

Pràctiques de Sistemes Digitals i Microprocessadors

Curs 2024-2025

Pràctica 1

LSMusical

Alumnes	Login	Nom

Entrega	Placa	Memòria	Nota

Data	
-------------	--

Còpia per als alumnes

Pràctiques de Sistemes Digitals i Microprocessadors

Curs 2024-2025

Pràctica 1

LSMusical

Alumnes	Login	Nom

Entrega	Placa	Memòria	Nota

Data	
-------------	--

Portada de la memòria

Introducció i consideracions generals

Des de fa temps, els alumnes de l'assignatura de Sistemes Digitals i Microprocessadors s'han encarregat de dissenyar i implementar satisfactòriament tot un seguit de jocs (Tic Tac Toe, LSSimon, LSMemory, LSHammerGame, LSMasterMind, LSBingo...) i aquest any no serà pas diferent. Seguint amb aquesta tradició lúdica, enguany es proposa la implementació d'una versió digital d'un joc musical. En aquesta variant, el jugador podrà programar melodies que més endavant serviran per tal que el jugador posi a prova com de bé pot interpretar-les.



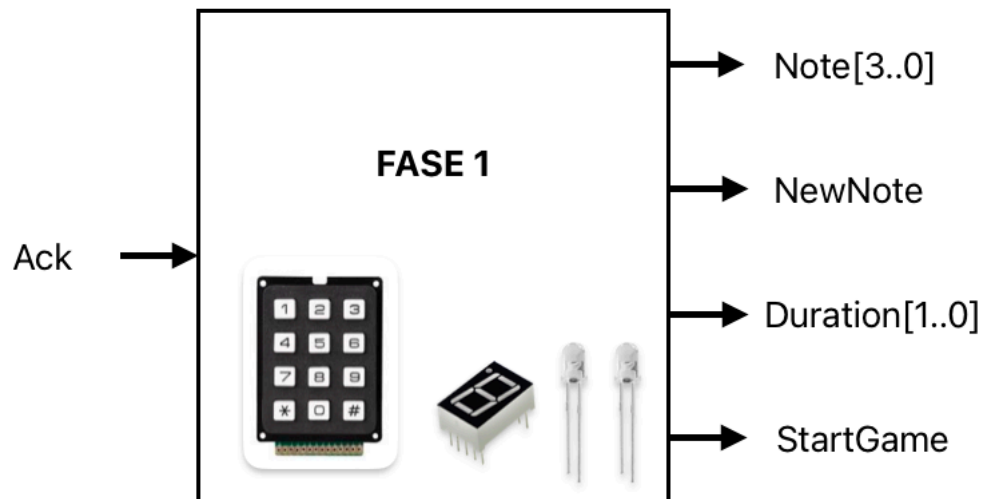
La dinàmica de funcionament del sistema que s'ha d'implementar es descriu a continuació:

1. Previ a l'inici del joc, el jugador haurà d'introduir les notes de la melodia que vol interpretar i la durada de cadascuna mitjançant un teclat matriu.
2. Un cop el jugador introdueixi 16 notes o premi la tecla '#', es considerarà que totes les notes han estat introduïdes i el joc començarà.
3. A continuació s'aniran mostrant les notes a reproduir i el seu temps associat per a que el jugador les repliqui. Per a fer-ho, s'utilitzarà un sensor d'ultrasons que servirà per mesurar la distància a la que l'usuari situa la mà. En funció d'aquesta distància mesurada el sistema reproduirà una nota o una altra.
4. A mesura que el jugador vagi interpretant les notes, s'anirà calculant la puntuació.

Per tal de guiar el disseny i desenvolupament del sistema, s'ha separat la pràctica en dues fases incrementals que s'han de lliurar en les dates estipulades al Pla Docent de l'assignatura.

