

Práctica 8. Sensor inteligente para medidas ambientales

1 Presentación

Se trata de diseñar y realizar un sistema de medida de presión, temperatura y humedad ambientales, empleando sensores convencionales junto con un microcontrolador (μC) que adquiera la información y la almacene en una memoria EEPROM. El sistema debe registrar los datos durante 1 semana. Posteriormente se leen los datos almacenados mediante una comunicación serie (RS 232) y se presentan en la pantalla de un ordenador personal.

2 Objetivos

Al acabar esta práctica el estudiante será capaz de:

- 1 Comprender las servidumbres impuestas por un sistema electrónico portátil alimentado a baterías
- 2 Diseñar una interfaz para un sensor con salida digital
- 3 Diseñar un termómetro basado en un convertidor temperatura-corriente
- 4 Diseñar sensores inteligentes basados en μC y sensores convencionales con salida analógica y digital
- 5 Programar, simular y depurar circuitos basados en un μC con arquitectura RISC
- 6 Organizar un sistema de medida mínimo basado en un ordenador personal e interfaz de comunicación serie

3 Planteamiento

En un sensor inteligente varias de las tareas propias de un sistema de medida son anexas o están incorporadas en el propio sensor. El controlador o procesador central se comunica directamente con el sensor, normalmente con señales digitales, simplemente para supervisión o información. Pero el procesado de la información del sensor, e incluso la toma de decisiones en algunos casos, se realizan a nivel local.

En esta práctica se trata de diseñar y realizar un sistema capaz de registrar, cada hora, los valores respectivos de la presión, temperatura y humedad ambientales durante 1 semana, y presentar luego su evolución en la pantalla de un ordenador personal. Se supone que la presión puede variar entre 750 y 770 mmHg, la temperatura entre 15 y 35°C, y la humedad relativa entre el 10 y 90%. La exactitud deseada en cada magnitud medida es, respectivamente, ± 5 mmHg, $\pm 0,5^\circ\text{C}$ y $\pm 5\%$. Para los componentes electrónicos se supone que la temperatura ambiente también puede variar 20°C (15°C - 35°C). El sistema debe alimentarse con una pila de 9 V, 400 mAh. Las especificaciones de los sensores están en el manual de especificaciones.

El μC empleado es el PIC16C71, que tiene arquitectura RISC. En consecuencia, su conjunto de instrucciones es pequeño (35) y esto permite familiarizarse rápidamente con su programación. Las instrucciones son de 14 bits y dispone de una memoria EPROM de 1024x14 para almacenar el programa. El bus de datos es de 8 bits. Incluye un convertidor A/D (CAD) con resolución de 8 bits, 4 canales de entrada multiplexados, amplificador de muestreo y retención (S&H), y contador de 8 bits. Dispone de un modo de funcionamiento SLEEP, que permite ahorrar energía cuando algunas tareas sólo hay que hacerlas esporádicamente, como es el caso presente. Para mayor información sobre su arquitectura, instrucciones, mapa de memoria, etc., ver el manual de especificaciones.

El sistema de desarrollo disponible es el PICSTART-16B, que incluye una tarjeta para programar el dispositivo y el software de ensamblado, simulación, y programación.

El μC se utiliza montado en una placa de circuito impreso (ya disponible) donde se encuentran los distintos periféricos que se utilizan en esta práctica. En el Anexo 8.1 se especifican la configuración y las prestaciones de esta placa.

En el Anexo 8.2 se da el listado y se comentan varias rutinas para el μC que se suministran para facilitar la realización de la práctica. Estas rutinas permiten la escritura de la memoria EEPROM mediante un bus I²C y la lectura de la misma desde el PC a través del puerto serie. También se suministra una rutina que permite realizar retardos.

La práctica está distribuida en 5 sesiones. Antes de iniciarla se recomienda leer en el manual de especificaciones los apartados relativos a la arquitectura del μC y sus especificaciones básicas. Las tareas se distribuirán de la siguiente forma:

- Sesión 1: Diseño, montaje y verificación de la interfaz para los sensores de presión, temperatura y humedad
- Sesión 2: Adquisición continua de los datos medidos por los sensores mediante el μC . Familiarización con la programación del μC y utilización del sistema de desarrollo
- Sesiones 3 y 4: Programación definitiva del μC . Pruebas de adquisición de datos y su lectura mediante el PC
- Sesión 5: Lectura y presentación de los datos almacenados

La semana entre las sesiones 4 y 5 se utilizará para la adquisición de las medidas ambientales.

SESIÓN 1

4 Circuito propuesto

Los sensores elegidos son: KP 101 A (Philips) para la presión, AD590J para la temperatura y 2322 691 90001 (Philips) para la humedad relativa. Las especificaciones de estos sensores se dan en el manual correspondiente. La figura 1 muestra los circuitos de acondicionamiento propuestos para cada sensor. Las medidas de presión y temperatura dan salidas analógicas y se adquirirán a través del CAD del μC . La medida de humedad relativa es en forma de frecuencia variable, por lo que no necesita CAD; su adquisición se hará a través del contador del μC .

Los sensores y los circuitos de acondicionamiento se montan en una placa de 'topos' de forma que se puedan construir los circuitos acondicionadores propuestos u otro diseño realizado por los alumnos y **previamente comentado con el profesor**.

Para la posterior conexión a la placa donde está montado el μC se debe respetar la asignación de terminales del conector existente entre las dos placas (CON1). Esta distribución está descrita en el Anexo 8.1.

En esta primera fase, la alimentación de 5 V de los circuitos se obtendrá conectando la fuente de alimentación del laboratorio a los terminales 1 y 2 del CON1 (correspondientes a GND y Vcc). Posteriormente será la placa del μC la que alimentará la placa de sensores.

5 Cálculos, experiencias y mediciones

Determinar los valores de los componentes del diseño elegido. Para el diseño del acondicionador de señal del sensor de presión, la tensión de alimentación del puente es de 2,5 V.

Al ser un sistema alimentado a pilas, hay que analizar el consumo de los circuitos empleados. Teniendo en cuenta que la adquisición de las tres variables medidas se hace sólo una vez cada hora, la alimentación de la parte analógica puede interrumpirse la mayor parte del tiempo.

(Nota: El amplificador operacional recomendado en el circuito de acondicionamiento de señal, TLC2272, es una versión LinCMOS rail-to-rail de bajo consumo. Si no se dispone de él puede sustituirse por un LinCMOS equivalente, TLC272, que no es de rail-to-rail pero es más fácil de encontrar.)

Determinar cuál es el tiempo mínimo durante el que se deben alimentar los circuitos analógicos teniendo en cuenta una estimación del tiempo de estabilización térmica de los circuitos utilizados y el tiempo que necesita el μC para realizar las adquisiciones.

Estimar el consumo de los circuitos analógicos durante una semana teniendo en cuenta que las adquisiciones se realizan cada hora.

Calibración de los sensores:

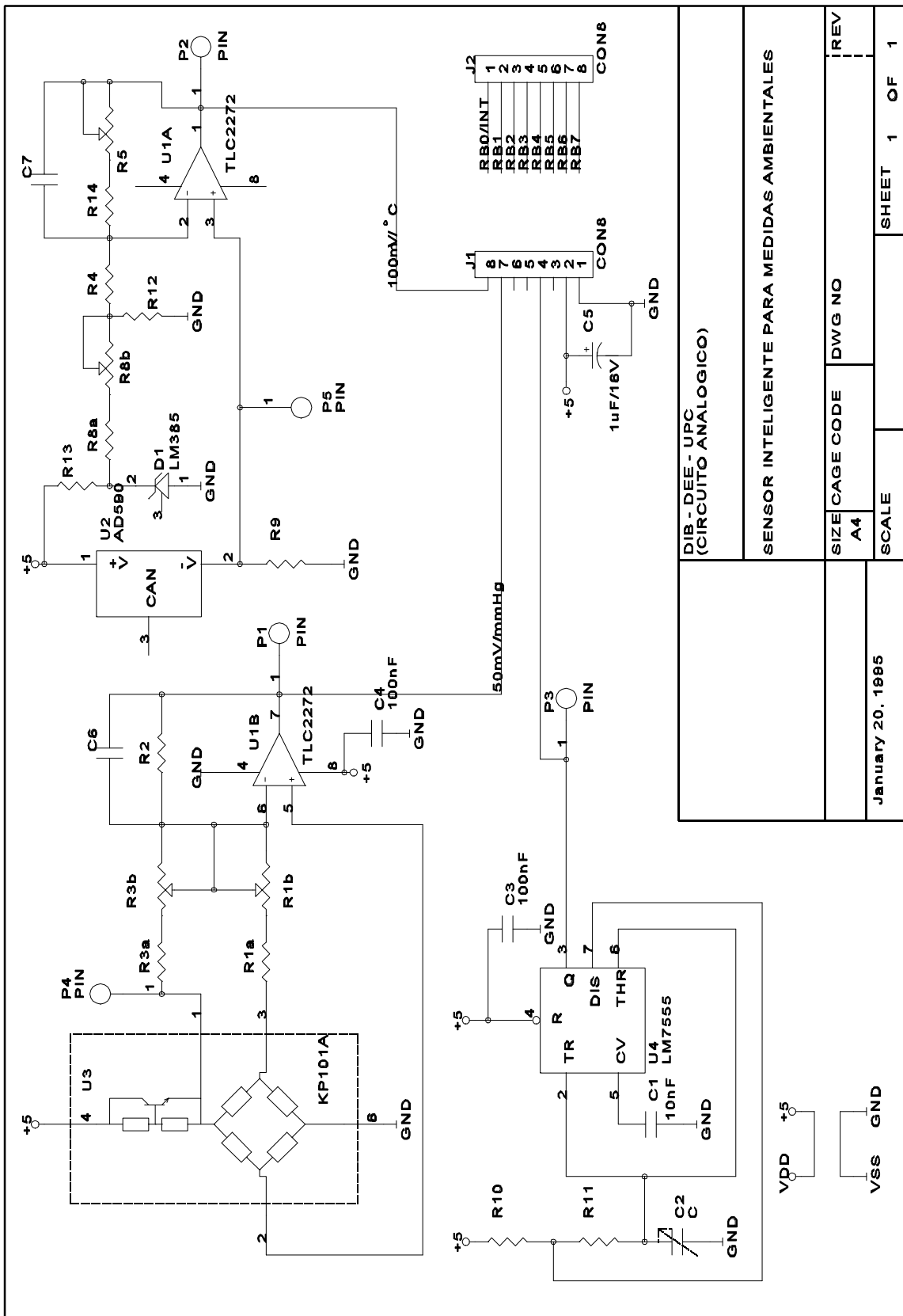
Sensor de presión: Al no disponer en el laboratorio de una referencia de presión cero, la calibración del sensor deberá realizarse a partir de la medida en dos puntos (presión ambiente y presión ambiente más 60 mmHg).

