

# Verificació d'amplificadors operacionals amb dispositius programables

Òscar Casellas Soler

**Resum**—El treball consisteix en la realització d'un prototip electrònic amb microcontrolador que verifica el funcionament d'un altre dispositiu electrònic: l'amplificador operacional.

El funcionament consisteix en que el microcontrolador verifica el component actuant en un circuit de test (on és l'amplificador operacional) i capturant dades representatives del mateix. Mitjançant aquestes dades, el dispositiu programable determina si funciona correctament i li comunica a l'usuari.

En la realització del treball, es contempla des de l'elecció de components, la realització d'un prototip experimental, la programació del dispositiu programable i l'assemblatge en una placa electrònica (PCB) final.

## I. INTRODUCCIÓ

Dintre de l'àmbit de les tecnologies de fabricació de components electrònics hi ha una altra branca paral·lela que se'n cuida d'assegurar el seu funcionament després de fabricat: el *test* de components electrònics. Aquesta disciplina, que en el seu temps va començar com a darrera opció de la cadena de les tècniques de *troubleshooting* per esbrinar possibles causes del mal funcionament d'equips i productes electrònics, degut al gran avanç de la indústria microelectrònica s'ha convertit en una de les fases més importants que intervenen en la cadena de producció dintre del control de qualitat [1].

Com a principal objectiu, la verificació de components electrònics és la d'assegurar el funcionament per la funció que ha estat dissenyat. No obstant, com a objectius secundaris existeixen altres tipus de test per assegurar altres aspectes i especificacions, com poden ser marges estàtics, dinàmics o fins i tot la durada de vida del propi component [2]. El darrer escenari tot i ser el més desitjable, és pràcticament impossible d'aplicar, doncs el nombre de vectors de test a realitzar incrementa exponencialment quan més especificacions és necessari comprovar. En aquests casos, que és el grup majoritari, l'estratègia consisteix en utilitzar una sèrie de vectors de test, que eficaçment comprovin les combinacions d'entrada més representatives i garanteixin una alta probabilitat del funcionament dispositiu. La implementació de sistemes que realitzin la verificació de circuits integrats analògics, a diferència dels circuits integrats digitals, actualment no és troba tant àmpliament estesa.

Les aplicacions electròniques dedicades a aquesta finalitat emergeixen com a producte de l'aplicació de diverses disciplines dintre del mateix camp i fora del mateix. Principalment, és requereix un ampli coneixement a nivell elèctric, no solament del circuit integrat a verificar, si no també d'altres com és la programació de dispositius programables (microcontroladors, sistemes DSP o FPGA), conversió analògic-digital (A/D i D/A), tractament de dades i sistemes de comunicació, entre

d'altres. Aquests sistemes, en realitat emulen aplicacions per al dispositiu a verificar per crear les variables elèctriques que són capturades com a mesures representatives, per després determinar el funcionament mitjançant un procés de tractament de dades determinat [1]. En l'actualitat aquests instruments són comercialitzats com equips automàtics de tests (ATE).

En l'actualitat els sistemes de test existents son sistemes massa tancats i particulars. En aquest sentit, és desitjable un sistema de test en base a dispositius programables que pugui actualitzar-se, ja sigui amb més eines de test hardware o com a mecanisme per a poder ser gestionats per aplicacions software remotes. Aquest últim mecanisme actualment no està implementat.

El present projecte segueix aquesta línia dels verificadors de components electrònics. L'objectiu consisteix en implementar un sistema electrònic basat en microcontrolador que sigui capaç de verificar el funcionament d'un amplificador operacional. Aquest inclou, el disseny d'una placa de circuit imprès i el programa hardware del microcontrolador que desenvolupa la verificació del dispositiu analògic, mostrant el procés de verificació i el resultat mitjançant un visualitzador LCD. De manera addicional, el resultat també es comunica remotament a un ordinador (tipus PC) via RS-232.

La verificació d'operacionals es limita al 741, el desenvolupament d'una llibreria per a la gama de microcontrolador escollida, així com una aplicació de demostració d'ús d'aquesta llibreria amb la flexibilitat suficient com per poder ser ampliada en futurs projectes amb més utilitats. No és l'objectiu d'aquest treball el desenvolupament d'una eina software en PC que mitjançant la comunicació RS-232 gestioni remotament el verificador. En aquest sentit, destacar que els objectius son el disseny, implementació i posada en funcionament d'un prototip electrònic basat en microcontrolador que verifica el funcionament de l'amplificador 741 i A.O.'s de propòsit general estables a guany unitat (operacionals simples amb encapsulat DIP8).