Fase 1

La primera fase té com a objectiu resoldre la part d'interacció amb l'usuari per la introducció de les notes musicals de la melodia. Concretament, s'ha d'implementar un sistema que tingui les següents entrades i sortides, les quals aniran connectades a la Fase 2:



Descripció de les entrades i sortides del sistema

- **Note[3..0]**: Bus de dades de sortida que conté la nota musical (un dígit en BCD) que ha introduït l'usuari a través del teclat de matriu. La nota estarà entre el 0 (Do) i el 6 (Si).
- **Duration[1..0]**: Bus de dades de sortida que conté la durada, en segons i binari natural, de la nota musical que s'ha introduït. Aquesta durada pot ser d'1, 2 o 3 segons.
- **NewNote**: Senyal de sortida activa per flanc de baixada que indica a la Fase 2 que **Note[3..0]** i **Duration[1..0]** són estables.
- **StartGame**: Senyal de sortida activa per flanc de pujada que indica a la Fase 2 que el registre de notes ha acabat i que es pot començar a jugar.
- **ACK**: Senyal d'entrada activa per flanc que indica que la Fase 2 ha processat correctament els busos de dades **Note[3..0]** i **Duration[1..0]** i, per tant, està a punt per rebre'n de nous.
- **PCI**: Senyal que actuarà com a reset general del sistema.

Funcionament del sistema

En aquesta fase, la interacció amb l'usuari es farà principalment mitjançant un teclat de matriu de 3x4. Així, un cop s'activi el senyal **PCI** el sistema haurà de començar el procés d'adquisició de notes de la melodia.

Introducció de les notes de la melodia

Per introduir les notes de la melodia, l'usuari utilitzarà el teclat matriu. Noti's que, com que les notes possibles van del Do al Si, els valors seran sempre números del 0 al 6, per exemple el Do equivaldria al 0, el Re equivaldria al 1 i així seguidament fins al Si, que equivaldria al valor 6. A més, per configurar la durada de la nota es mesurarà el temps en el que la tecla romanguí premuda. Així, si es prem la





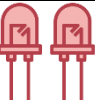
tecla entre 0 i 1 segons, la durada serà d'1 segon, si es prem entre 1 i 2 segons, la durada serà de 2 segons i si es prem durant 2 o més segons es considerarà que la durada serà de 3 segons.

Un cop es deixi de prémer la tecla, caldrà actualitzar els busos `Note[3..0]` i `Duration[1..0]` i, un cop siguin estables, activar el senyal `NewNote`. En aquest moment, el sistema romandrà bloquejat sense poder processar noves tecles fins que s'activi el senyal `Ack`. Un cop s'activi, caldrà esperar a que l'usuari premi una nova tecla.

Un cop l'usuari hagi introduït 16 notes o bé hagi premut la tecla '#', el sistema haurà d'activar el senyal `StartGame` per indicar a la Fase 2 que el joc pot començar. A partir d'aquí, la Fase 1 romandrà bloquejada a l'espera de que s'activi de nou `PCI`.

Visualització

Tant aviat com el jugador premi una tecla, caldrà mostrar per un display 7 segments el valor numèric de la nota de la melodia que s'està introduint. A més, caldrà anar actualitzant a temps real mitjançant dos LEDs la durada que s'està programant per la nota:

Temps de nota programat	Durada	LEDs
1 segon	Tecla premuda [0, 1)s	
2 segons	Tecla premuda [1, 2)s	
3 segons	Tecla premuda ≥ 2 s	

Tant el display 7 segments, com els LEDs romandran encesos fins que s'activi el senyal `Ack`, moment en que s'hauran d'apagar fins que es torni a introduir una altra nota.