Los pasos a seguir para realizar la calibración del circuito propuesto son:

1. Mediante el ajuste de cero obtener una salida de 1 V, aproximadamente, a la presión ambiente
2. Aumentar el valor de la presión aplicada al sensor en 60 mmHg mediante un esfigmomanómetro. Ajustar la ganancia hasta incrementar la salida en 3 V. De esta forma la sensibilidad del circuito queda ajustada a 50 mV/mmHg
3. Reducir la presión aplicada al sensor hasta la presión ambiente. Volver a ajustar el cero al valor deseado de 1 V

Sensor de temperatura: El sensor de temperatura se ajustará mediante el elemento Peltier tal y como se realizó en las prácticas anteriores.

Sensor de humedad: Al no disponer de una cámara climática en el laboratorio que permita variar la humedad relativa, se tomará la humedad ambiental del momento de la calibración como referencia y a partir de entonces se realizarán las medidas teniendo en cuenta esta referencia.



DIB - DEE - UPC (CIRCUITO ANALOGICO)	
SENSOR INTELIGENTE PARA MEDIDAS AMBIENTALES	
SIZE A4	CAGE CODE DWG NO
January 20, 1995	REV
SCALE	SHEET 1 OF 1

Figura 1. Circuitos de acondicionamiento propuestos

SESIÓN 2

4 Solución propuesta

En esta sesión se pretende la familiarización con las herramientas de desarrollo del μC PIC16C71. Para ello se desarrolla y prueba un programa que permita adquirir las variables medidas por los acondicionadores que se construyeron en la sesión anterior.

El sistema de desarrollo PICSTART-16B consta de una serie de programas que permiten compilar, simular y grabar el programa del μC , así como una placa hardware que permite grabar la EPROM del μC . Los programas del PICSTART-16B son los siguientes:

- Programa MPALC.EXE: permite compilar los programas escritos mediante un editor ASCII. Las instrucciones para la utilización de este programa se encuentran en el fichero MPALC.TXT, del que existe una copia impresa en el laboratorio.

- Programa MPSIM.EXE: permite simular los programas compilados. Las instrucciones para la utilización de este programa se encuentran en el fichero MPSIM.TXT, del que existe una copia impresa en el laboratorio.

- Programa MPSTART.EXE: permite grabar la memoria EPROM del microcontrolador. Este programa dispone de un HELP *on line* para resolver las dudas que se presentan.

Existe un programa, SAMPLE.ASM, que distribuye el fabricante del μC a modo de ejemplo de programación y simulación.

El programa que se propone desarrollar en esta sesión debe adquirir los datos ofrecidos por los sensores y permitir la verificación del software desarrollado.

Este programa deberá constar de los siguientes pasos:

1. Configuración del μC :

- . interrupciones: en esta fase no es necesaria ninguna interrupción.
- . PORT B : en este caso pueden ser todo salidas.
- . entradas analógicas.
- . contador.

2. Activación de la alimentación para la placa analógica

- . se activa el bit 2 de PORT B para conectar el terminal 0 de CON1 a GND (ver Anexo 8.1).
3. Esperar el tiempo de estabilización de los circuitos analógicos
 - . se puede utilizar la rutina suministrada DELAY (ver Anexo 8.2).
 4. Leer entradas AD
 - . seleccionar entrada (registro ADCON0, ver especificaciones del μC).
 - . esperar el tiempo de establecimiento del CAD.
 - . detectar el fin de la conversión.
 - . leer el valor adquirido y almacenar en memoria los datos del μC .
 5. Leer contador
 - . poner el contador a cero.
 - . contar durante un intervalo igual al tiempo de puerta seleccionado.
 - . leer el valor adquirido y almacenarlo en la memoria de datos del μC .
 6. Desconectar la alimentación de la placa analógica
 7. Verificar el buen funcionamiento del programa (por ejemplo activando las salidas libres del PORT B dependiendo de los datos adquiridos)
 8. Volver al punto 2

5 Experiencias y comprobaciones

El programa se deberá escribir con un editor ASCII, compilar y simular antes de grabar la memoria EPROM del μC . Estas pruebas con el simulador deberán ser exhaustivas para evitar la pérdida de tiempo que ocasiona borrar la EPROM del μC (aproximadamente 10 minutos). El programa de simulación permite generar un fichero de estímulos para poder verificar el buen funcionamiento del programa (el fichero de estímulos no permite actuar sobre las entradas analógicas pero sí sobre el control del CAD).

En este momento sólo nos interesa conectar el bit 2 del PORTB al transistor MOS que permite alimentar la circuitería analógica, dejando los otros bits accesibles como entrada o salida en el CON1 para verificar el funcionamiento del programa desarrollado. Para conseguir esto hay que configurar los microinterruptores de la placa del μC adecuadamente (ver Anexo 8.1).

En esta sesión es interesante poder variar fácilmente las entradas que debe adquirir el μC , por lo que se aconseja no conectar los amplificadores y sensores montados anteriormente sino conectar potenciómetros que permitan variar las entradas analógicas y utilizar el generador de funciones del puesto de trabajo para generar la entrada de pulsos de frecuencia variable.

Una posibilidad para visualizar el funcionamiento del μC consiste en activar alguna salida dependiendo de las entradas que podemos modificar (la tensión de las dos entradas a los CAD y la frecuencia de la señal aplicada al contador). Un ejemplo puede ser activar dos salidas con los dos bits más significativos de los datos adquiridos de forma que podamos presentar estas señales en el osciloscopio tal y como aparece en la figura 2.

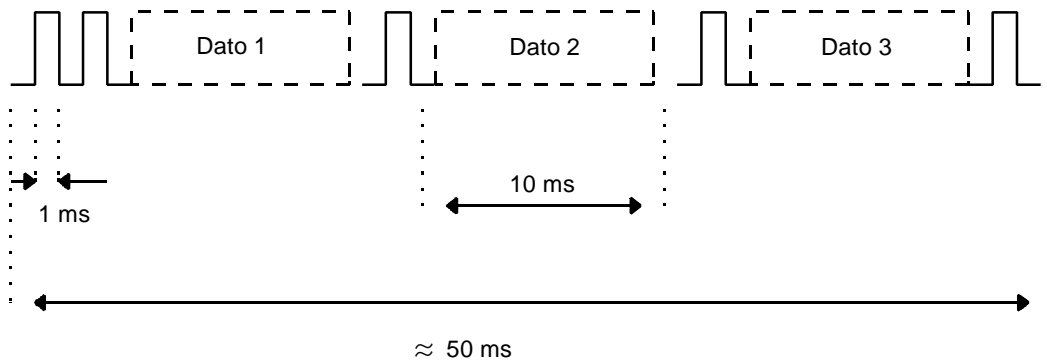


Figura 2. Visualización del funcionamiento del μC , mediante la activación las salidas digitales

SESIONES 3 Y 4

4 Solución propuesta

En estas sesiones debe programarse el μC con el programa definitivo después de simularlo. También deberán realizarse las pruebas pertinentes que aseguren el buen funcionamiento del sistema, lo que nos permitirá dejar que funcione autónomamente durante la semana siguiente, adquiriendo las variables de presión, temperatura y humedad ambientales.

Los datos adquiridos cada hora durante una semana deberán almacenarse en la memoria EEPROM, comunicada con el μC mediante un bus I²C. Para ello puede utilizarse la rutina suministrada para escribir un dato en la memoria (rutina WRE2PROM en Anexo 8.2), que utiliza los bits 5 y 6 del PORT B para el bus I²C.

Calcular el tamaño de memoria necesario para almacenar los datos que se adquieren durante la semana. Si la frecuencia de adquisición es un poco mayor de 1 adquisición/hora se necesitarán más posiciones de memoria.

Calcular cuál es la frecuencia de adquisición máxima que podemos permitir con la memoria 24C04 de Xicor que dispone de dos bancos de memoria de 256 bytes (las especificaciones de esta memoria están en el manual).

Para ahorrar energía, y dado que el μC está la mayor parte del tiempo sin hacer nada, se utiliza la función SLEEP. La señal para despertar al μC se genera mediante un oscilador basado en un circuito 7555. Esta señal de despertar, *Wake Up*, se aplica al bit 7 del PORT B configurada como interrupción.

Aunque las especificaciones del circuito 7555 indican que se puede tener un período de oscilación de varias horas, las corrientes de fugas de los condensadores habituales reducen el máximo período disponible a unas decenas de segundos. La frecuencia de oscilación elegida para esta práctica es de 1 pulso/30 s aproximadamente. De esta forma puede seguirse el proceso sin tener que esperar durante tiempos excesivamente largos.

Dado que se produce un *Wake Up* cada vez que hay una transición en el PORT B, el μC se despierta cada 15 s. El programa completo se deberá ejecutar sólo cuando ha transcurrido una hora. En los otros casos se deberá incrementar un contador de *Wake Up* y volver a la situación de Sleep. Como sólo debe contarse hasta 240 se puede utilizar una sola palabra de datos del μC .