Al mateix el prototip realitzat pretén ser d'utilitat al Departament d'Electrònica per facilitar la verificació **ràpida** i **eficaç** dels amplificadors operacionals que cada trimestre són repartits en les sessions de laboratori de les assignatures d'Enginyeria de Telecomunicacions i Enginyeria Electrònica.

## II. LA VERIFICACIÓ DE COMPONENTS ELECTRÒNICS: INTRODUCCIÓ ALS MÈTODES I TÈCNiques

En el capítol anterior s'ha destacat que per desenvolupar un verificador de components analògics és necessari tenir un bon coneixement sobre el seu funcionament elèctric. Per exemple,

sabent que és altament improbable que alguna resistència de qualsevol tipus quan s'espatlla és curtcircuitada, elimina molts components d'un circuit quan es sospita que en un circuit hi ha algun tipus de curt-circuit. Un altre punt important és que la majoria de fallades de components son degudes a un ús incorrecte, potser major i tot del 40%. L'ús incorrecte és el resultat o bé de fer treballar el component fora dels seus paràmetres o d'una mala manipulació [2]. El grau, tipus de fallades depenen de diversos factors, com el tipus de component, mètode de fabricació, condicions de treball, etc.

Els objectius del test de components electrònics son principalment, la caracterització del dispositiu, assegurar que compleix les especificacions, conèixer el temps de vida i validar el funcionament del dispositiu [2].

- **Caracterització.** La fase més extensa d'un test és la caracterització i verificació del disseny. L'objectiu és exactament el que indica el nom; verificar que el disseny és correcte i determinar les característiques del dispositiu.
- **Producció.** L'objectiu del test en la producció és assegurar que el dispositiu reuneix les especificacions i funcions correctes.
- **Temps de vida.** La idea és assegurar que els dispositiu funcionarà correctament durant un nombre d'anys especificat.
- **Validació.** Els fabricants necessiten assegurar que tots els dispositius (components) utilitzats en els seus sistemes funcionen correctament i d'acord a les especificacions. Ells mateixos realitzen els tests en tots els components que adquireixen.

Un circuit de test per mesurar el *slew rate* d'un operacional és pot muntar amb un simple inversor de guany unitat. El procediment és el següent: és connecta un generador de polsos a l'entrada, aquest que ha de tenir uns temps de pujada i baixada negligibles comparats amb els *slew rate* l'operacional sota test. Connectar els dos canals d'un oscil·locopi al generador de polsos i a la sortida Vo. La freqüència i amplitud (normalment el nivell serà gran proper a la saturació) s'han d'ajustar fins a poder visualitzar correctament el senyal. El *slew rate* és mesurarà com el pendent de la senyal de sortida visualitzada en l'oscil·locopi.

En aquest apartat, acabem de veure com implementant una aplicació bàsica ens permet verificar el funcionament i mesurar una de les característiques d'un amplificador operacional per a diferents condicions d'entrada.

#### A. Introducció a les tecnologies involucrades en la verificació de circuits integrats analògics

A continuació es definiran algunes de les nombroses tecnologies existents que combinades de manera adequada es poden aplicar en la verificació de components, en concret la dels amplificadors operacionals.

- **Convertidors A/D:** El convertidor analògic digital o ADC (*Analog to Digital Converter*) és un circuit integrat electrònic, que converteix senyals analògiques de corrent o tensió a senyals binàries (nombres digitals).
- **Convertidors D/A:** El convertidor digital analògic o DAC (*Digital to Analog Converter*) és un circuit integrat elec-

trònic, que converteix dades digitals en senyals analògics de corrent o tensió.

- **I2C:** El I2C (*Inter Integrated Circuit Bus*) es tracta d'un bus de comunicacions sèrie i bidireccional de 2 fils per al control eficient entre circuits integrats i mòduls.
- **Sistemes de monitorització:** El sistema de monitorització permet visualitzar diferents paràmetres o informació d'un sistema. Existeixen diferents tipus, com per exemple indicadors lluminosos (leds), displays de 7 segments, LCD's, TFT's, etc.
- **Comunicació sèrie USART:** Es tracta d'un estàndard per al intercanvi sèrie de dades binàries entre equips de comunicacions de dades i circuits terminals de dades. La norma més popular d'aquest estàndard és àmpliament utilitzat i és coneix com a RS232C.
- **Microcontroladors:** Un microcontrolador és un circuit integrat programable que conté tots els components necessaris per controlar el funcionament d'una tasca determinada. Per això, el microcontrolador utilitza molt pocs components associats. Les àrees d'aplicació d'un microcontrolador es poden considerar il·limitades. Una d'aquestes àrees és la que es desenvolupa en el projecte.