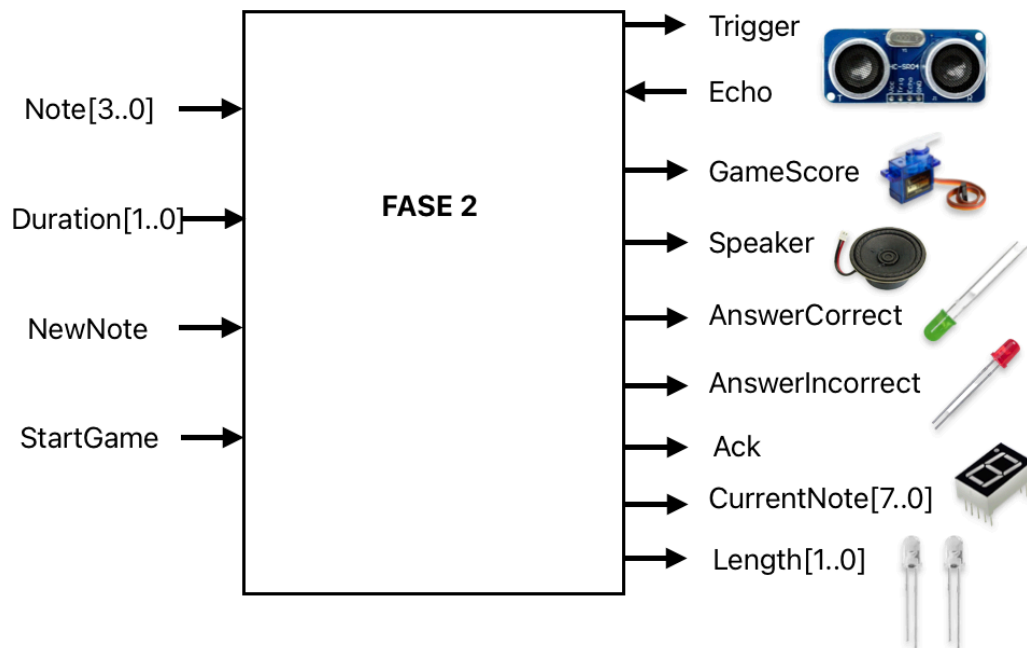
Consideracions importants

1. El jugador podrà inserir un màxim de 16 notes. Podeu assumir que les tecles premudes sempre seran números dins del rang [0, 6] o bé el '#'.
2. Mai es donarà l'ordre de començar una nova partida (tecla '#') si no s'ha introduït com a mínim una nota.
3. S'ha d'utilitzar una memòria EEPROM per a la conversió de les tecles del teclat de matriu.
4. El model d'EEPROM a utilitzar és la 28C256 o 27C256 (en cas de voler utilitzar un model equivalent, consulteu-ho per escrit mitjançant el fòrum de dubtes de pràctiques).
5. Cal controlar els rebots (d'entrada i sortida) del teclat matriu mitjançant una espera d'uns 16 ms. No es permet filtrar els rebots del teclat de matriu mitjançant filtres analògics.
6. Aquesta fase de la pràctica s'ha de resoldre amb, com a mínim, un sistema seqüencial síncron.
7. Els sistemes combinacionals asíncrons (AND, OR, NOT, ...) necessaris per resoldre aquesta fase s'han d'implementar utilitzant el kit DE10-LITE o bé GAL(s). No s'accepta l'ús d'aquests dispositius per a altres funcionalitats (per exemple elements de memorització o comptadors).
8. El model de GAL a utilitzar és la GAL22V10 o GAL20V8.
9. Només es poden utilitzar cables de *wire wrap*.
10. És obligatori que tots els circuits integrats que s'utilitzin a la pràctica siguin de la família 74LS excepte les GALs, la memòria EEPROM i l'oscil·lador.
11. Temporalment, podeu simular el funcionament de l'`ACK` mitjançant un polsador/*switch* llurs rebots podrien arribar a filtrar amb un filtre analògic si us fes falta.
12. En cas de no poder localitzar algun circuit integrat de la família 74LS, es pot utilitzar algun que sigui equivalent d'alguna altra família amb prèvia autorització (per escrit) mitjançant el fòrum de dubtes de pràctiques.
13. L'oscil·lador a utilitzar és un únic NE-555 funcionant en mode astable a una freqüència de 1000 Hz i un *Duty Cycle* el més proper possible al 50%.
14. Per al lliurament d'aquesta fase, cal entregar un fitxer .zip que contingui:
 - Una memòria que satisfaci les especificacions de l'Annex 1.
 - Dues fotografies de la placa, una des de sobre i una des de sota.
 - Un fitxer .txt amb l'enllaç a un vídeo mostrant el correcte funcionament de la placa on es vegi la cara de tots els integrants del grup.
 - L'arxiu .hex de la memòria EEPROM, així com els fitxers del projecte utilitzats per a la programació dels sistemes combinacionals (tant si s'ha realitzat amb GALs o amb el kit DE10-LITE).
15. El nom del fitxer .zip ha de seguir el següent format:
 YYYY.MM.DD-SDM-2425-P1-F1-login1-login2.zip
 Per exemple: 2024.10.20-SDM-2425-P1-F1-Dante.Alighieri-Guido.Cavalcanti.zip
16. Els arxius dipositats a l'estudi hauran de correspondre als utilitzats en l'entrevista.

