'han de guardar els coeficients del filtre:
RAM > 4096 bytes



Definirem el converso analògic digital,amb 10 bits és suficient i un canal

A la pàgina de Microchip* podem fer una cerca per criteri de necessitat. On podem especificar la memòria de buffer, el ADC, etc... Després de fer la cerca el microcontrolador que més s'ajusta és el PIC24HJ64GP506[Annex II].

*http://www.microchip.com/maps/microcontroller.aspx

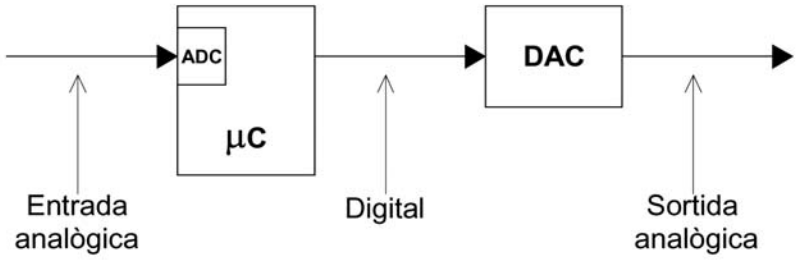


Figura 4.2 – Diagrama en blocs. Microcontrolador

Fabricant: MICROCHIP
Referència del fabricant: PIC24HJ64GP506
Preu unitari: 5,29 €

En l'annex II podem veure el diagrama en blocs i el pinatge del integrat.

3) dsPIC [10]

Aquest és el més indica per el que fa el tractament del senyal, això no vol dir que per el nostre filtre sigui l'ideal. Es un microcontrolador específic per el tractament del senyal. El seu preu no es molt elevat i la seva programació es molt similar als microcontroladors de la família PIC16, PIC18, PIC24.

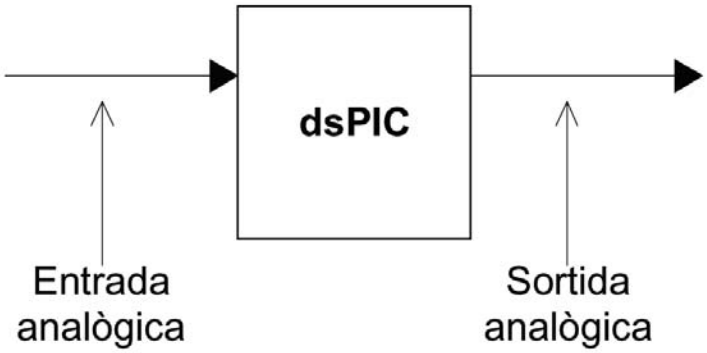


Figura 4.3 – Diagrama en blocs. dsPIC

Fabricant: MICROCHIP
Referència de fabricant: DSPIC30F6012A-30I/PT
Preu unitari: 10,53 €

Un cop fet el repàs de les tres opcions ens decantarem per un disseny, en aquest cas utilitzarem el disseny del microcontrolador PIC24HJ64GP506, veure annex II. Triem aquesta opció per la senzillesa de la implementació i el seu reduït cost.
La primera opció es dispara el cost pel fet d'utilitzar un ADC extern, que val gairebé el doble que el microcontrolador. La opció del dsPIC, tampoc es dolenta però la descarto perquè, tot i no ser gaire cara, aquest integrat estaria infravalorat, també es cert que en un futur es podrien ampliar les funcions. Però com que no es el nostre cas, la descarto.
Per tant trio l'opció del microcontrolador PIC24HJ64GP506, que per preu i prestacions és el que millor s'ajusta al que necessitem per aquest cas en concret.

4.1 Valoració econòmica

Per analitzar la valoració econòmica, utilitzaré com a base el meu projecte. Comptant les hores efectives que s'hagués dedicat un enginyer. Sabent que l'enginyer també ha hagut de fer un pla de treball, per entregar al client, un estudi del senyal que voldrà filtrar, la implementació i finalment la prova del filtre.
Com es pot veure al pla de treball el projecte ha durat 146 dies, ara calcularem els dies efectius, treien festius i caps de setmana.
Entre les dates de 25/2/2010 i 7/06/2010 hi ha 102 dies, treien els caps de setmana i la setmana santa ens queda en 70 dies.