### III. EL VERIFICADOR D'AMPLIFICADORS OPERACIONALS

Aquest capítol presenta d'una manera més específica el sistema desenvolupat per abordar la problemàtica dels verificadors d'amplificadors operacionals, que d'ara en endavant anomenarem VAO i constitueix la principal aportació d'aquest projecte. En aquest sentit, s'inicia l'explicació del prototip dissenyat amb una descripció general dels blocs que formen el sistema, per seguidament passar a comentar d'una manera més tècnica i detallada el funcionament de l'esquema elèctric i el software de control del dispositiu programable.

#### A. Diagrama general del VAO

La Figura 1 representa el diagrama de blocs del Verificador d'Amplificadors Operacionals que s'ha implementat. El prototip el formen cinc blocs, on cadascú desenvolupa una funció determinada que es comenta a continuació:

- 1) **Microcontrolador:** És l'element principal del sistema. S'encarrega de generar els senyals de control que corresponen a les referències de voltatge d'entrada de l'operacional i adquirir la sortida d'aquest per verificar si funciona correctament o no. Al mateix temps indica als usuaris la manera de procedir per realitzar el *test*, l'estat en que aquest es troba i els resultats de la verificació.
- 2) **L.C.D.:** És una interfície que s'utilitza per a que l'usuari pugui saber en tot moment com es troba el procés de verificació i que el controlador gestiona per aquesta finalitat.
- 3) **Interfície USART (Universal Synchronous Asynchronous Transmitter):** Conté els dispositius electrònics que s'encarreguen de convertir els nivells de senyal digital TTL del controlador a nivells RS-232, els quals, són compatibles amb els que utilitza el canal (o bus) d'aquest estàndard de comunicació. Aquests elements fan possible establir una comunicació punt a punt amb

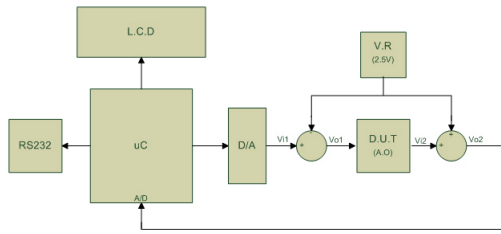


Figura 1. Diagrama de blocs del Verificador d'Amplificadors Operacionals

un dispositiu remot que disposin d'aquest mecanisme com, per exemple, un ordinador tipus PC.

- 4) **Convertidor digital-analògic (D/A)**: És el que s'encarrega de fixar el valor analògic d'entrada de l'amplificador operacional que s'ha de verificar. Aquest valor l'estableix digitalment el controlador per mitjà del seu port de comunicació sèrie I2C (*Inter Integrated Circuit Bus*) i és convertit a un valor analògic per aquest sistema.
- 5) **Bloc de condicionament elèctric de l'operacional (D.U.T., referència de tensió i desplaçadors de nivell)**: Constitueix la part del circuit necessària per determinar el funcionament elèctric de l'amplificador operacional a verificar. El D.U.T. (*Device Under Test*) o dispositiu a testejar és el sistema principal d'aquest bloc que conté el zòcal on s'insereix l'operacional a verificar i que implementa una de les seves aplicacions més bàsiques: el *seguidor de tensió*. Els desplaçadors de nivell (blocs restador i sumador), permeten verificar l'element tant per tensions positives com negatives.

El funcionament de l'amplificador operacional es verifica a partir dels senyals generades pel microcontrolador sobre l'operacional a validar, el qual la seva sortida és realimentada a través del port A/D del microcontrolador i es compara amb uns paràmetres guardats en la memòria.

La verificació de l'operacional comença quan l'usuari dona l'ordre corresponent al controlador programable mitjançant un pulsador extern. Quan el controlador rep aquesta ordre, la verificació és realitzada enviant ràfegues de valors digitals al convertidor D/A, mitjançant el port I2C, que són transformats a valors analògics i posats a l'entrada de l'operacional. Per cada valor, el circuit d'acondicionament de l'operacional genera una sortida analògica que torna a ser capturada pel controlador mitjançant un convertidor A/D intern i comparada. Llavors, el controlador compara aquest valor amb un rang prèviament configurat i mostra per la pantalla del LCD un missatge indicant si el dispositiu integrat és defectuós o no.

Així, els valors que el controlador envia al circuit de condicionament permet generar una forma d'ona discreta en forma de dent de serra que serveix per verificar l'operacional tant per valors analògics positius com negatius. Com que el convertidor D/A únicament pot generar valors positius, es necessita utilitzar desplaçadors de nivell tant abans com després del bloc D.U.T. per verificar l'operacional amb tensions bipolars: un que disminueixi el valor de referència per poder

obtenir valors negatius (anterior) i l'altre que permeti tornar a situar el valor dins del rang d'adquisició analògica del convertidor A/D intern del controlador. El valor de tensió generat pel circuit de referència determina el desplaçament de nivell.