Fase 2 – Lògica del joc

La segona fase té com a objectiu implementar la pròpia dinàmica del joc, la qual consta de dues parts: la lògica del joc i la gestió del resultat obtingut. Aquesta segona fase s'ha de resoldre mitjançant un microcontrolador PIC18F4321 programat exclusivament en llenguatge *assembler*.

Aquesta Fase 2 tindrà les següents entrades i sortides:



Descripció de les entrades i sortides del sistema

Tal i com es pot veure a la figura anterior, la Fase 2 fa ús dels senyals que ja s'utilitzaven a la Fase 1 (Note[3..0], Duration[1..0], NewNote i StartGame). Ara se n'afegeixen de nous per controlar la lògica del joc:

- **Trigger:** Senyal de sortida que indica al sensor d'ultrasons que ha d'iniciar una nova mesura.
- **Echo:** Senyal d'entrada provinent del sensor d'ultrasons que permetrà determinar la distància entre la mà i el propi sensor.
- **GameScore:** Senyal PWM de sortida que representarà, mitjançant un servomotor la puntuació obtinguda durant la partida. Això és el nombre total de notes encertades respecte el total de notes de la melodia.
- **Speaker:** Senyal PWM de sortida que permetrà emetre sons mitjançant un altaveu.
- **AnswerCorrect:** Senyal de sortida que permetrà visualitzar mitjançant un LED de color verd si la nota que s'està introduint és correcta. Sempre que s'encengui aquest LED s'haurà d'apagar AnswerIncorrect.

- `AnswerIncorrect`: Senyal de sortida que permetrà visualitzar mitjançant un LED de color vermell si la nota que s'està introduint NO és correcta. Sempre que s'encengui aquest LED s'haurà d'apagar `AnswerCorrect`.
- `Length[1..0]`: Senyal de sortida que permetrà visualitzar mitjançant dos LEDs la durada en temps de la nota que ha d'introduir l'usuari.
- `CurrentNote[7..0]`: Bus de dades de sortida connectat a un display 7-segments que conté la nota musical que l'usuari ha d'introduir mitjançant el sensor d'ultrasons.

Funcionament del sistema

En aquesta segona fase de la pràctica caldrà, per una banda, emmagatzemar la informació de la Fase 1 i, per altra, implementar la lògica del joc així com el control dels perifèrics corresponents.

Emmagatzematge de dades

Cada vegada que s'activi el senyal `NewNote`, caldrà emmagatzemar la informació dels busos `Note[3..0]` i `Duration[1..0]` a la memòria de dades del PIC18F4321. A continuació, caldrà activar el senyal `Ack` esperant a que es torni a activar el senyal `NewNote` o bé l'`StartGame`.