Detall Pressupost Enginyer		
Disseny	30 dies	872.15
Implementació programació	20 dies	268.24
Disseny placa PCB	10 dies	375.95
Muntar placa	5 dies	278.2
Material		
Àcids per el revelat de la placa		150.51
Placa de fibra de vidre		12.41
Components		25.29
SubTotal		1982.72 €
Iva		16%
TOTAL		2300€

Taula resum d'un possible pressupost

4.2 Implementació del Filtre

Un cop hem escollit el filtre farem unes comprovacions amb el matlab per veure la sortida del senyal filtrat i si hi ha algun problema de filtratge o si es pot millorar.

En la fase d'implementació es tractarà de traduir la rutina simulada en el matlab al nostre programa de programacio MPLab.

Fases d'implementació:

En la programació del microcontrolador haurem de seguir els següents passos.

- Guardar els coeficients del filtre a l'àrea de la memòria RAM.
- Configurar els ports d'entrada i sortida
- Habilitar la prioritat de les interrupcions.

Els criteris anteriors són els que serviran per configurar el microcontrolador. La velocitat de mostreig, el registres d'entrada del senyal i totes les opcions es configuren a l'inici de la programació de l'integrat.

Procediment de la implementació del filtre FIR

- Característiques requerides del filtre
- Introduir les característiques del filtre usant els coeficients generats
- Afegir els coeficients als fitxers "include"
- Generar el fitxer HEX
- Transferir-lo al microcontrolador

En la programació del integrat el que hem d'aconseguir es implementar el següent esquema:

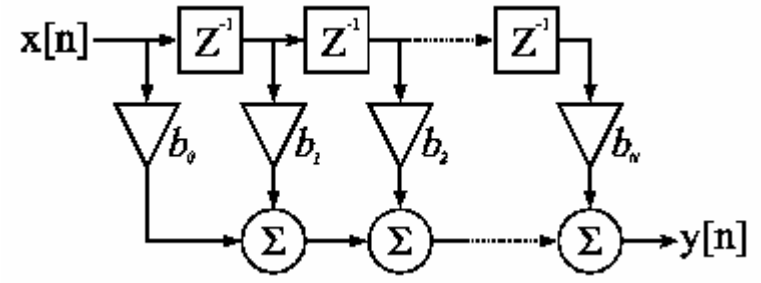


Figura 4.4 – Esquema de l'equació

El diagrama de flux que he utilitzat per seguir el procés d'implementació és el següent:

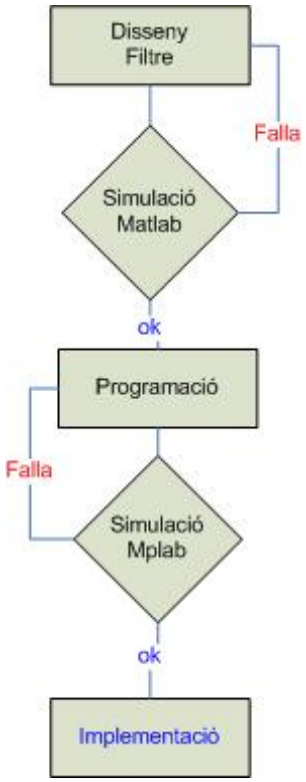


Figura 4.5 – Diagrama de flux del procés

El resultat final de la implementació el podem veure en l'annex III.

Per últim i poder donar per finalitzat el projecte haurem de veure si la implementació és correcte, fent la validació.

4.3 Validació

Un cop feta la implementacio en el integrat veurem els resultats obtinguts. El que haurem de fer es comparar el resultat simulat amb el resultat implementat. De manera que podrem veure si hi ha alguna diferencia.