## B. Esquema elèctric

1) *Circuit d'alimentació*: El circuit d'alimentació, Figura 2, a més de proporcionar l'energia necessària per a que el sistema funcioni juga un altre paper important fixant les tensions adients a altres punts del circuit. Aquest és el cas, per exemple, dels reguladors de tensió del circuit, els valors de referència per als convertidors A/D i D/A, o el *offset* per als desplaçadors de nivell.

Per això s'han col·locat tres bateries (BT1-BT3) de 9 V substituïbles quan aquestes s'esgoten. Dues d'aquestes estan connectades en sèrie per poder configurar tensions negatives en punts determinats del circuit. Amb elles s'obtenen dos fonts amb valors diferents: una simètrica  $\pm 9\text{V}$  que és utilitzada (convertidor D/A, A/D i operacionals) en la part analògica del sistema i una altre de 5 V per a la part digital que s'aconsegueix mitjançant el regulador LM7805.

2) *Circuit condicionador del AOP. Desplaçadors de nivell*: En la Secció 2 es va comentar que per verificar un operacional es necessita aplicar una tensió a l'entrada del seu circuit de condicionament (veure Figura 2) i comprovar que la sortida estigui dins dels marges de funcionament. En aquest cas, com que l'aplicació que serveix per verificar el operacional (D.U.T) correspon a un *seguidor de tensió* el procés de comparació es simplifica bastant ja que els valors d'entrada/sortida són els mateixos.

Com que també s'han de comprovar valors negatius, és necessari utilitzar desplaçadors de nivell tant a l'entrada com a la sortida del D.U.T. El controlador genera valors digitals que corresponen a quatre tensions analògiques en el convertidor D/A (entre 0 i 4 V). Aquestes tensions són desplaçades un *offset* negatiu de 2.5 V mitjançant un restador que permet fer proves per valors positius i negatius, per després tornar a recuperar el valor inicial amb un *offset* positiu mitjançant un sumador. Per implementar el desplaçador de nivell negatiu, s'utilitza un restador format per un operacional en configuració diferencial. Totes les resistències d'aquest bloc s'agafen del mateix valor (10 k $\Omega$ ).

Com que l'operacional a verificar està implementant l'aplicació de seguidor de tensió, en cas d'un correcte funcionament la seva tensió de sortida tindrà el mateix valor que la sortida del restador. En aquest punt, per tornar a desplaçar el senyal en sentit invers, un altre bloc realitza les funcions de sumador, implementant amb un operacional en configuració sumador. En aquest bloc, també totes les resistències són del mateix valor (10 k $\Omega$ ).

L'últim bloc de condicionament de l'operacional és el circuit que implementa la referència de tensió que en aquest cas ha estat implementat mitjançant el dispositiu integrat LM366Z25. Aquest dispositiu també l'ús d'una resistència  $R$  per polaritzar el seu punt de treball. Aquesta resistència, ha estat dissenyada per no carregar el funcionament del dispositiu quan el seu

càtode està connectat a les entrades dels desplaçadors de nivell, això equival a dir que amb els dos blocs funcionant el seu consum de corrent ha d'estar entre  $400 \mu A$  i  $10 mA$ . Per garantir aquesta especificació, és suficient amb una resistència  $R = 3k3 \Omega$ .

3) *Conversió D/A*: Un dispositiu integrat que realitza aquesta funció és el PCF8591P [?], [3] de la casa *Philips Semiconductors*, que està format per quatre A/D's i un D/A de 8 bits connectables com a entrades i sortides a un bus I2C, en una sola peça [3]. Tot i que les seves característiques no són gaire bones, el fet de que permeti expandir els perifèrics d'entrada analògics del controlador i l'ús del port de comunicacions suposa un gran avantatge en comparació amb convertidors D/A convencionals, doncs permet expandir el nombre de perifèrics entrada/sortida del controlador per futures aplicacions i posar en marxa ràpidament l'aplicació.

Pel que fa a les característiques elèctriques d'aquest dispositiu, tant el convertidor A/D com D/A utilitzen una tensió de referència de 5 V que s'agafa del propi sistema d'alimentació. A més, en aquest últim és necessari habilitar l'oscil·lador intern situant a massa el terminal 12. Amb aquests valors la resolució (*LSB*) és de 19.45 mV amb un fons d'escala de 4.98 V. El senyal de sortida analògic s'agafa en el terminal 15, mentre que les entrades analògiques (terminals 1-4) no són necessàries per aquesta aplicació i es deixen sense connectar. Com que es tracta d'un dispositiu digital, també és convenient incorporar una capacitat ( $C_6$ ) en la línia d'alimentació per garantir estabilitat en el seu valor.