Lògica del joc i control de perifèrics

Quan s'activi el senyal `StartGame` s'iniciarà la lògica del joc. En aquest moment, el microcontrolador s'haurà d'encarregar de mostrar la seqüència de notes que ha emmagatzemat prèviament. Per cada nota caldrà:

1. Mostrar el valor de la següent nota emmagatzemada al display 7 segments (`CurrentNote[7..0]`).
2. Mostrar la durada de la nota emmagatzemada als LEDs `Length[1..0]`. Si la durada és 1 segon, els LEDs valdran "01", per 2 segons els LEDs valdran "10" i per 3 segons els LEDs valdran "11".
3. Continuament:
 - a. Mesurar amb el sensor d'ultrasons la distància a la que l'usuari posa la mà.
 - b. En funció de la distància mesurada reproduir la seva nota associada A través del senyal `Speaker`. Per tant, caldrà assignar a cada nota un rang de distància. Per exemple, de 0 cm a 10 cm un Do, de 10 cm a 20 cm un Re, ...
 - c. Comprovar si la nota que s'està reproduint correspon amb la nota que s'està mostrant pel display 7 segments.
 - i. Si hi correspon ininterrompudament durant 500 ms:
 1. S'apagaran els dos LEDs `AnswerIncorrect` i `AnswerCorrect`.
 2. Es començarà a comptar el temps que ha de durar aquella nota en funció de la melodia emmagatzemada (pas 2.d).
 - ii. Si en un temps de 3 segons la nota que s'està reproduint no correspon amb la que s'està mostrant pel display 7segments, es donarà la nota per incorrecta (s'activarà el senyal `AnswerIncorrect`) i es procedirà a mostrar-ne la següent (pas 1).
 - d. Esperar el temps que estipuli la durada de la nota a la melodia (1, 2, o 3 segons).
 - i. Si en algun moment durant aquest interval de temps es detecta que la nota que s'està reproduint no coincideix amb la nota que s'està mostrant al display,

- es donarà la nota per incorrecta (s'activarà el senyal `AnswerIncorrect`) i es procedirà a mostrar-ne la següent (pas 1).
- ii. Si durant aquest interval de temps la nota que s'està reproduint sempre coincideix amb la nota que s'està mostrant al display, es donarà la nota per correcta (s'activarà el senyal `AnswerCorrect`) i es procedirà a mostrar-ne la següent (pas 1).

En tot moment, caldrà mostrar la puntuació de la partida a través d'un servomotor (senyal `GameScore`). Concretament, aquest servomotor tindrà una agulla que indicarà el percentatge de notes encertades respecte les notes totals de la melodia. Per exemple, si una melodia té 10 notes, per cada encert caldrà sumar al servomotor un 10% d'inclinació.

Quan s'hagin reproduït totes les notes de la melodia, la Fase 2 romandrà bloquejada mostrant un “-“ pel display (`CurrentNote[7..0]`) i mantenint l'indicador de puntuació (senyal `GameScore`) fins que no s'activi de nou `PCI`.

Consideracions importants

1. El pulsador del pin de Reset del microcontrolador es pot utilitzar com a `PCI`.
2. En iniciar una partida (`PCI`) el servomotor s'haurà d'inicialitzar a 0° i tots els LEDs hauran d'estar apagats.
3. El rang d'interacció amb el sensor d'ultrasons és de, com a mínim, 50 cm. Es a dir, suposant un rang de 50 cm la reproducció de les 7 notes haurà de produir-se de 0 cm a 50 cm de distància entre la mà i el sensor en rangs equidistants (cada nota haurà de tenir un rang associat equivalent a una setena part dels 50 cm totals).
4. S'ha de poder diferenciar clarament entre les 7 notes possibles a reproduir mitjançant el senyal `Speaker`.
5. Tots els perifèrics han d'estar físicament enganxats/soldats o bé a la PCB o bé a la placa de topes de la Fase 1 evitant utilitzar cables entre la placa i el perifèric sempre que es pugui.
6. Per evitar sorolls i mals contactes, la connexió entre la PCB i la placa de topes no es pot fer amb cables.
7. Per implementar aquesta fase, es recomana utilitzar la mateixa placa de la fase anterior, amb l'opció de fer ús, també, de la PCB utilitzada a classe.
8. Només es poden utilitzar cables de *wire wrap*.
9. Els servomotors normalment funcionen amb senyals PWM de 50 Hz. El temps a "1" d'aquest senyal va de $\sim 0.5\text{ ms}$ (corresponent a 0°) a $\sim 2.5\text{ ms}$ (corresponent a 180°). Es recomana provar en un projecte a part el funcionament dels servomotors per conèixer el rang exacte del vostre i els passos de temps necessaris per canviar la rotació un grau:

$$\Delta = \frac{T_{high}@180^\circ - T_{high}@0^\circ}{180}$$

10. El servomotors poden produir soroll elèctric que pot afectar el microcontrolador. Per aquest motiu, es recomana alimentar els servomotors utilitzant una font d'alimentació externa. Recorda que la massa del microcontrolador i la massa de la font externa hauran d'estar connectades.
11. El model del sensor ultrasònic ha de ser HC-SR04. En cas de voler utilitzar un model equivalent, consulteu-ho per escrit mitjançant el fòrum de dubtes de pràctiques.
12. S'ha d'utilitzar una etapa de potència (LM386 o similar) per excitar l'altaveu (`Speaker`).
13. Per al lliurament d'aquesta fase, cal entregar un fitxer .zip que contingui:
 - La memòria que satisfaci la normativa de pràctiques i les especificacions de l'Annex 1.
 - Dues fotografies de la placa, una des de sobre i una des de sota.
 - Un fitxer .txt amb l'enllaç a un vídeo mostrant el correcte funcionament de la placa on es vegi la cara de tots els integrants del grup.
 - Una carpeta amb el projecte de MPLAB X.
14. El nom del fitxer .zip ha de seguir el següent format:
YYYY.MM.DD-SDM-2425-P1-F2-login1-login2.zip
Per exemple: 2025.01.09-SDM-2425-P1-F2-Sherlock.Holmes-John.Watson.zip

Annex 1: Seccions que ha de tenir la memòria de cada fase

La memòria de cada fase haurà de complir les següents especificacions:

1. Les portades d'aquest document son **les portades oficials de les pràctiques**. N'heu d'imprimir les dues còpies i portar-les a l'entrevista:
 - a. **Còpia per a l'alumne**. Portada que actuarà de comprovant, ja que serà segellada immediatament després d'una correcta entrega de la pràctica. Per tant, **aquesta portada no s'ha d'adjuntar a la memòria**, l'haureu de dur impresa el dia del lliurament.
 - b. **Portada de la memòria**. Portada que serà la primera pàgina de la memòria que cal entregar.
2. Ambdues portades han de tenir **omplerts tots els camps** (login, nom i cognoms de tots els membres del grup, i data de lliurament).
3. La memòria, en la seva totalitat, s'ha de realitzar a **ordinador (incloent les portades)**.
4. La memòria s'ha d'entregar amb les **pàgines numerades**, per tant, contindrà un **índex** d'apartats.
5. La memòria s'ha d'entregar amb **tots els continguts especificats** per a cadascuna de les fases.

Com a mínim, la memòria de cada fase haurà de tenir els següents apartats:

1. **Portades i índex.**
2. **Síntesi de l'enunciat:** breu resum de l'enunciat de la pràctica redactat per vosaltres mateixos.