Una vez almacenados los datos en la memoria, deberán leerse mediante el puerto serie de un PC. El puerto serie se conecta a los bits 0 y 1 del PORT B. El bit 0 se utiliza como interrupción en el μC para despertarlo y ejecutar la rutina (E2PROMPC en Anexo 8.2) que envía el contenido de la memoria al PC a través del puerto serie. También se suministra el programa LEEPROM.C (ver Anexo 8.2) para ejecutarlo en el PC y leer, a través del puerto serie, los datos de la memoria.

5 Experiencias y comprobaciones

Se deberá ampliar el programa realizado en la sesión anterior de forma que después de haber adquirido los tres datos ambientales los guarde en la memoria. Posteriormente el μC deberá ir a SLEEP, y despertarse por interrupción.

(Nota: Es conveniente colocar una instrucción NOP a continuación de la instrucción SLEEP, puesto que el μC siempre ejecuta la siguiente instrucción después del SLEEP antes de saltar a la rutina de servicio de interrupciones)

Es interesante continuar actuando sobre alguna de las salidas libres del PORT B (quedan libres los bits 3 y 4) para poder verificar el correcto funcionamiento del programa.

También es interesante diseñar el programa de forma que cuando se llena la memoria no se escriban más datos, indicando esta situación externamente. De esta forma se evitará perder datos y se tendrá un aviso de que no se han guardado las últimas adquisiciones.

El programa se deberá iniciar cuando se realice una puesta a cero (reset) que consistirá en una desconexión momentánea de la alimentación ya que el terminal de reset del μC está conectado directamente a Vcc.

Las rutinas de interrupción necesarias, así como su configuración, se suministran y aparecen comentadas en el Anexo 8.2. También se dan algunos detalles sobre otras configuraciones del μC así como los mapas de memoria de datos y programa para las rutinas suministradas.

Para verificar el buen funcionamiento del sistema puede hacerse una ejecución acelerada de forma que se realicen las adquisiciones de una semana en poco tiempo. Para ello el oscilador 7555 de la placa del μC dispone de un puente que permite pasar la frecuencia de 1 pulso/15 s a una de 2 pulso/s de modo que se puede realizar todo un ciclo de adquisiciones en dos minutos.

Una vez realizadas las adquisiciones se deberá probar el programa de lectura desde el PC a través del puerto serie.

Al acabar todas las pruebas deberá volverse a la frecuencia de 1 pulso/hora y disponer el sistema para que esté adquiriendo durante toda la semana siguiente. Hay que tener en cuenta los márgenes de medida de las variables deseadas a la hora de elegir el lugar donde se situará el equipo.

SESIÓN 5

4 Solución propuesta y experiencias

En esta sesión se deben leer los datos adquiridos por el μC durante toda la semana y presentarlos mediante el PC.

La presentación de los datos queda totalmente abierta al estudiante y se aconseja la presentación gráfica, la comparación con algunos valores de referencia (por ejemplo los de la prensa diaria), la corrección de la medida de presión o humedad según los datos adquiridos de la temperatura, etc.

Los datos leídos por el programa COMSENS.C se almacenan en tres arrays (uno por cada variable de la EEPROM). Se aconseja modificar este programa y salvar los datos leídos en un fichero para poder manipularlos cómodamente sin necesidad de leer cada vez la memoria EEPROM.

ANEXO 8.1

Placa μ C y periféricos

Esta placa se entrega totalmente montada y en ella están instalados el microcontrolador, los periféricos necesarios y los conectores para la placa analógica y el puerto serie del PC.

En las siguientes figuras aparecen el esquema eléctrico y la disposición de los diferentes componentes. Las especificaciones de los diferentes componentes aparecen en el manual de especificaciones de las prácticas. A continuación se da una breve descripción de cada componente y su función dentro de la placa.

PIC 16C71: μ C arquitectura RISC.

24C04: memoria EEPROM utilizada para almacenar los datos adquiridos. Se comunica con el μ C mediante bus I²C conectado a los bits 5 y 6 del PORT B.

7555: circuito análogo al multivibrador 555 pero realizado en tecnología CMOS, que es de bajo consumo. Es el encargado de proporcionar una señal de 1 pulso/15 s para despertar al μ C cuando está en situación de SLEEP.

S1: puente para variar la frecuencia de oscilación del 7555. El puente permite seleccionar el condensador adecuado para conseguir la frecuencia de 2 Hz, para las pruebas, o de 1 pulso/15 s para la adquisición durante toda la semana.

MAX666: regulador de bajo consumo. Se utiliza para obtener, a partir de la pila de 9 V, la tensión estable necesaria de 5 V. Es de bajo consumo (Quiescent Current 6 μ A), ya que es uno de los circuitos que están siempre conectados.

VN10KM: transistor MOSFET. Se utiliza para desconectar la alimentación de la placa analógica durante los tiempos en los que no hay adquisición y así disminuir la potencia consumida. El transistor está conectado entre el pin 0 del conector CON1 y masa. La puerta del transistor está conectada al bit 2 del PORT B del μ C de modo que, activando esta salida a nivel alto, se alimenta la placa analógica.

MICROINTERRUPTORES: existen dos grupos de 4 microinterruptores, cada uno conectados al PORT B del μ C. Estos interruptores permiten conectar o desconectar el PORT B de los periféricos existentes en esta placa de modo que en la posición ON el pin del PORT B está conectado al conector CON2 y a los periféricos mientras que en la posición OFF solo está conectado al CON2.

MSW1	MSW2
. bit 0 PORT B	. bit 7 PORT B
. bit 1 PORT B	. bit 6 PORT B
. bit 2 PORT B	. bit 5 PORT B
. bit 3 PORT B	. bit 4 PORT B

CON1: conector entre la placa del μ C y la placa analógica. Las conexiones son las siguientes:

pin 1:	GND para circuitos analógicos. Conectada a masa a través del transistor MOS cuando se activa bit 2 de PORT B.	
pin 2:	Vcc para circuitos analógicos. Siempre está conectada a la salida del regulador, 5V.	
pin 3:	GND	
pin 4:	RA4/RTCC	(pin 3 del PIC16C71)
pin 5:	RA3/AIN3/Vref	(pin 2 del PIC16C71)
pin 6:	RA2/AIN2	(pin 1 del PIC16C71)
pin 7:	RA1/AIN1	(pin 18 del PIC16C71)
pin 8:	RA0/AIN0	(pin 17 del PIC16C71)

CON2: conector entre la placa del μ C y la placa analógica. Las conexiones son las siguientes:

pin 1:	RB0/INT	(pin 6 del PIC16C71)
pin 2:	RB1	(pin 7 del PIC16C71)
pin 3:	RB2	(pin 8 del PIC16C71)
pin 4:	RB3	(pin 9 del PIC16C71)
pin 5:	RB4	(pin 10 el PIC16C71)
pin 6:	RB5	(pin 11 el PIC16C71)
pin 7:	RB6	(pin 12 del PIC16C71)
pin 8:	RB7	(pin 13 del PIC16C71)

CON3: conector para el puerto serie del PC. Las conexiones son las siguientes:

pin 1:	Vcc
pin 2:	Comunicación desde μC a PC
pin 3:	Comunicación desde PC a μC
pin 4:	GND

En el circuito hay otros componentes para el oscilador del μC . Este oscilador está realizado mediante una resistencia de película metálica de valor 100 k Ω y un condensador NPO de valor 20 pF, lo que permite una frecuencia de oscilador de 300 kHz aproximadamente.

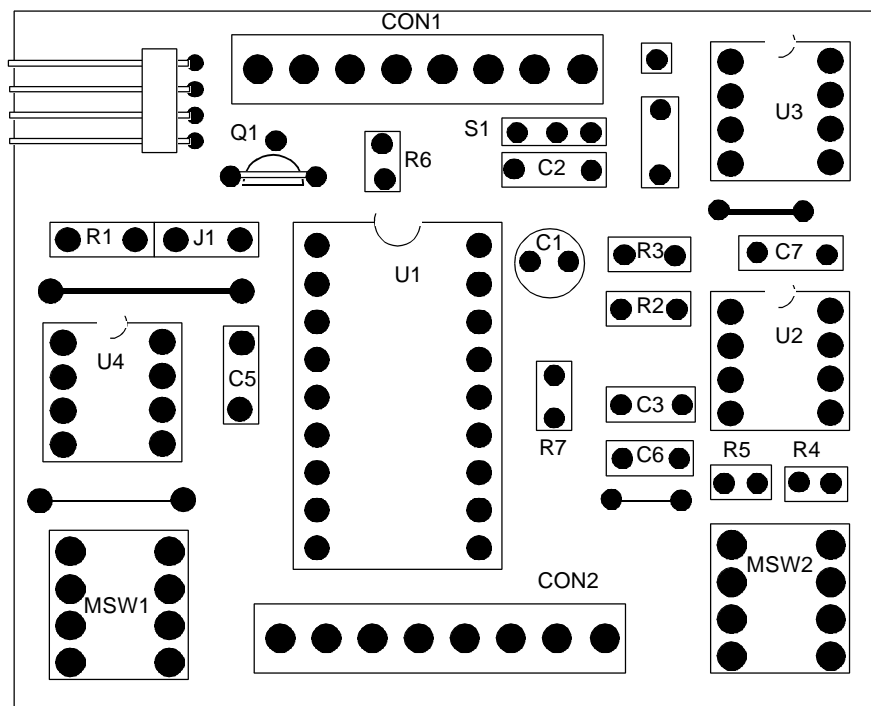


Figura 3. Disposición de los componentes en el circuito impreso

ANEXO 8.2

Rutinas suministradas para el PIC16C71

A continuación se detallan las rutinas suministradas para el desarrollo de la práctica con sus mapas de memoria. También se comenta un ejemplo de configuración del μC y una rutina de interrupciones. Al final se comenta el programa en C para la lectura, desde PC, de los datos almacenados en la memoria EEPROM. Al final de este anexo aparecen los listados de las rutinas.