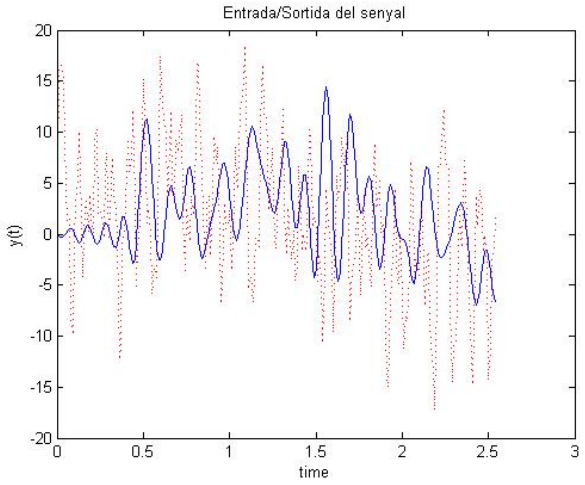


Figura 4.6 – Senyal d'entrada i sortida filtrada

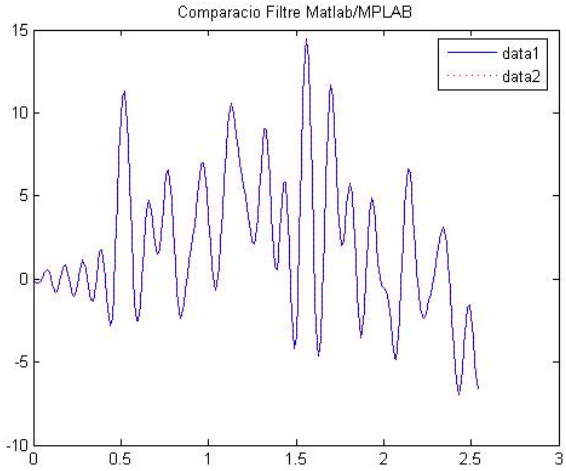


Figura 4.7 – Comparativa senyal simulada/implementada

Finalment, es pot donar per vàlid el resultats obtinguts.

Capítol 5. Conclusions.

En aquest apartat exposaré les conclusions que he tret, com s'ha anat desenvolupat el projecte i els objectius assolits.

5.1 Resultats obtinguts

Seguint els passos que m'havia marcat en el pla de treball, he anat seguint un procés que ha tractat de:
L'estudi del senyal que ens han facilitat com a part de l'enunciat del projecte.
Seguidament, un cop vist el tipus de senyal, he passat a fer l'estudi dels diferents tipus de filtres, per veure quin filtre es el que millor respon al tipus de senyal.
Un cop decidit el tipus de filtre a desenvolupar, s'ha fet el procés de disseny. En aquest punt hi hagut la complicació d'utilitzar el Matlab que no hi estava gaire familiaritzat i m'ha enrederit una mica en el desenvolupament. Els resultats obtinguts en la fase del disseny han estat positius.
Finalment, he implementat el disseny del filtre. La implementació ha constat de fer la programació en C i compilat en Mplab C30, per obtenir el codi necessari per ser gravat en un microcontrolador.
Un dels aspectes negatius, es que m'hagués agradat fer el disseny de la PCB, però he sofert alguns endarreriments en els punts de disseny i implementació que no m'han permès fer el disseny de la PCB.

5.2 Aplicacions futures

Per qualsevol afeccionat a la música i electrònica, podria desenvolupar i ampliar aquest projecte en l'àmbit de l'equalització de l'àudio. Tenint en compte que un filtre passa-baixes és una petita part d'un equalitzador.
També es pot utilitzar aquest filtre com a supressor de soroll. Per eliminar les freqüències no desitjades. Els aparelles de musica, normalment es connecten a la corrent, sabem que la corrent de casa es de 50 Hz. Aquesta freqüència es pot arribar a filtrar en els nostres aparells d'àudio. Per això modificant el nostre projecte podríem dissenyar un filtre passa-baixes, on la nostre freqüència de tall fos de 50Hz, i eliminar el soroll del corrent elèctric.

Glossari

TDF *f* Transformada Directa de Fourier

FFT *f* Fast Fourier Transform, Transformada ràpida de Fourier

dB *m* abreviatura de la paraula decibels

DSP *m* Digital Signal Processor. Un integrat dissenyat específicament per el tractament de senyal digital.