Pel que fa referència a les connexions dels elements digitals (veure Figura 2), comentar que les connexions corresponents a les dades (*SDA*) i el rellotge (*SCL*) són el terminal 9 i 10 respectivament, i han d'anar connectats als terminals del controlador que s'encarreguen d'aquesta funció. Aquestes connexions precisen de dues resistències addicionals (anomenades *pull-up*) que s'utilitzen per facilitar les transicions de tensió ràpides presents en els senyals del bus de comunicació. El valor utilitzat ( $4K7 \Omega$ ) és el recomanat pel fabricant segons les limitacions de velocitat d'aquest sistema de comunicació. Tres terminals (A0 - A2) serveixen per configurar la direcció que tindrà aquest dispositiu dintre del bus I2C. En aquest cas, s'ha establert la seva entrada a nivell alt, la qual cosa suposa el valor de direccionament '4FH' dintre d'aquest sistema de comunicació.

4) *Circuit de visualització*: El sistema verificador utilitza un dispositiu LCD (dues línies de 16 caràcters) per informar visualment sobre el procés de la verificació de l'operacional, així com el resultat del mateix. El LCD utilitzat (PC1602F) és un model de baix cost amb il·luminació, comercialitzat per la companyia Powertip.

Respecte a les seves característiques elèctriques, s'ha de destacar que és pot alimentar entre un rang de +2.7 fins a +5.5 V, la regulació del contrast es configura externament amb l'ús d'un potenciòmetre (de  $10 k\Omega$ ) connectat al terminal  $V_0$  i els pins de dades i comandes accepten nivells de tensió TTL.es i la facilitat de programació. En canvi, l'aspecte negatiu és que requereix un nombre elevat de ports d'entrada del mòdul LCD.

Respecte a les característiques del seu funcionament digital, destacar de manera general que el mòdul disposa d'una

zona de memòria RAM (*DDRAM.-Data Display RAM*) on s'emmagatzemen una taula amb el codi ASCII de tots els possibles caràcters que apareixeran en pantalla i existeix una correspondència entre les files de la pantalla i les posicions consecutives de memòria. També té una zona de memòria interna anomenada *CGROM*, on s'emmagatzema una taula amb els 192 caràcters que poden ser visualitzats i cadascun dels caràcters té la seva representació binària de 8 bits [3].

Té 3 modes de funcionament principals: *mode comanda* on el LCD rep instruccions com moure cursor o esborrar display, *mode Caràcter* on el LCD rep caràcters per visualitzar i el *mode "Busy Flag"* on el LCD informa al microcontrolador de que està ocupat mitjançant el bit 7 del bus de dades.

Tenint en compte les seves característiques, s'ha utilitzat el connexió elèctric que mostra la Figura 2 per acoblar-se amb el controlador PIC16F873 de Microchip. Concretament, el port de dades del LCD es connecta al PORTB del microcontrolador, mentre que les línies RS, R/W, E, van connectades a les línies RA1, RA2, RA3 del PORTA del microcontrolador, respectivament. Per últim, destacar que per motius de consum energètic s'ha decidit no utilitzar la il·luminació del panell per aprofitar l'ús de les bateries.

5) *Comunicació sèrie*: En l'aplicació d'aquest treball, la comunicació sèrie s'utilitza de forma alternativa al sistema de monitorització per comunicar els resultats de la verificació del operacional a un terminal remot basat en un ordinador PC. No obstant, i tot i que no està dintre de l'abast d'aquest projecte, la comunicació sèrie s'incorpora al sistema amb l'objectiu de desenvolupar millores en el futur on la gestió de la verificació de dispositius electrònics pugui ser gestionada remotament per *software*.

Encara que són molts els dispositius programables que incorporen el *hardware* de la comunicació *USART* dintre del seu encapsulat, la majoria d'ells presenten uns ports de sortida TTL que no estan preparats als nivells de tensió ( $\pm 12 V$ ) necessaris per aquesta funció. Aquest és el cas del PIC16F873, utilitzat en aquest projecte, al que se li ha d'incorporar un adaptador (també conegut en anglès com *driver* o *interface*) per aquesta funció. Un dels més populars és el transmissor/receptor MAX232. El circuit pot funcionar amb tensions en DC inferiors als nivells de senyal requerits per aquest sistema de comunicació, ja que porta incorporat un sistema que permet doblar el valor d'alimentació (+5V) mitjançant condensadors externs ( $C_1$  i  $C_2$ ) de  $100 nF$  en el model MAX232ACPE.. Com que també es tracta d'un dispositiu digital, és recomanable l'ús de capacitats en l'alimentació ( $C_5$ ) per desacoblar el soroll d'alta freqüència [3].