Rutinas para el PIC16C71:

- WRE2PROM:

Permite escribir un byte en la EEPROM a través del bus I²C. El dato a escribir debe almacenarse en el acumulador y la dirección a grabar en DIRE2P. El banco de datos se elige mediante BANCOE2P, donde se aceptan los valores 0 y 1. Devuelve un 0 en el acumulador cuando la escritura se ha realizado sin problemas y un 1 cuando la escritura no se ha podido realizar.

- E2PROMPC:

Al llamar a esta rutina se envía todo el contenido de la memoria al PC a través del puerto serie. Esta rutina debe ejecutarse sólo cuando se ha detectado una interrupción en INT (bit 0 de PORTB). Este tipo de interrupción se provoca cuando se conecta el conector del PC y este envía una señal de sincronización. Si se ejecuta la rutina RUTINT, que gestiona todas las interrupciones, no es necesario llamar a E2PROMPC directamente.

- RUTINT:

Es la rutina que gestiona las interrupciones. Permite detectar las interrupciones siguientes:

Interrupción INT: cuando detecta un cambio en esta entrada ejecuta la rutina E2PROMPC para enviar datos a través del puerto serie.

Interrupción RB7: al detectar un cambio en esta entrada se produce un *Wake Up* que despierta al procesador de la situación de SLEEP.

Interrupciones RB4,RB5,RB6: si se detecta una de estas interrupciones (que no se pueden enmascarar independientemente de RB7) se hace un reset del vector de interrupción y se vuelve a la situación anterior.

Las demás interrupciones deberán estar inhabilitadas por configuración.

- DELAY:

Permite generar un retardo en la ejecución del programa entre 1 y 256 ms. El número de milisegundos a retardar debe situarse en el acumulador. Debido a que el reloj del μC se ha construido con una resistencia y un condensador, la frecuencia de oscilación depende de la tolerancia de estos componentes. Para hacer más precisa esta rutina, la constante CLKPIC se deberá ajustar en función de la frecuencia de oscilación medida en el laboratorio.

Configuraciones:

Para el correcto funcionamiento de las rutinas anteriores hay que tener en cuenta las siguientes configuraciones de interrupciones y PORT B.

Interrupciones:

Deben permitirse las interrupciones de INT y del PORT B (en particular se utiliza la RB7).
(Nota: La interrupción INT debe estar configurada para activarse con el flanco de bajada.)

PORT B:

- bits 0 7 y 5 como entradas.
- bits 1 2 y 6 como salidas.
- bits 3 y 4 no son utilizados por los periféricos. Se aconseja definir el bit 4 como salida, ya que al definirlo como entrada puede provocar interrupciones indeseadas.

Mapas de memoria:

Las rutinas comentadas anteriormente utilizan las posiciones de memoria de datos de 0Dh a 1Fh.

Las posiciones de memoria de datos a partir de 20h y hasta 2Fh quedan libres.

Para la memoria de programa se debe tener en cuenta que las posiciones desde 0000h hasta 0004h están reservadas para vectores de reset e interrupción. En el compilador se deberán escribir las siguientes instrucciones:

```
org 0000h          goto INICIO   (etiqueta donde comienza el programa)
org 0004h          goto RUTINT  (se ejecuta la rutina de interrupción)
org 0005h          A partir de aquí se puede escribir el programa.
```

Programa lectura EEPROM desde PC:

Al ejecutar el programa COMSENS.C (conectando previamente PC y PIC) se envían una serie de pulsos para provocar la interrupción del μC y despertarlo de la situación de SLEEP. Después de establecer la sincronización, el μC lee la memoria EEPROM y envía los datos al PC mediante el puerto serie. El programa COMSENS.C devuelve los arrays PRES, TPRA y HUM de 170 bytes cada uno con los datos de las tres magnitudes contenidas en los bancos 0 y 1 de la memoria EEPROM.

Listados de rutinas para el PIC 16C71

```

LIST    C=123,P=16C71,N=66           ;Opciones del ensamblador

;*****
;
;                RUTPIC.ASM
;                Práctica de sensores
;                Sensor inteligente para medidas ambientales
;*****
;
;*****

;*****
;***Constants definides*****
;*****

DX      equ      01h      ;bit del port B configurado como salida RS-232
RX      equ      00h      ;bit del port B configurado como entrada RS-232
CARRY   equ      00h      ;bit de Carry del registro de status
D_UN_BIT equ      .17     ;Constante para la rutina de retardo de un bit
                        ;D_UN_BIT=[OSCIN/(4*BAUD)-13]/3
                        ;D_UN_BIT no puede ser nunca menor que 1!
                        ;OSCIN es la frecuencia de oscilación del circuito RC
SCL     equ      06h      ;bit del port B configurado como reloj del bus I2C
SDA     equ      05h      ;línea de datos del bus I2C
MW_I2C  equ      B'1010000' ;Dirección I2C del dispositivo de memoria,escritura
MR_I2C  equ      B'10100001' ;Dirección I2C del dispositivo de memoria,lectura
N_MOST  equ      .170     ;Número de muestras a adquirir de cada magnitud
CLKPIC  equ      .5       ;Constante para ajustar la rutina DELAY a lms en función
                        ;de la frecuencia del uC (OSCIN)
                        ;Td(lms)=[12*CLKPIC+26]*4/OSCIN
;*****

;*****
;***Dirección de las variables definidas*****
;*****

PRESSIO equ      0Dh      ;valor leído de la presión
TEMPERA equ      0Eh      ;valor leído de la temperatura
HUMITAT equ      0Fh      ;valor leído de la humedad

DELVAL  equ      10h      ;valor para la rutina de delay
DELVAL1 equ      11h      ; " " " " "
DELVAL2 equ      12h      ; " " " " "
XCount  equ      13h      ;número de bits enviados por el port serie RS-232 o I2C
XmtReg  equ      14h      ;Byte a transmitir RS-232 o I2C
DlyCnt  equ      15h      ;Registro para la rutina de retardo de un bit
Tempo   equ      16h      ;Variable temporal
DIRI2C  equ      19h      ;Dirección I2C del dispositivo
DIRE2P  equ      17h      ;Dirección de la memoria donde se graba y lee el byte

BANCOE2P equ      18h      ;Banco de la memoria donde se accede (1 o 0)
M_Data  equ      1Ah      ;Dato a escribir en la memoria
N_Mos   equ      1Bh      ;Número de muestras grabadas en la memoria

```

```

L_Bloc equ    1Ch    ;Longitud del bloque transmitido por RS-232
CONTA_WK equ  1Dh    ;Número de veces que se tiene que despertar para hacer
                ; una adquisición

W_C      equ    1Eh    ;Copia del acumulador, se puede utilizar para guardarlo
STAT_C   equ    1Fh    ;en las rutinas de interrupción

STATUS   equ    03h    ;registros internos
ADCON0   equ    08h    ;
ADCON1   equ    08h    ;
ADRES    equ    09h    ;
OPCIONES equ    01h    ;
RTCC     equ    01h    ;
INTCON   equ    0Bh    ;
PORTB    equ    06h    ;
PORTA    equ    05h    ;
;*****

;*****
;***Definición de MACROS*****
;*****

SDA_1    macro
    bsf   STATUS,5        ;Selecciona la página 1
    bsf   PORTB,SDA      ;configura port B, SDA como entrada ("1")
    bcf   STATUS,5        ;Vuelve a la página 0
endm

SDA_0    macro
    bcf   PORTB,SDA      ;configura port B, SDA como salida ("0")
    bsf   STATUS,5        ;Selecciona la página 1
    bcf   PORTB,SDA      ;configura port B, SDA como salida ("0")
    bcf   STATUS,5        ;Vuelve a la página 0
endm

G_W      macro
    movwf W_C            ;Guarda una copia del acumulador
    movf  STATUS,0       ;Guarda una copia del status
    movwf STAT_C
endm

R_W      macro
    movf  STAT_C,0
    movwf STATUS        ;Recupera el registro de status
    movf  W_C,0         ;Recupera el acumulador
endm

INT_E    macro
                ;Activa las interrupciones
    movlw B'10011000'  ;configura interrupciones
    movwf INTCON       ;(pág. 12 del manual) INT activa con el flanco de
endm                ;bajada.

INT_D    macro
                ;Desactiva todas las interrupciones
    movlw B'00000000'
    movwf INTCON
endm

;*****

;VECTOR DE RESET *****
org      0000h
    goto Inicio

;VECTOR DE INTERRUPCION*****
org      0004h
    goto Rutint

;PROGRAMA DEL USUARIO *****
org      0005h

```

```

;*****
;***Rutina WRE2PROM: escribe un byte en la E2PROM mediante el bus I2C ****
;El byte que se envia tiene que estar en el acumulador, la dirección tiene ****
;que estar en la variable DIRE2P y el banco en la variable BANCOE2P. ****
;Devuelve un 0 si la escritura ha sido correcta ****
;*****
WRE2PROM
    movwf    M_Data          ;El registro M_Data contiene ahora el dato a escribir
    movlw   MW_I2C          ;
    btfsc   BANCOE2P,0     ;Selecciona el banco donde se tiene que escribir
    iorlw   B'00000010'
    movwf   XmtReg         ;Dirección a enviar del dispositivo I2C
;Transmisión de la dirección del dispositivo
    SDA_1   ;
    bsf     PORTB,SCL
    SDA_0   ;Genera la condición de START
    call    W_I2C          ;Llama a la rutina de escritura de un byte al I2C
    movwf   Tempo         ;Comprueba si ha habido error en la transmisión
    btfsc   Tempo,0
    retlw   1             ;Devuelve 1 si ha habido error
;Transmisión de la dirección de memoria
    bcf     PORTB,SCL
    movf    DIRE2P,0      ;Envia la dirección de memoria donde escribir
    movwf   XmtReg
    call    W_I2C
    movwf   Tempo         ;Comprueba si ha habido error en la transmisión
    btfsc   Tempo,0
    retlw   1             ;Devuelve 1 si ha habido error
;Transmisión del byte a escribir
    bcf     PORTB,SCL
    movf    M_Data,0      ;Envia el byte a escribir
    movwf   XmtReg
    call    W_I2C
    movwf   Tempo         ;Comprueba si ha habido error en la transmisión
    btfsc   Tempo,0
    retlw   1             ;Devuelve 1 si ha habido error
;Transmisión de la condición de STOP
    bcf     PORTB,SCL
    SDA_0   ;
    bsf     PORTB,SCL     ;Genera la condición de STOP
    SDA_1   ;

    movlw   .10           ;Espera 10 ms a que se haya grabado
    movwf   DELVAL
    call    Delay
    retlw   0

;RUTINA DE ESCRITURA DE UN BYTE AL I2C
W_I2C
    movlw   8
    movwf   XCount        ;palabras de 8 bits
l_wi2c   bcf   PORTB,SCL
        rlf   XmtReg
        btfss STATUS,CARRY ;Comprueba el bit a enviar
        goto b_a0
    SDA_1   ;
        goto cwi
b_a0    SDA_0   ;El bit está a 0
cwi     bsf   PORTB,SCL
        nop
        decfsz XCount      ;Si XCount=0, genera un ciclo de ACK
        goto  l_wi2c
        bcf   PORTB,SCL    ;Baja la línea de clock para permitir el ACK
        SDA_1   ;configurar port B, SDA como entrada
        bsf   PORTB,SCL
        nop          ;Epera el ACK
        btfsc PORTB,SDA
        retlw  1      ;No ha habido reconocimiento, sale devolviendo 1
        retlw  0      ;Si ha habido reconocimiento, sale devolviendo 0

;*****

;*****
;*Rutina E2PROMPC (transmisión de toda la memoria por el port serie RS-232)**
;*****