FASE 1

- a. **Plantejament:** explicació del perquè del disseny que s'ha realitzat per tal de resoldre la pràctica.
- b. **Diagrama de mòduls:** esquema, a grans trets, dels diferents blocs implementats per tal de resoldre la pràctica juntament amb una explicació d'aquests.
- c. **Disseny de la màquina d'estats:**
 - **Unitat de control:**
 - **Disseny de la unitat de sincronització.** Explicació i diagrama de mòduls. Explicació de com s'han sincronitzat les senyals entre Fase 1 i Fase 2.
 - **Disseny del SSS (Sistema Seqüencial Síncron).** Màquina d'estats (diagrama d'estats UML on han de constar totes les condicions de cadascun dels estats, ja siguin condicions d'entrada, de sortida, o bé, de permanència).
 - **Disseny de la interfície.** Equacions que conformen cadascun dels senyals de la interfície, és a dir, implementació de les condicions de cadascun dels estats (ja siguin d'entrada, de sortida, o bé, de permanència).
 - **Unitat de procés:**
 - **Clock del sistema.** NE555. Explicació del seu esquema i del valor de resistències escollit.
 - **ALU (Unitat Aritmètico-Lògica).** Explicació dels diferents dispositius usats (comptadors, comparadors...).

- **Unitat de memorització.** Explicació dels diferents dispositius de memorització usats (memòries, registres...).
- **Implementació del SSS (Sistema Seqüencial Síncron).** Explicació detallada i diagrama de mòduls de com s'ha implementat la màquina d'estats (registre, comptador,...).
- **Fitxers .pld de les GAL's o fitxers de Quartus.**

FASE 2

- a. **Disseny de software:** Explicació de com estarà estructurat el software del microcontrolador.
- b. **Configuracions del microcontrolador:** Explicacions i justificacions de les configuracions utilitzades a nivell general com pins, ports, registres, interrupcions, timer, etc.
- c. **Diagrama d'activitat del software:** on es pugui veure el funcionament general del software del microcontrolador.

3. Esquema elèctric: Esquema detallat, a nivell de *pin-out* i connexionat, de tots els dispositius usats (incloses les resistències i tots els condensadors) per tal de resoldre la pràctica. Per a cada placa que implementeu caldrà presentar el seu disseny OrCAD, Proteus (o equivalent).

Els esquemàtics han de ser fidedignes al què hi ha a la placa i és per això que sempre s'han de respectar les consideracions següents:

- i. Tots els components han d'estar numerats correlativament. (e.g. Q1, Q2, Q3, R1, R2, IC1, IC2)
- ii. Tots els components han de dur indicat el seu valor (e.g. BD136, 2K2).
- iii. Quan s'utilitza un bus, cal que quedi clar l'ordre dels components del bus (i.e. Bus[0], Bus[1], Bus[2], ... --> Bus[2..0]).
- iv. Cal que tots els circuits integrats de l'esquemàtic reflecteixin la realitat, això vol dir que:
 - Han de tenir tots els pins numerats (els que queden a l'aire els podeu ocultar).
 - Els pins d'alimentació i massa han d'aparèixer a l'esquema.
 - Cada pin ha de dur, a més del número de pin del circuit integrat real, un nom mnemotècnic que indiqui què és aquell pin (i.e. VCC, GND, Y0, Y1, etc.).
 - Els pins que estan a l'aire i per tant no s'utilitzen i no estan ocults, cal "connectar-los" a no connexió (símbol x).
- v. Els connectors també han d'aparèixer a l'esquemàtic així com el nombre de pins i el què hi ha connectat a cada pin s'ha de correspondre amb el què hi ha a la placa.

4. Problemes observats: Explicació dels diferents problemes trobats tant en el procés de disseny com d'implementació de la pràctica.

5. Conclusions: Apartat que ha de reflectir què heu extret de la realització de la pràctica en qüestió.

6. Planificació: S'ha de realitzar una calendarització de cadascuna de les fases de les pràctiques. Aquesta planificació ha de recollir el llistat de tasques i la durada d'aquestes detallades per cadascuna de les fases en un diagrama de Gantt. Així, per cada fase cal fer dos diagrames de Gantt:

- Planificació de les tasques i la seva durada abans de començar el desenvolupament de la fase.
- Registre de tasques per a la realització de la fase (càrrega real registrada durant la realització de la fase).

Cal que en aquest punt de la memòria, afegiu els dos diagrames i expliqueu les desviacions patides entre el primer i el segon diagrama.