Sota aquestes consideracions, l'esquema electrònic del sistema de comunicacions RS232 utilitzat en el VAO es basa en la configuració típica proporcionada pel fabricant, que és més que suficient per proporcionar la comunicació sèrie. La connexió mecànica entre ordinador i controlador és realitzada mitjançant un connector DB9 on, en el cas d'una comunicació asíncrona, només cal connectar els terminals 2 (recepció *RxD*), 3 (transmissió *TxD*) i 5 (terra *SG*).

6) *Sistema microcontrolador*: En el mercat existeixen diferents fabricants que ofereixen un ampli catàleg de microcontroladors per a totes les necessitats, però sense cap dubte

un dels microcontroladors més acceptats i coneguts son els microcontroladors PIC fabricats per Microchip, destacant per la simplicitat, facilitat de tipus i la gran quantitat d'eines disponibles en el mercat per treballar amb ell.

Dintre de la gama PIC16FX , el PIC16F873 de 8 bits disposa de recursos de processat necessaris per portar el terme el control del sistema en la verificació d'operacionals ja que incorpora 2 ports E/S digitals de 8 bits i un port E/S de 6 bits analògic/digital configurable. El convertidor A/D pot treballar a una resolució de 10 bits. També conté un port de comunicació sèrie síncron (SPI/I2C), un altre asíncron (USART - RS232), i d'altres recursos i perifèrics auxiliars [6].

Aquestes raons, juntament amb el baix cost en general de tots els elements que intervenen, han estat les causes per les quals s'ha utilitzat aquest dispositiu programable en aquest projecte.

A la Figura 2 es pot observar les connexions elèctriques que són necessàries per a que el controlador pugui executar la tasca que posteriorment se li assignarà gravant el programa corresponent a la seva memòria. Elèctricament, requereix estar configurat amb una alimentació (entre els terminals  $V_{DD}$  i  $V_{SS}$ ) de 2 a 5.5 V, un senyal polsant i periòdic que estableix la velocitat de rellotge desitjada (terminals OSC1 i/o OSC2) i que la condició de reinicialització (MCLR) estigui inhabilitada [4].

Per generar el senyal periòdic s'ha optat per utilitzar un oscil·lador de quars de 4 MHz amb alimentació externa, mentre que la reinicialització hardware del sistema es realitza mitjançant dues resistències in un polsador (R5, R9 i S3). També existeix un circuit semblant, però de funcionament anàleg, que s'utilitza per indicar externament l'inici de la verificació de l'operacional en qüestió (R6, R10 i S2). Per altra banda, el terminal RA0/AN0 s'ha configurat com a entrada analògica i és capturen els valors de sortida de l'operacional que serveixen per determinar el funcionament del mateix.

Tal i com es va comentar el port B s'utilitza en la seva totalitat per enviar les dades del LCD i que es configura per treballar a 8 bits, mentre que els terminals RA1/AN1 (pin 3), RA2/AN2/VREF- i RA3/AN3/VREF+ són les línies de control del visualitzador (RS, R/W i E respectivament). La comunicació sèrie síncrona es realitza mitjançant els terminals RC4/SDI/SDA, que forma part del bus de dades, i el RC3/SCK/SCL que s'utilitza com a rellotge de sincronisme. Per la seva banda, la comunicació asíncrona només requereix terminals per a la transmissió (RC6/TX/CK) i la recepció (RC7/RX/DT) de dades.

Per últim, destacar que per facilitar la gravació del programa sobre el mateix circuit electrònic que desenvolupa l'aplicació s'incorpora un connector RJ12. Per aquesta finalitat són necessàries connectar tres de les sis línies disponibles el terminal RB7/PGD i RB6/PGC als pins 5 i 6 com a bus de dades per transferir el programa i un senyal de rellotge (pin 6) connectat al terminal  $MCLR/V_{pp}$  com a sincronisme per la seva gravació. D'aquesta manera el dispositiu programable pot programar-se amb qualsevol programador compatible que accepti aquesta connexió, com és el cas del ICD2 [7].