```

```

E2PROMPC
    INT_D                ;Desactiva todas las interrupciones
    movlw 0
    movwf DIRE2P        ;Inicializa la dirección por donde comenzará a leer
    movwf BANCOE2P     ;Inicializa el banco a 0
    movlw N_MOST        ;Inicializa el contador de muestras grabadas en
    movwf N_Mos        ;la memoria E2PROM

envia movlw B'11111111' ;Envia por el port serie una palabra de sincronismo
    movwf XmtReg

    call Xmtr
    call Sincro0        ; X-0 sincro
    call Sincro1        ; 0-1 sincro
    call Sincro0        ; 1-0 sincro

    movlw .3
    movwf L_Bloc
E_RS call RDE2PROM     ;Envia en bloques de 3 Bytes (Presión,Temp.,Humedad)
    movf M_Data,0
    movwf XmtReg
    call Xmtr
    call INC_Pt        ;Incrementa la dirección y el banco de memoria
    decfsz L_Bloc
    goto E_RS
    decfsz N_Mos
    goto envia

    goto Dormir2        ;No vuelve de la interrupción se queda en un lazo
                        ;infinito hasta que se vuelva a generar otra
                        ;interrupción de lectura de datos por el port serie.

; Rutinas sincro

Sincro0
    movf PORTB,0
    andlw B'11100111'
    movwf PORTB
    movlw .1
    movwf DELVAL
    call Delay
    return

Sincro1
    movf PORTB,0
    iorlw B'00011000'
    movwf PORTB
    movlw .1
    movwf DELVAL
    call Delay
    return

;RUTINA TRANSMISSION DE 1 BYTE POR EL PORT SERIE
;La señal que se envia hacia el conector tiene que estar invertida '1'=0V, '0'=5V

Xmtr
    movlw 8              ;El registro Xmtreg contiene el dato a transmitir
    movwf XCount        ;palabras de 8 bits
    bcf PORTB,DX
    call delay_bit
    call delay_bit
    bsf PORTB,DX        ;Envia el bit de start
    nop                 ;ajusta la longitud del bit de start
    nop
    nop

X_next call delay_bit   ;Rutina de retardo de medio bit
    rrf XmtReg
    btfsc STATUS,CARRY ;Comprueba el bit a enviar
    bcf PORTB,DX        ;El bit está a 1
    btfss STATUS,CARRY
    bsf PORTB,DX        ;El bit está a 0
    decfsz XCount       ;Si XCount=0, envia el bit de stop
    goto X_next
;
    nop                 ;Ajusta el tiempo del último bit

```

```

nop
nop
nop
nop
nop
nop
call    delay_bit
bcf     PORTB,DX           ;Envia el bit de stop
call    delay_bit
call    delay_bit
return

;*****
;***RUTINA RDE2PROM:LEE UN BYTE DE LA E2PROM MEDIANTE EL BUS I2C*****
;* La dirección a leer tiene que estar en DIRE2P y el banco BANCOE2P.El byte *
;* que se ha leído está en el registro M_Data. La rutina devuelve un 0 si la *
;* lectura ha sido correcta. *
;*****
RDE2PROM
    movlw    MW_I2C           ;Elige la dirección del dispositivo para escritura

    btfsc   BANCOE2P,0       ;Selecciona el banco donde se tiene que leer
    iorlw   B'00000010'
    movwf   XmtReg           ;Dirección a enviar del dispositivo I2C
;Transmisión de la dirección del dispositivo
    SDA_1   ;
    bsf     PORTB,SCL
    SDA_0   ;Genera la condición de START
    call    W_I2C           ;Llama a la rutina de escritura de un byte en I2C
    movwf   Tempo           ;Comprueba si ha habido error en la transmisión
    btfsc   Tempo,0
    retlw   1               ;Devuelve 1 si ha habido error
;Transmisión de la dirección de memoria
    bcf     PORTB,SCL
    movf    DIRE2P,0         ;Envia la dirección de memoria donde leer
    movwf   XmtReg
    call    W_I2C
    movwf   Tempo           ;Comprueba si ha habido error en la transmisión
    btfsc   Tempo,0
    retlw   1               ;Devuelve 1 si ha habido error
;Transmisión de la dirección del dispositivo para lectura
    SDA_1   ;
    bcf     PORTB,SCL
    nop
    bsf     PORTB,SCL
    movlw   MR_I2C          ;Elige la dirección del dispositivo para lectura

    btfsc   BANCOE2P,0       ;Selecciona el banco donde se tiene que leer
    iorlw   B'00000010'
    movwf   XmtReg           ;Dirección a enviar del dispositivo I2C
    SDA_0   ;Genera la condición de START
    call    W_I2C           ;Llama a la rutina de escritura de un byte en el I2C
    movwf   Tempo           ;Comprueba si ha habido error en la transmisión
    btfsc   Tempo,0
    retlw   1               ;Devuelve 1 si ha habido error

;Lectura del byte de la memoria
    bcf     PORTB,SCL
    call    R_I2C
    bsf     PORTB,SCL       ;Genera la condición de STOP sin ACK
    SDA_1   ;
    retlw   0

;RUTINA DE LECTURA DE UN BYTE EN EL I2C
R_I2C
    movlw   8
    movwf   XCount           ;palabras de 8 bits
    bcf     PORTB,SCL
l_ri2c   bsf     PORTB,SCL
    rlf     M_Data
    bcf     M_Data,0
    btfsc   PORTB,SDA       ;Comprueba el bit leído
    bsf     M_Data,0
    bcf     PORTB,SCL
    decfsz  XCount          ;Si XCount=0, genera un ciclo de ACK
    goto    l_ri2c
    SDA_0   ;
    retlw   0               ;Si ha habido reconocimiento sale devolviendo 0

```

```

;RUTINA DE RETARDO DE UN BIT
delay_bit                               ;Rutina de retardo de un bit para el port serie
    movlw   D_UN_BIT                     ;Td=(D_UN_BIT*3+5)*4/OSCIN
    movwf   DlyCnt
vuelve  decfsz DlyCnt
        goto  vuelve
        return

;*****

;*****
;***Rutina RUTINT Rutina de interrupciones*****
;*****

Rutint
    btfsc   INTCON,1                     ; se detecta el tipo de interrupción
    goto    IntINT
    btfsc   INTCON,0
    goto    IntrRB
    retfie

IntrRB
    movf    PORTB,1                       ;Carga el PORTB consigo mismo para desactivar
                                                ;el cambio
    bcf     INTCON,0                       ;Borra el FLAG de interrupción RB
    retfie

IntINT
    bcf     INTCON,1                       ;rutina de servicio de la interrupción INT
    btfsc   PORTB,RX                       ;comprueba que la línea continúe estando a 0
    retfie                                   ;vuelve si no está a 0
    goto    E2PROMPC

;*****

;*****
;***Rutina DELAY Retardo en milisegundos *****
;*****

Delay
    movlw   .4                             ;rutina delay en DELVAL*1 ms
    movwf   DELVAL1                         ;
    call    Delay1
    decfsz  DELVAL
    goto    Delay
    return

Delay1
    movlw   CLKPIC                           ;rutina delay en DELVAL1*1/4 ms
    movwf   DELVAL2                         ;Td=[(3*DELVAL2+4)*DELVAL1+10]*4/OSCIN
loopl1  decfsz DELVAL2
        goto  loopl1
        decfsz DELVAL1
        goto  Delay1
        return

;*****

END

```



```

    inregs.h.ch=4;
    inregs.h.cl=0;
    inregs.h.dh=24;
    inregs.h.dl=79;

uk=0;
outportb(comlbase,0);
for(;!kbhit() && uk<N_MOST;
    {
    sta=inportb(comlbase+5);
    if ((sta & 0x01)==0x01)
        {
        dat=inportb(comlbase);
        /* Espera palabra de sincronismo de trama */
        if(dat==0xFF)
            {
            for(i=0;i<N_b;i++){
                sta=inportb(comlbase+5);
                for(;(sta & 0x01)!=0x01; sta=inportb(comlbase+5);
                    dat1[i]=inportb(comlbase);
            }
            pres[uk]=dat1[0];
            tpra[uk]=dat1[1];
            hum[uk]=dat1[2];
            cprintf("no.%d Sy=%X Temp=%d Pres=%d Hum=%d ",uk, dat,tpra,pres,hum);
            uk++;
            }
        }
    else
        {
        gotoxy(1,25);
        }
    if ((sta & 0x02)==0x02) cprintf(" --> Overrun error");
    if ((sta & 0x04)==0x04) cprintf(" --> Parity error");
    if ((sta & 0x08)==0x08) cprintf(" --> Framing error");
    if ((sta & 0x10)==0x10) cprintf(" --> Received break");

    if ((sta & 0x17) !=0)
        {
        int86(0x10,&inregs,&outregs);
        gotoxy(1,25);
        }
    }

inregs.h.ah=0x0; /****** borrar pantalla *****/
inregs.h.al=0x03;
int86(0x10,&inregs,&outregs);

}

```


Práctica 9. Sistema de teledida con fibra óptica

1 Presentación

Se diseña un sistema de teledida que acepta un margen de tensiones de entrada de 2 a 3 V. La información se transmite a 5 m de distancia empleando una fibra óptica y modulación PWM. A la salida se obtiene el mismo margen de tensiones de 2 a 3 V. Todo el sistema funciona con una alimentación simple (no simétrica) de +5 V.