Referències

[1] **MatLab**, MathWorks, programa de similacions matemàtiques.
http://www.mathworks.com/

[2] **Mathematica**, programa per fer calculs matematics.
http://www.wolfram.com/products/mathematica/index.html

[3] **SciLab**, programari lliure de calcul matemàtic
http://www.scilab.org/

[4] **Microsoft Project 2003**, programari de Microsoft que s'utilitza per organitzar projectes.
http://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Project

[5] **MPLAB**, Microchip. Programari per desenvolupar codi de microcontrolador.
http://www.microchip.com

[6] **Eagle**, Cadsoft, programari de disseny de circuits electrònics,
http://www.cadsoftusa.com/

[7] **Proteus**, Labcenter Electronics, programari de simulació de circuits electronics.
<http://www.labcenter.co.uk/index.cfm>

[8] **ADC**, Converso analògic digital.
http://es.farnell.com/analog-devices/ad1674ar/ic-mono-12-bit-adc/dp/1464248

[9] **Microchip**, fabricant de microcontroladors i dispositius periferics, memories, ADC, etc.
http://www.microchip.com

[10] **dsPIC**, Procesador digital de senyal,
http://es.farnell.com/microchip/dspic30f6012a-30i-pt/mcu-dsp-16-bits-30mhz-smd-tqfp64/dp/1332034

Bibliografia

Allan v. Oppenheim, Alan S.Willsky, S. Hamid Nawad, "Señales y sistemas lineales" , Editorial Pearson-Prentice Hall,

Josep Margalef, "Analisi i síntesi de circuits analògics", editorial Universitat Ramon Llull La Salle.

Antoni Pérez, Marc Bara, Juan Antonio Martinez, Mar Roselló, "Sistemes electrònics digitals", XP06/19010/00137, Editorial Universitat Oberta de Catalunya.

Brian R Hunt, Ronald L. Lipsman, Jonathan M. Rosenberh, "A guide to Matlab", editorial Cambridge

Paul Bildstein, "Filtros Activos", editorial Paraninfo, 1983

Annex I:

Polinomis Butterworth:

$$B_n(s) = \prod_{k=1}^{\frac{n}{2}} \left[s^2 - 2s\cos\left(\frac{2k+n-1}{2n}\pi \right) + 1 \right]$$

Polinomis Chebychev:

$$T_n(x) = \cosh\left(n\cosh^{-1}(x) \right)$$

Polinomis Bessel:

$$B_p(s) = \sum_{t=0}^{p} \frac{(2p-t)!\,s^t}{2^{p-t}\,t!\,(p-k)!}$$

Annex II:

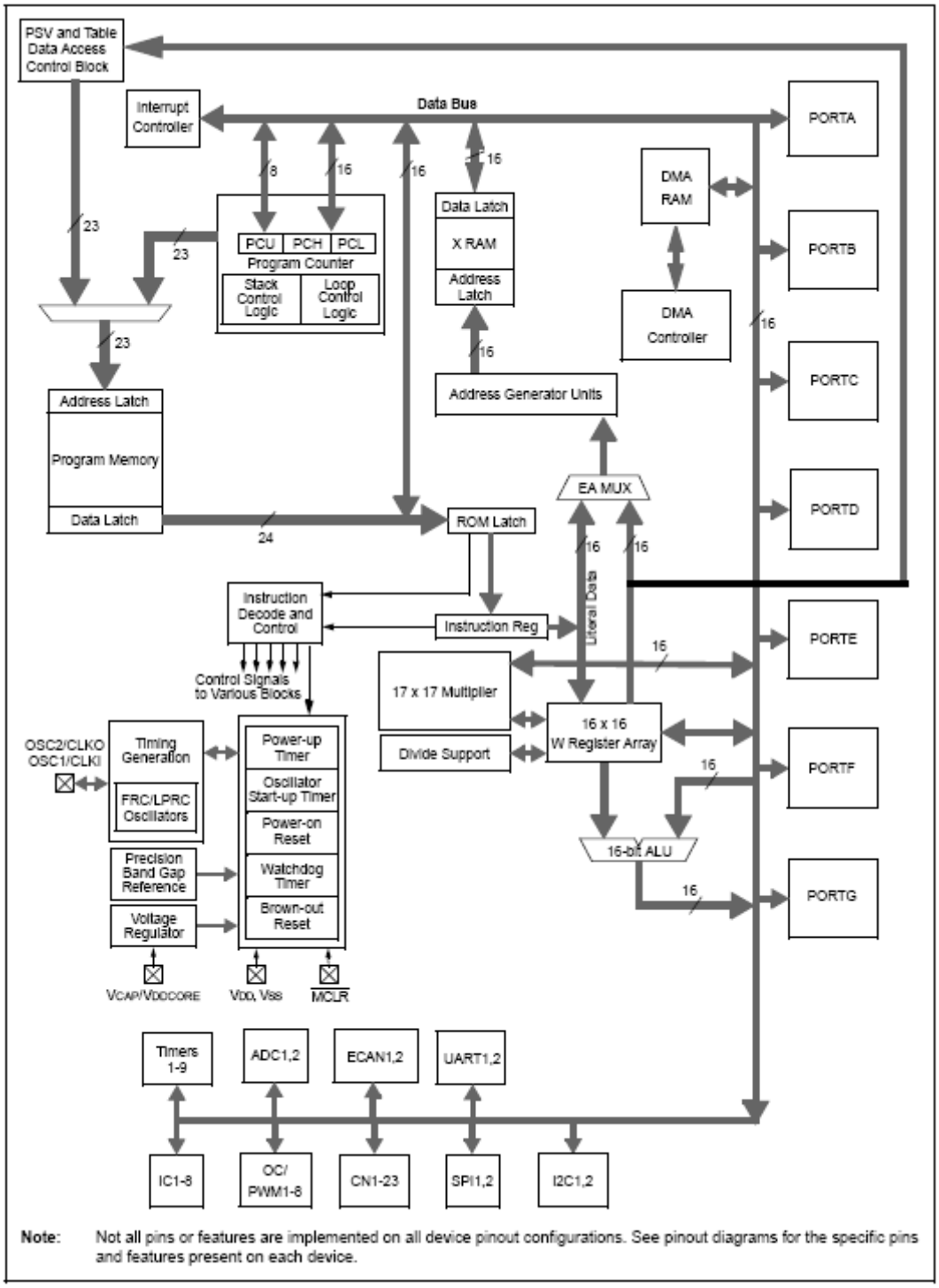


Figura A.1 - Diagrama en blocs PIC24HJ64GP506

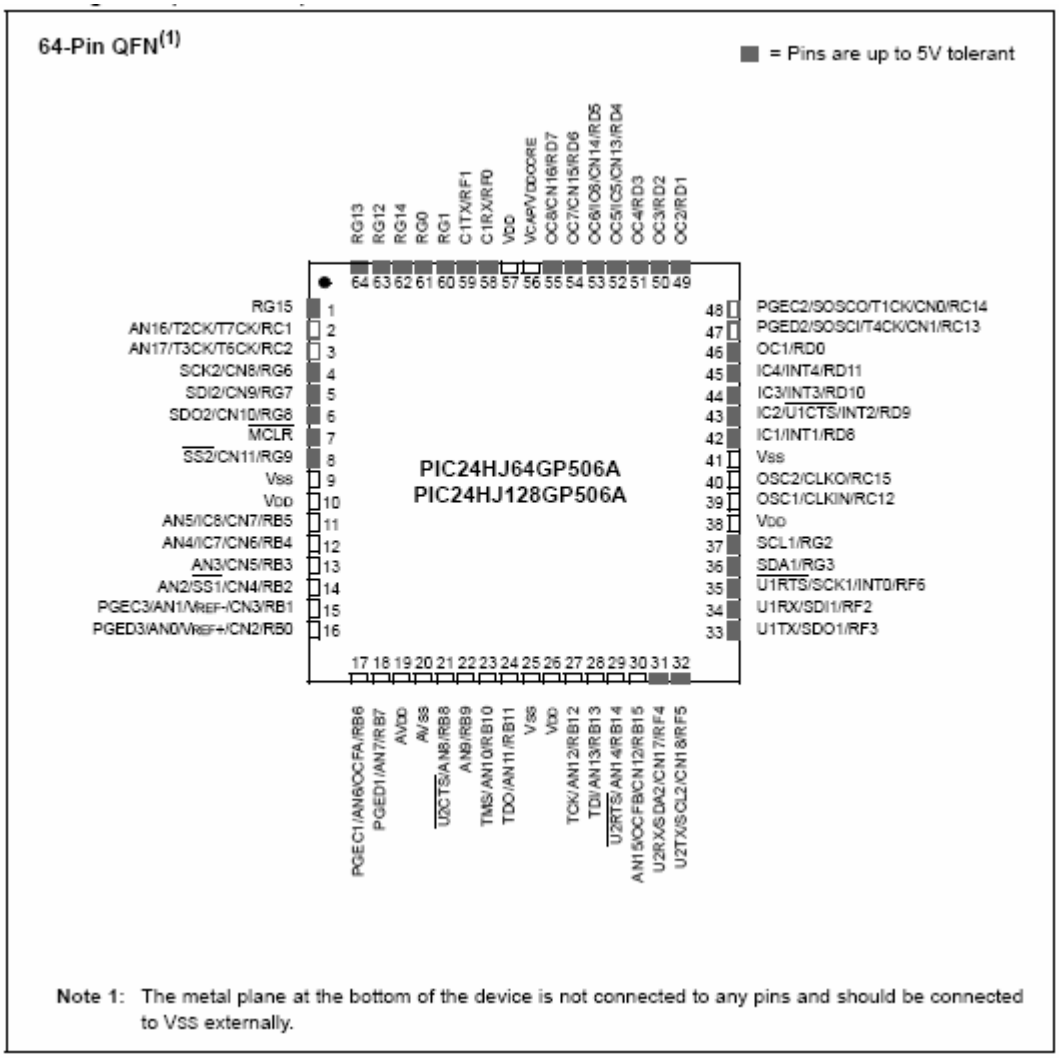


Figura A.2 – Pinatge del integrat PIC24HJ64GP506

Annex III:

FiltreD24.c

```
#include <p24Hxxxx.h>
#include <P24HJ64GP506.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define ORDRE 101 //Ordre del filtre

#include "coeficients.h" //Coeficients del filtre

float entrada[255]; //array d'entrada
float sortida[255]; //Valors resultants del filtre
float ADCvalue;
float sortida2;

int buf;

int main (void){
int i;int mostra=0;
int j;

//Inicialitzacio de les mostres
for(i=0;i<(255);i++){
entrada[i]=0.0;
sortida[i]=0.0;
}

//Captura i calcul de les components del
//senyal quan passa pel filtre.

while(mostra<256){

entrada[0]=entrada_coe[mostra];
sortida[mostra]=entrada[0]*coe_filtre[0];
        for(i=1;i<ORDRE;i++){
                sortida[mostra]+=(entrada[i])*coe_filtre[i];
        }
        mostra++;
        for(i=ORDRE-1;i>0;i--){
                entrada[i]=entrada[i-1];
        }
 sortida2 = sortida[mostra];
```

```
 sortida2 = 256*(sortida2+20)/40; //Conversio a 8 bits
 sprintf("%X",buf,sortida2); //Sortida del filtre
PORTC = buf; //Treu el valor de la variable per el port de sortida.
}

}
```