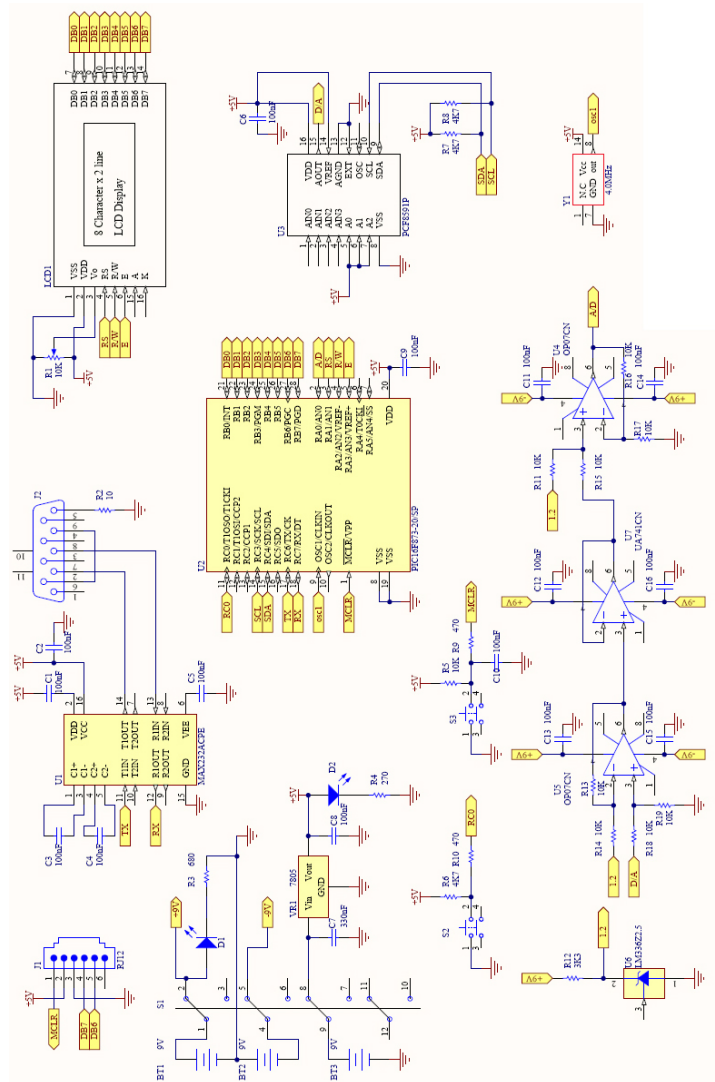


Figura 2. Esquema electrònic

### C. Disseny del programa

Existeixen diversitat de compiladors per als microcontroladors PIC que poden utilitzar-se per generar el codi binari a partir dels fitxers amb el codi font. Normalment, els compiladors d'alt nivell permeten un desenvolupament de l'aplicació on és possible l'abstracció del funcionament del microcontrolador a nivell hardware i, per tant, no cal conèixer el funcionament del dispositiu programable a nivell de registres per realitzar la seva configuració i programació. En qualsevol cas, són les funcions implementades en les llibreries que ofereix el compilador les realitzen els processos automàtics de la traducció d'alt a baix nivell.

Aquesta particularitat, ha provocat que aquesta classe de compiladors hagin tingut una molt bona acceptació en detriment dels llenguatges més propers a la capa física (com l'ensamblador). Per aquesta raó, en aquest projecte s'ha decidit utilitzar l'entorn de desenvolupament de CCS: el PCW [5].

1) *Diagrama de blocs*: L'estructuració del codi del fitxer principal (*main.c*) s'ha pensat per a identificar ràpidament els processos més rellevants i obtenir una fàcil comprensió



a nivell general del funcionament de l'aplicació de cara a realitzar modificacions en el futur. Per altra banda, les funcions corresponents a la verificació de l'operacional s'han inclòs en una llibreria (*testeja\_op.c*) amb la finalitat de poder exportar les funcions a altres dispositius programables i també permetre la seva actualització amb funcions més complexes en el futur sobre la verificació dels operacionals, tot i que en aquesta primera versió inclou funcions del LCD, polsador i comunicació sèrie, entre d'altres.

L'aplicació està organitzada en quatre arxius que, a la seva vegada, presenta la següent dependència a nivell funcional:

- 1) *main.c*: Arxiu principal on es criden les funcions.
- 2) *testeja\_op.c*: Llibreria on estan implementades les funcions de test:
  - a) inicialització ( ).
  - b) presentació ( ).
  - c) lectura\_polsador ( ).
  - d) i2c\_dac(int da).
  - e) verificar\_aop(short int estat).
  - f) missatges\_lcd\_rs232(int m).
- 3) *lcd2.c*: Llibreria de les funcions del mòdul LCD.
  - a) lcd\_leer ( ).
  - b) lcd\_enviar(int dir, int valor).
  - c) lcd\_init ( ).
  - d) lcd\_gotoxy ( byte x, byte y).
  - e) lcd\_putc(char c).
  - f) lcd\_getc(int x, int y).
- 4) *variables.h*. Emmagatzema valors de variables de la llibreria *testeja\_op.c*.