2 Objetivos

Al acabar esta práctica, el estudiante será capaz de:

- 1 Diseñar un sistema de teledida basado en fibra óptica con modulación PWM
- 2 Comprender las limitaciones de los circuitos analógicos alimentados con tensión unipolar
- 3 Entender la necesidad de un doble ajuste de cero en los circuitos de teledida
- 4 Diseñar un filtro activo empleando recursos profesionales

3 Fundamentos teóricos

La teledida con fibra óptica permite transmitir información en entornos con interferencias electromagnéticas fuertes sin necesidad de apantallar el medio de transmisión. Sólo el emisor y el receptor, en los que se realiza la conversión de señal eléctrica a señal óptica, y viceversa, necesitan apantallamiento.

Una servidumbre que introduce la fibra óptica es debida a la falta de linealidad de los emisores de luz para un margen de tensiones grande. Por ello, y también para que varias informaciones distintas puedan compartir una misma fibra, se modula con la señal de interés un portadora que luego se demodula en el receptor. El tipo de modulación empleado depende de los anchos de banda de la señal y del canal disponible, y también de factores adicionales como pueden ser el consumo y el tipo de interferencias presentes en el sitio donde se mide.

Dado que en muchos casos la información se transmite en formato digital, los emisores y los receptores de línea son a veces de tecnología TTL alimentados a + 5 V. Si se desea tener una única alimentación, los circuitos analógicos deben poder trabajar entre 0 y 5 V, y esto limita el número de dispositivos válidos.

La señal a transmitir es una tensión de muy baja frecuencia, con un margen de 2 a 3 V. Esta señal se puede tomar del generador de funciones, o puede proceder de uno de los circuitos de las prácticas anteriores.

Para señales de muy baja frecuencia, en telemedida es muy frecuente emplear modulación de impulsos en anchura (PWM). El modulador y demodulador son muy simples, pero hay que tener la precaución de que a la entrada cero no le corresponda un impulso con anchura nula. Esto implica un desplazamiento del cero que hay que corregir en el demodulador. La demodulación consiste entonces en detectar el valor medio de la señal recibida y corregir el nivel de tensión correspondiente a entrada cero.

Para los circuitos analógicos de baja frecuencia que deban ser alimentados con una tensión simple (no simétrica), la mejor opción son, en general, los amplificadores de tecnología CMOS. Su consumo, error y derivas de cero, y margen dinámico de entrada y de salida, superan en estas condiciones de trabajo a los ofrecidos por los amplificadores bipolares previstos para alimentación simple. Por razones de coste, sin embargo, se empleará aquí un AO de tecnología bipolar.

4 Circuito propuesto y su descripción

En la figura 1 se muestra el circuito completo. En el emisor hay 2 partes: el oscilador de portadora y el modulador PWM. La portadora es una señal cuadrada que se obtiene de un oscilador de relajación basado en la integración de una señal cuadrada y un comparador [2].

El modulador PWM es un comparador rápido con salida en colector abierto, a cuya entrada no inversora se aplica la salida triangular del oscilador y a cuya entrada inversora se aplica la señal a transmitir. (Obsérvese que con la configuración de salida elegida para el comparador, el terminal no inversor es en realidad el terminal negativo de entrada). Cuanto mayor sea la tensión de entrada, más breve será el tiempo durante el que la salida del comparador estará en el estado alto. (Podría hacerse también a la inversa).

El kit de fibra óptica disponible tiene, además de la fibra y los conectores, el LED, el fototransistor, y también el emisor y el receptor de "línea", que son los que exigen una alimentación entre 0 y 5 V. La señal de salida del receptor tiene niveles TTL y su valor medio se detecta con un filtro activo de paso bajo. El amplificador de salida establece el nivel de cero en el punto deseado. El objetivo es tener un margen de 2 a 3 V a la entrada y a la salida.

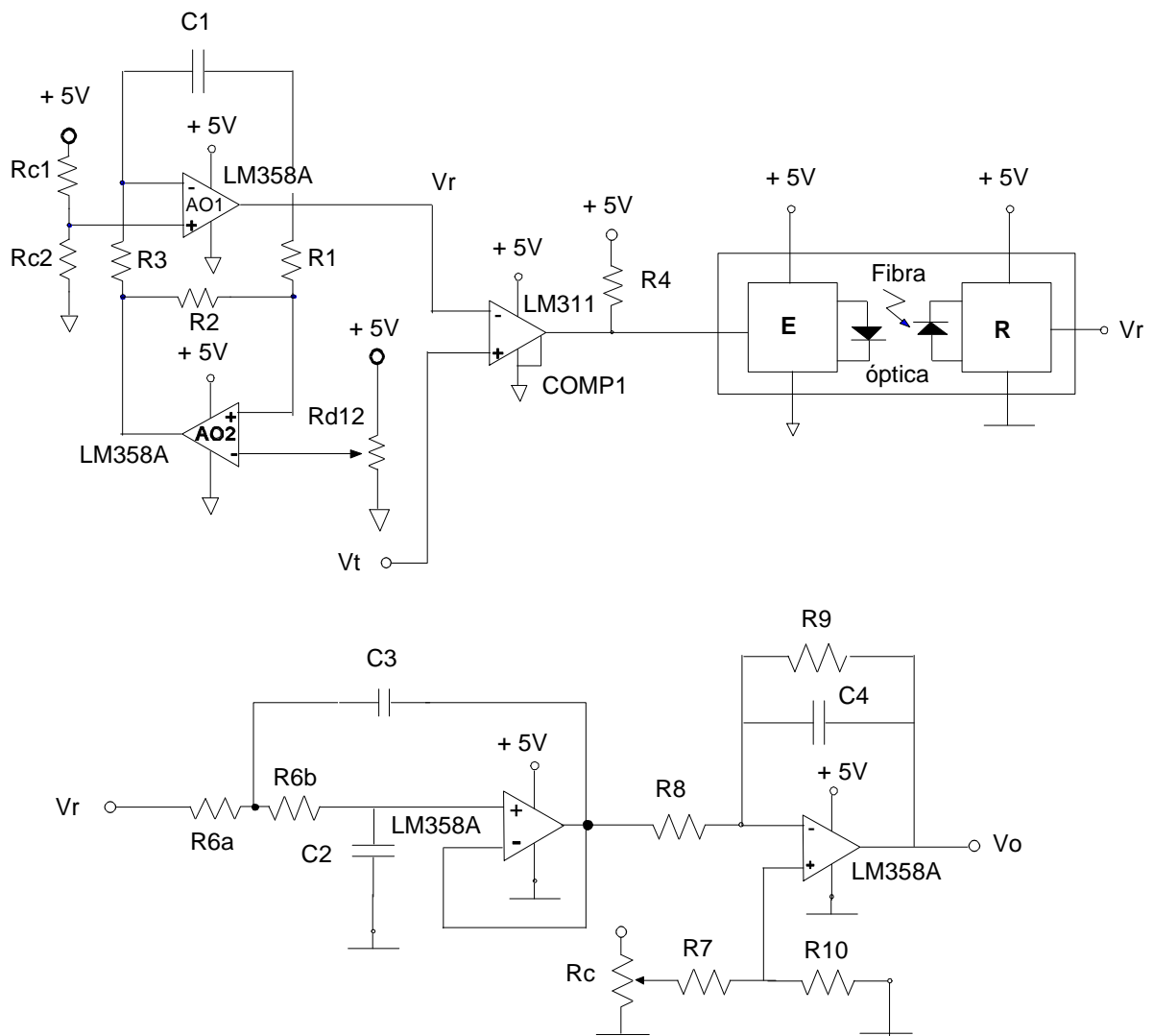
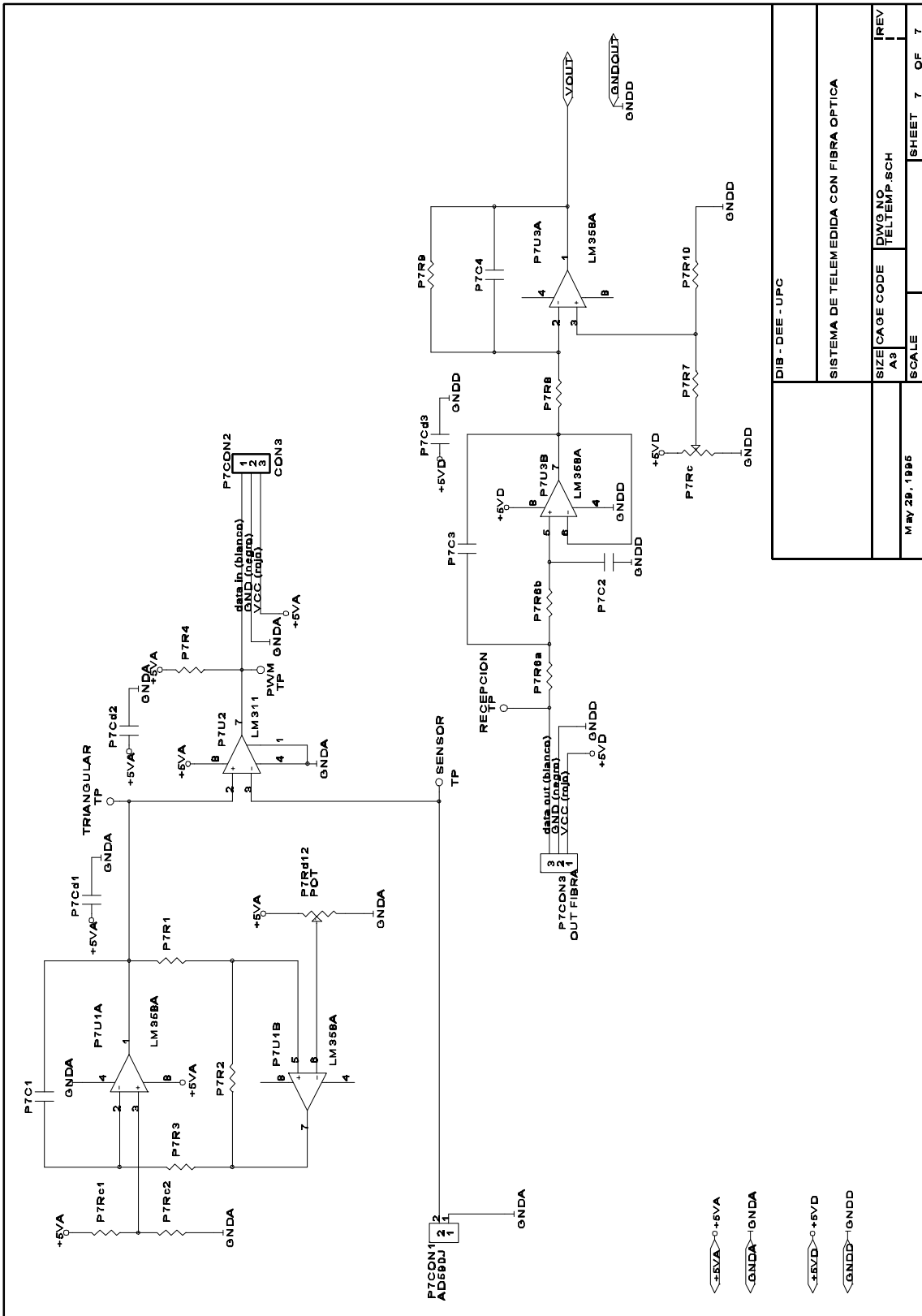