Coeficients.h

```
/*Coeficients trets del resultat matlab*/


const float coe_filtre[ORDRE]={
-0.009559,    -0.0062594,  -0.00078702,0.0049847,    0.0090708,    0.01005,
0.0075532,    0.0024008,   -0.0036646,  -0.0085599,  -0.010569,    -0.0089349,
-0.0041421,   0.002225,    0.0079967,   0.011147,    0.010492,    0.006128,
-0.0005636,   -0.0073388,  -0.011831,   -0.012359,   -0.0085408,  -0.0014836,
0.006516,     0.012699,    0.014769,    0.011708,    0.0042203,   -0.0053948,
-0.013907,    -0.018194,   -0.016319,   -0.0083057,  0.0036742,   0.015818,
0.023796,     0.024142,    0.015532,    -0.00048492,-0.019555,    -0.035451,
-0.041653,    -0.033188,   -0.0081953,  0.031223,    0.079158,    0.12706,
0.16567,      0.1872,      0.1872,      0.16567,     0.12706,     0.079158,
0.031223,     -0.0081953,  -0.033188,   -0.041653,   -0.035451,   -0.019555,
-0.00048492,0.015532,      0.024142,    0.023796,    0.015818,    0.0036742,
-0.0083057,   -0.016319,   -0.018194,   -0.013907,   -0.0053948,  0.0042203,
0.011708,     0.014769,    0.012699,    0.006516,    -0.0014836,  -0.0085408,
-0.012359,    -0.011831,   -0.0073388,  -0.0005636,  0.006128,    0.010492,
0.011147,     0.0079967,   0.002225,    -0.0041421,  -0.0089349,  -0.010569,
-0.0085599,   -0.0036646,  0.0024008,   0.0075532, 0.01005,       0.0090708,
0.0049847,    -0.00078702,-0.0062594,   -0.0095591,
};

/*Valors d'entrada del senyal a filtrar*/

const float entrada_coe[255]={
0,16.179,16.521,16.462,14.668,4.2057,1.3829,1.7046,-8.085,-9.8531,-
0.35486,2.6632,5.961,10.082,1.3711,-
4.2233,2.8696,3.1718,0.21252,3.8635,1.4847,0.04064,9.6823,10.377,1.8879,2.2255,2.0
9,-0.36158,6.6062,7.9709,-0.26763,2.3104,7.5964,3.5608,2.623,-0.8087,-12.283,-
10.983,-0.75455,0.13464,3.006,9.1153,6.1834,7.1225,12.214,3.5089,-5.0525,-
0.96703,1.364,5.7524,15.258,10.98,1.1438,2.4722,0.35099,-5.9104,-3.298,-3.2893,-
4.2157,8.5917,17.504,12.736,11.54,9.7365,3.3743,7.7842,12.144,4.3099,3.4346,9.3368,
8.0199,9.8929,11.782,1.1852,-3.5673,2.6738,1.1267,-
0.72563,3.747,1.8371,4.0795,16.502,16.878,8.4102,6.6434,1.4492,-
3.3103,3.2782,3.7807,-2.2128,3.7555,9.6873,7.2249,8.5878,4.5765,-6.8727,-
4.6045,3.0654,0.57459,0.97628,2.3882,-3.522,-
0.23529,8.5666,5.2616,4.3768,11.971,13.004,14.898,18.481,6.9899,-5.3941,-4.1745,-
```

5.2713,-6.7624,-0.26407,-0.34822,-
1.203,10.772,16.656,11.604,11.602,8.7094,2.2711,6.9363,8.4327,-1.1689,-
1.4646,3.8601,3.7961,9.3747,12.238,1.6232,-2.059,2.5899,-1.0197,-2.492,0.3746,-
4.6143,-3.4606,6.697,4.631,-1.7382,0.03168,-1.6515,-
0.30738,10.246,9.3785,0.65348,1.7275,0.56377,-4.6697,-1.9478,-4.041,-10.747,-
3.4577,4.4871,0.90886,0.12588,-2.146,-9.6579,-
4.1537,5.8038,3.6057,4.385,9.5404,6.6515,7.4199,9.9389,-1.0472,-8.5776,-3.322,-
2.5848,-1.8438,3.4101,-1.6558,-6.0006,2.387,3.9758,-1.4667,-0.18631,-2.5683,-
5.2025,4.7029,8.9914,2.4889,3.796,5.2286,0.078952,1.1639,-1.811,-14.645,-15.043,-
6.3609,-4.4557,0.49039,4.4807,-3.2656,-4.9602,0.22246,-5.8987,-11.323,-7.9683,-
8.4831,-4.0522,7.2144,4.2638,-4.2717,-2.4463,-3.022,-4.0197,2.7864,0.63333,-7.0783,-
2.9597,-1.674,-9.3044,-10.728,-13.183,-17.243,-
5.866,6.9762,6.8268,9.4053,12.365,6.8029,6.8854,6.714,-6.9818,-14.619,-10.605,-
10.425,-6.1422,2.3434,-0.53253,-1.3896,7.2313,5.1157,-3.2472,-5.7508,-12.5,-14.782,-
2.2202,3.8085,0.75821,4.3734,4.0662,-1.8281,-0.073741,-3.5477,-14.353,-11.156,-
2.431,-1.6308,1.788
};