Com es pot apreciar, el fitxer *testeja\_op.c* correspon a la funció principal de l'aplicació. En primer lloc, es realitza les inicialitzacions de tots els dispositius i perifèrics que intervenen en l'aplicació. Aquesta inclou el mòdul LCD i la configuració inicial del hardware del microcontrolador: ports E/S digitals, analògics, sèrie RS232 i I2C. Tot aquest procés es troba implementat dintre de la funció *inicializacio* ( ). A continuació s'implementa el codi que de manera seqüencial mostra un missatge de benvinguda i les instruccions que l'usuari ha de seguir per començar el test del amplificador operacional. Aquest codi està dintre de la funció *presentacio*( ). Com que per iniciar el test es necessita que el pulsador d'inici de test estigui activat, el sistema es queda a l'espera fins que l'usuari dona l'ordre d'inci activant aquest polsador. Aquesta rutina està implementada dintre de la funció *lectura\_polsador* ( ). Si la tecla ha esta pulsada la verificació del A. O. s'inicia enviant una ràfega de valors a l'operacional i adquirint les seves sortides per comparar-les amb uns valors de referència guardats en memòria. Aquest procés està implementat dintre de la funció *verificar\_aop* ( ). Finalment, els resultats es mostren per la pantalla del LCD i en el terminal remot (RS232) mitjançant la funció *missatges\_lcd\_rs232* ( ). En aquest punt, aquest cicle d'execució torna a l'inici per tornar a repetir-se.

La funció *verificar\_aop* ( ) és la més important del programa ja que realitza les tasques principals de la verificació, concretament, detectar l'ordre d'inici de la verificació, enviar les dades de test al convertidor D/A al mateix temps que mostra per pantalla les tensions de test que s'estan verificant, capturar les

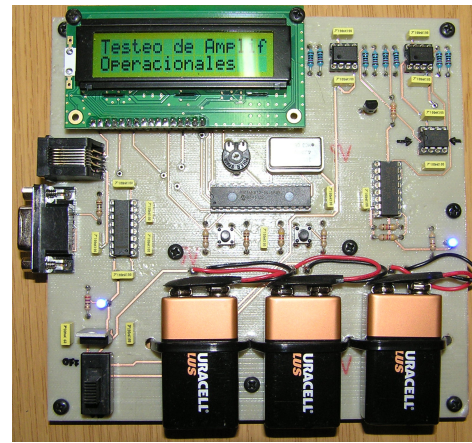


Figura 3. PCB

obtingudes del test amb el A/D i avaluar el seu funcionament.

L'operacional s'avalua comparant valors prèviament emmagatzemats que es carreguen al microcontrolador durant la gravació. Aquests valors contempnen les derives presents en els subsistemes que intervenen en el llaç de verificació: polarització dels desplaçadors de nivell, convertidor A/D intern i D/A i el propi D.U.T; i s'han obtingut després de realitzar varies proves de calibració. Aquests valors es configuren dintre del fitxer variables.h.

#### IV. CONCLUSIONES

En la Secció 1 és van definir com a objectius el disseny, implementació i posada en funcionament (Figura 3 ) d'un prototip electrònic basat en microcontrolador que verifica el funcionament de l'amplificador 741 i A.O.'s de propòsit general, després de veure les Seccions anteriors s'ha demostrat que els objectius s'han complert.

El projecte és millorable seguint dues futures línies de treball, a nivell de hardware i de software.

- A nivell de hardware es podria redissenyar el circuit per mesurar altres paràmetres de l'operacional, com per exemple l'ample de banda, slew rate, augmentar el rang de tensions d'entrada per simular les condicions en un entorn més real i introduir algun sistema de calibració en el bloc de condicionament.
- A nivell de software és podria realitzar una aplicació en LabVIEW que permetés configurar els paràmetres de test del verificador per a un nombre d'operacionals, amb cada operacional amb els paràmetres de test més adients. Aquesta aplicació permetria sel·leccionar l'operacional dintre d'una llista i controlar el procés de verificació remotament. També la mateixa aplicació podria realitzar estadístiques amb de les verificacions.

#### REFERÈNCIES

- [1] Anthony K. Stevens. Introduction to Component Testing.
- [2] G.C. Loveday. Electrònic Testing and Fault Diagnosis
- [3] E. Palacios Municio. Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de Proyectos
- [4] J. M. Angulo Usategui. Microcontroladores PIC, Diseño practico de aplicaciones 2ª parte
- [5] C Compiler Reference Manual, version 4. www.ccsinfo.com
- [6] datasheet PIC16F87x.. www.microchip.com
- [7] MPLAB ICD2 In- Circuit Debugger User's Guide. www.microchip.com