Figura 1. Circuito propuesto para la teledida con fibra óptica



DIB - DEE - UPC	
SISTEMA DE TELEMEDIDA CON FIBRA OPTICA	
SIZE CA SE CODE	DWG NO
A3	TELEMP.SCH
SCALE	REV
MAY 28, 1985	SHEET 7 OF 7

5 Cálculos, experiencias y mediciones

Analizar el oscilador de portadora y determinar la expresión de su frecuencia de salida f_o en función de los valores de los componentes del circuito.

Cuestión 1 ¿Cuál es la expresión de f_o ?

La frecuencia adecuada para la portadora no viene determinada por la fibra óptica sino por los circuitos emisor y receptor. Según las especificaciones del fabricante, la principal distorsión introducida por el conjunto es la distorsión de anchura de pulso (*pulse stretching*), que depende de los umbrales del trigger Schmitt, que son fijos, y de la potencia incidente en el receptor de luz. Esta distorsión es prácticamente constante con la frecuencia, y es despreciable para frecuencias inferiores a 10 kHz. Por lo tanto, la frecuencia se puede elegir según convenga a los amplificadores operacionales utilizados.

Elegir una frecuencia de trabajo adecuada y dar valores a los componentes, suponiendo una alimentación simple de + 5 V y que se desea tener un ciclo de trabajo del 50% para 2 V y del 10% para 3 V.

- El margen de salida típico de un operacional CMOS como el TLC274CN es de 0 a 3,8 V y la tensión de modo común que acepta a su entrada es de -0,3 V a 4,2 V. Para el LM358, que también acepta alimentación simple, pero fabricado con tecnología bipolar, el margen de salida es de 0 a 5 V - 1,5 V = 3,5 V, mientras que el margen de tensión de modo común que acepta a su entrada es de 0 a 5 V - 2 V = 3 V.

Cuestión 2 ¿Cuáles son los valores apropiados para f_o , R_{c1} , R_{c2} , R_{d12} , R_1 , R_2 , R_3 , C_1 y R_4 ?

Analizar el circuito de salida en el lado del receptor y determinar la expresión de v_o en función del valor medio de la tensión de salida del receptor, v_r , y de la tensión v_d aplicada a la entrada no inversora del amplificador de salida.

Cuestión 3 ¿Cuál es la expresión de v_o ?

Empleando el programa FILTERPRO, u otro equivalente, diseñar el filtro activo para tener una frecuencia de corte 100 veces inferior a la portadora y una respuesta de 2° orden tipo Butterworth.

Cuestión 4 ¿Cuáles son los valores apropiados para R_6 , C_2 y C_3 ?

Calcular los valores de los elementos del amplificador de salida para tener el margen de tensiones de salida deseado.

Cuestión 5 ¿Cuáles son los valores apropiados para R_7 , R_8 , R_9 , R_{10} , R_c y C_4 ?

Montar el circuito de la figura empleando salidas distintas de la fuente de alimentación para el emisor y el receptor. Cuidar de no exceder los 5 V que aceptan el emisor y el receptor de línea.

Proceder en el orden siguiente:

- A Montar el oscilador y verificar su funcionamiento. Si se mide su salida con una sonda de osciloscopio que no sea divisora, puede que se perturbe el correcto funcionamiento del circuito.
- B Montar y verificar el funcionamiento del modulador aplicando una señal triangular adecuada obtenida del generador de funciones.
- C Montar y verificar el funcionamiento del demodulador, ajustando su nivel de salida para una entrada cero en el modulador (señal cuadrada).
- D Verificar el funcionamiento del enlace de fibra óptica empleando señales del generador de funciones o tensiones continuas obtenidas a partir de la fuente de alimentación.
- E Conectar el conjunto y verificar su funcionamiento cuando a la entrada se aplica una señal con un margen de 0 a 1 V.

Aplicar un escalón de tensión a la entrada y observar la variación de la salida con el tiempo.

Cuestión 6 ¿Cuál es la constante de tiempo del conjunto?

6 Medidas y cuestiones complementarias

En el circuito de la figura 1 se emplea un comparador en el oscilador de portadora y otro como modulador. Estudiar la posibilidad de suprimir el comparador que se emplea como modulador y controlar directamente el ciclo de trabajo del oscilador de relajación con la señal de entrada.

Observar las tensiones aplicadas a cada uno de los terminales de entrada de los amplificadores operacionales del lado del emisor.

Cuestión C1 ¿Sería posible emplear en el lado del emisor componentes no previstos para funcionar con alimentación unipolar?

Teniendo en cuenta el margen de tensiones a medir y un error aceptado del 1%, si la portadora se elige $f_0 = 1$ kHz,

Cuestión C2 ¿Cuál puede ser la máxima frecuencia de variación de la señal medida para que el filtro activo pueda ser sustituido por un filtro pasivo de primer orden?

7 Preguntas de repaso

- 7.1 Enumerar 3 ventajas de los amplificadores operacionales CMOS sobre los bipolares cuando se alimentan con tensión unipolar.
- 7.2 ¿Qué ventajas e inconvenientes tiene la modulación PWM para telemetría de señales de baja frecuencia?
- 7.3 ¿Por qué son necesarios 3 ajustes en el circuito de la figura 1, si en principio el comportamiento es lineal?
- 7.4 ¿Cuál es el orden correcto en que se deben realizar los 3 ajustes en el circuito de la figura 1?
- 7.5 ¿Es necesario ajustar el offset de los amplificadores operacionales en este montaje?

8 Bibliografía

- [1] R. Pallás Areny. *Sensores y acondicionadores de señal*. Apartado 9.1.1. Barcelona: Marcombo, 1994.
 - [2] S. Franco. *Design with operational amplifiers and analog integrated circuits*. Apartado 8.6. Nueva York: McGraw-Hill, 1988.
-

Apéndice: Sugerencias para la realización de estas prácticas

A1 Comprobar el estado de todas las sondas utilizadas (BNC-BNC, BNC-Banana, etc.) en previsión de posibles cortocircuitos, rupturas, etc. Tener en cuenta que un cortocircuito en la salida de ciertos circuitos integrados, por ejemplo, lleva a su destrucción.

A2 Comprobar la polaridad de la fuente de alimentación antes de conectarla al circuito.

A3 Estimar el consumo del montaje realizado, a partir de los datos del catálogo cuando se trata de circuitos integrados. Ejemplo: el OP-07C consume un máximo de 150 mW cuando está alimentado a ± 15 V y sin carga. Esto significa que drena unos 5 mA de cada una de sus dos líneas de alimentación. Un consumo exageradamente mayor es síntoma inequívoco de que se está destruyendo un circuito integrado.

A4 Limitar la corriente máxima que puede entregar la fuente de alimentación, en función del consumo previsto. Un consumo mayor dará lugar a una caída de la tensión de alimentación fácilmente detectable si dispone de indicador analógico. La conclusión inmediata es que debe revisarse el montaje.

A5 Cuando se manejen componentes CMOS tener en cuenta:

- No rebasar la tensión máxima de alimentación recomendada.
- Las señales de entrada deben ser compatibles con las tensiones de alimentación, es decir, $V_{SS} < V_{in} < V_{DD}$.
- La carga en la salida debe ser 10 k Ω .
- A pesar de que muchos de ellos incorporan una protección frente a las cargas electrostáticas, evitar su contacto con las manos o con materiales poco conductores. Una precaución recomendable es intentar descargar el cuerpo tocando una masa metálica puesta a tierra, antes de tocar los componentes.

A6 El empleo de zócalos deficientes es una fuente de averías muchas veces difíciles de detectar, por lo que se recomienda comprobar su estado antes de montarlos en el circuito.