Annex 2: Especificacions del hardware

La placa implementada per tal de resoldre la Fase 1 i, opcionalment, la Fase 2, haurà de complir les següents especificacions:

1. Ha de ser **de baquelita o fibra de vidre** en la seva totalitat. En cap cas s'acceptarà una pràctica implementada amb una placa insolada o sobre *proto-board*.
2. Ha de tenir un mínim de **quatre potes**, les quals s'han de situar a **1 cm dels extrems** de cada placa. Si les dimensions de la placa són considerables, s'acceptarà la presència de sis potes, sempre i quan compleixin la restricció referent a la seva col·locació. En cap cas s'acceptarà una placa que tingui més de sis potes o menys de quatre.
3. La placa **no pot tenir forats**, tret d'aquells que siguin estrictament necessaris per tal de posar les potes i els borns de l'alimentació.
4. Ha de tenir una **adequada connexió de l'alimentació**. S'entén per adequat l'ús de borns. A més, cal **minimitzar el soroll de commutació** mitjançant la realització de pistes de massa i alimentació properes, paral·leles i amb el mínim d'angles rectes possibles.
5. Les pistes poden ésser d'estany, o bé, es poden realitzar amb un cable pelat soldat cada 3 forats de la placa de baquelita. Endemés, s'ha de fer ús de condensadors de desacoblament, els quals es connecten entre la massa i l'alimentació de cadascun dels circuits integrats. En cap cas s'acceptarà una placa que no tingui borns de connexió per a les bananes de la font d'alimentació o no minimitzi el soroll de commutació.
6. La placa ha de tenir un quadrat central d'**1x1 cm lliure de dispositius i cablejat**. Aquest espai serà usat, immediatament després de l'entrega, per tal de fer un forat a la placa. En cap cas s'acceptarà una placa que no disposi d'aquest espai.

Annex 3: Funcionament del sensor d'ultrasons HC-SR04

Els sensors d'ultrasons, com l'HC-SR04, es poden utilitzar per mesurar la distància entre el sensor i l'objecte més proper en línia recta. Aquests sensors funcionen emetent un so a una freqüència ultrasònica i mesurant el temps que aquest triga en ser reflectit i retornat després de col·lidir amb un objecte.

Atès que el so viatja a una velocitat de 343 m/s, és possible calcular la distància a l'objecte si es coneix el temps que el so ha estat viatjant.

La fórmula per calcular la distància és:
$$distància = \frac{velocitat \times temps}{2}$$

Es divideix per 2 perquè el so ha de viatjar fins a l'objecte i tornar al sensor.

Funcionament del sensor HC-SR04:

El sensor HC-SR04 es controla mitjançant dues senyals: una de sortida ('Trigger') i una d'entrada ('Echo').

1. Activació del sensor: El sensor HC-SR04 espera en estat passiu fins que rep una senyal a 1 pel canal Trigger amb una durada mínima de 10 microsegons (us). Un cop rebuda aquesta senyal, el sensor emet un pols ultrasònic.
2. Recepció de l'eco: Quan el pols ultrasònic emès rebota en un objecte i torna al sensor, aquest activa el senyal Echo. La durada d'aquesta senyal Echo correspon al temps total que el pols ultrasònic ha trigat a viatjar fins a l'objecte i tornar.
3. Càlcul de la distància: Un cop mesurada la durada de l'eco s'ha d'utilitzar la fórmula esmentada anteriorment per tal de calcular la distància.

D'aquesta manera, per mesurar una distància s'ha d'activar el canal Trigger durant 10 us i s'ha d'esperar a que s'activi el canal Echo. Un cop s'activi s'ha de mesurar quant de temps està actiu i emprar la fórmula per calcular la distància.

Podeu revisar els diagrames de temps en aquest enllaç: <https://kysungheo.com/wp-content/uploads/2022/03/HC-SR04-ETC.pdf>