A7 Se recomienda hacer los montajes en placas de prueba que sean de calidad, en circuito impreso o en placa de "topos". Evitar la "cajas de conexiones" de las que no se tenga constancia de estar en buen estado, pues son fuente de muchas anomalías.

A8 Mantener todas las conexiones lo más cortas posible y mantener limpios los terminales de conexión.

A9 Si se conectan condensadores grandes a las entradas de señal de un circuito integrado, puede que al desconectar la alimentación se descarguen de tal modo que destruyan una unión pn, si es que las dos alimentaciones no se desconectan y se extinguen simultáneamente. Evitar, por tanto, el uso de condensadores de dicha forma.

A10 Desconectar primero las entradas de señal, luego las alimentaciones. Hay componentes que pueden quedar dañados si se procede al revés.

A11 Para las medidas con osciloscopio, emplear sondas divisoras. Evitar los cables coaxiales con terminales "banana". Su utilización provoca a veces cortocircuitos entre terminales próximos.

A12 Algunas fuentes de alimentación con salida ajustable dan una salida transitoria de valor elevado cuando se ponen en marcha. Cuando se emplean componentes muy susceptibles (CMOS) es aconsejable, por tanto, poner primero en marcha la fuente con los terminales de alimentación del circuito desconectados, y luego conectar éstos.

En caso de que el montaje no funcione:

B1 Comprobar directamente en las patillas de alimentación de los circuitos integrados que las tensiones presentes son las adecuadas. No limitarse a la comprobación en los cables de alimentación.

B2 En un montaje que conste de varias etapas, comprobarlas sucesivamente desde la entrada hacia la salida. De esta forma se puede localizar la zona del error.

B3 Un método rápido para comprobar el buen funcionamiento de un amplificador operacional que funcione en su zona de trabajo lineal es mirar directamente la tensión diferencial en sus patillas mediante un multímetro que tenga entradas flotantes. Dicha tensión no debe exceder de unos milivoltios.

B4 Para comprobar el funcionamiento de una etapa lineal, emplear los dos canales del osciloscopio: visualizar con uno la señal de entrada y con el otro la salida.

HOJA DE RESULTADOS

GRUPO (nombres)		
PRÁCTICAS 1 y 2	Fecha	NOTA: /

PRÁCTICA 1

CUESTIÓN 1.1	$V_{1T} =$	$V_{2T} =$		
CUESTIÓN 1.2	$I_N =$	$I_{)N} =$		
CUESTIÓN 1.3	CRO	DMM	GF	FA
CUESTIÓN 1.4	CRO	DMM	GF	FA
CUESTIÓN 2.1	10 Hz	1 kHz	10 kHz	1 MHz
CUESTIÓN 2.2	Función		Escala	
CUESTIÓN 3.1	R =		C ≈	
CUESTIÓN 3.2				
CUESTIÓN 4.1	(15 V)	s	(5 V)	s
CUESTIÓN 4.2	(15 V) Vpp		(5 V)	Vpp

Cuestiones complementarias

CUESTIÓN C1			
CUESTIÓN C2	CMRR (50 Hz) =	dB	CMRR (20 kHz) =
CUESTIÓN C3	Rechazo Total =		dB
CUESTIÓN C4	CMRR (50 Hz)		CMRR (20 kHz)
CUESTIÓN C5	$C_1 \approx$		$C_2 \approx$
CUESTIÓN C6	Z = MS** pF		
CUESTIÓN C7	(15 V)	mVpp	(5 V) mVpp

PRÁCTICA 2

CUESTIÓN 1	T = °C @ I = 1 A	T = °C @ I = 0,5 A
CUESTIÓN 2	J =	

Cuestiones complementarias

CUESTIÓN C1	$T_1 - T_2 =$	$T_1 - T_2 =$
CUESTIÓN C2	J =	
CUESTIÓN C3	J =	
CUESTIÓN C4	J =	

HOJA DE RESULTADOS

GRUPO (nombres)		
PRÁCTICA nº 3	Fecha	NOTA: /

CUESTIÓN 1	R =		
CUESTIÓN 2	" (R_T) =	" (R_p) =	
CUESTIÓN 3	R_{p0} =		
CUESTIÓN 4	R_2 =		
CUESTIÓN 5	dv_o/dT =		
CUESTIÓN 6	$T_{max\ dis}$ =	P_{max} =	
CUESTIÓN 7	R_1 =	R_2 =	R_3 = C =
CUESTIÓN 8	V_s =	R_a =	R_b = R_c =

Cuestiones complementarias

CUESTIÓN C1	A =	B =
CUESTIÓN C2) $R_{p\ máx}$ =) $T_{máx}$ =
CUESTIÓN C3		

HOJA DE RESULTADOS

GRUPO (nombres)		
PRÁCTICA nº 4	Fecha	NOTA: /

CUESTIÓN 1	Tipo	Margen			a	Pa
CUESTIÓN 2	Error total =					Pa
CUESTIÓN 3	Sensibilidad =					mV/Pa
CUESTIÓN 4	R _o =		R _e =			
CUESTIÓN 5	t _r =					
CUESTIÓN 6	V _o =					
CUESTIÓN 7	R ₁ =	R ₂ =	R ₃ =	R ₄ =	R ₅ =	
CUESTIÓN 8	I _{T(RMS)} =		I _{TSM} =			
	V _{DRM} =		dv/dt =			
CUESTIÓN 9	V _{GT} >		I _{GT} >			
CUESTIÓN 10	Histéresis =					Pa

Cuestiones complementarias

CUESTIÓN C1	error total (10°C - 40°C) =					
CUESTIÓN C2	error por carga =					Pa

HOJA DE RESULTADOS

GRUPO (nombres)		
PRÁCTICA nº 5	Fecha	NOTA: /

CUESTIÓN 1	$v_s =$	$G =$								
CUESTIÓN 2	Error total = g									
CUESTIÓN 3	Error de cero máx. =									
CUESTIÓN 4	$R_o =$									
CUESTIÓN 5	V_{cc} mín =									
CUESTIÓN 6	$R_1 =$	$R_2 =$	$R_3 =$	$R_4 =$	$R_G =$					
	$G_1 =$				$G_2 =$					
CUESTIÓN 7	$R_5 =$	$R_6 =$	$C_2 =$							
CUESTIÓN 8										

Cuestiones complementarias

CUESTIÓN C1										
CUESTIÓN C2	desfase =									
CUESTIÓN C3	error por fluencia = g									
CUESTIÓN C4	error de retorno a cero = g									
CUESTIÓN C5	deriva = $g/^\circ C$					error = g				
CUESTIÓN C6	deriva cero = $\mu V/^\circ C$									
CUESTIÓN C7	deriva cero total = $\mu V/^\circ C$									
CUESTIÓN C8	deriva = $g/^\circ C$					error = g				
CUESTIÓN C9	deriva sensibilidad = $g/^\circ C$									
CUESTIÓN C10	error total = $g/^\circ C$									

HOJA DE RESULTADOS

GRUPO (nombres)		
PRÁCTICA nº 6	Fecha	NOTA: /

CUESTIÓN 1					
CUESTIÓN 2	$v_o =$				
CUESTIÓN 3	$V_p =$	$f_p =$	$C_1 =$		
	$R_1 =$	$R_2 =$	$R_3 =$		
CUESTIÓN 4	$C_2 =$	$R_4 =$			
CUESTIÓN 5	$C_3 =$	$R_5 =$	$R_6 =$		
CUESTIÓN 6					
CUESTIÓN 7					
CUESTIÓN 8					

Cuestiones complementarias

CUESTIÓN 1	$C_s =$		
CUESTIÓN 2	$C_s =$		
CUESTIÓN 3			
CUESTIÓN 4			
CUESTION 5	$dv/dt =$ V/ μ s	$dv/dt =$ V/ μ s	$dv/dt =$ V/ μ s

HOJA DE RESULTADOS

GRUPO (nombres)		
PRÁCTICA nº 7	Fecha	NOTA: /

CUESTION 1	$R_f =$		$R_c =$			
CUESTIÓN 2	$V_{in} =$		$R_{1a} =$		$R_{1b} =$	$P_1 =$
CUESTIÓN 3	$R_2 =$		$R_3 =$		$R_4 =$	
	$C_1 =$		$C_2 =$		$C_3 =$	
	$R_{13} =$		$R_{14} =$		$R_{15} =$	$R_{16} =$
CUESTIÓN 4	$R_6 =$		$R_7 =$		$R_{5a} =$	
	$R_{5b} =$		$C_8 =$			
CUESTIÓN 5	$R_8 =$		$R_9 =$		$R_{10} =$	
	$R_{11} =$		$R_{12} =$		$C_5 =$	
	$C_6 =$		$C_7 =$			
CUESTIÓN 6	$C_9 =$		$P_4 =$		$R_{21} =$	$R_{22} =$
CUESTIÓN 7	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V
	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V
CUESTIÓN 8						

Cuestiones complementarias

CUESTIÓN 1	12 V	11 V	10 V	9 V	8 V	7 V
	6 V	5 V	4 V	3 V	2 V	1 V
CUESTIÓN 2						
CUESTIÓN 3						

HOJA DE RESULTADOS

GRUPO (nombres)		
PRÁCTICA nº 9	Fecha	NOTA: /

CUESTIÓN 1	$f_o =$				
CUESTIÓN 2	$f_o =$	$R_{c1} =$	$R_{c2} =$	$R_{d12} =$	
	$R_1 =$	$R_2 =$	$R_3 =$	$R_4 =$	$C_1 =$
CUESTIÓN 3	$v_o =$				
CUESTIÓN 4	$R_6 =$	$C_2 =$	$C_3 =$		
CUESTIÓN 5	$R_8 =$	$R_9 =$	$C_4 =$		
	$R_7 =$	$R_{10} =$	$R_c =$		
CUESTIÓN 6	$J =$				

Cuestiones complementarias

CUESTIÓN C1	
CUESTIÓN C2	$f_{max} =$