



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
TELECOMUNICACIÓN**

ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA

Autores:

JOSÉ LUIS CALVO LABRA
BENITO MOZO RODRÍGUEZ

Tutores:

JESÚS MANUEL HERNÁNDEZ MANGAS
LOURDES PELAZ MONTES

INGENIERÍA ELECTRÓNICA
JULIO DEL 2001

TÍTULO: Estación Metereológica Automática
AUTORES: José Luis Calvo Labra
Benito Mozo Rodríguez
TUTORES: Jesús Manuel Hernández Mangas
Lourdes Pelaz Montes
DEPATAMENTO: ELECTRÓNICA

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

PRESIDENTE: Pedro Castrillo Romón
VOCAL: Jesús Manuel Hernández Mangas
SECRETARIO: Lourdes Pelaz Montes
FECHA DE LECTURA:
CALIFICACIÓN:

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto consiste en el diseño, implementación y prueba de una Estación Meterológica Automática (E.M.A.). Este tipo de instalaciones para la adquisición de datos metereológicos consiste en una parte electrónica que se utiliza para controlar el proceso de muestreo de los datos procedentes de los sensores metereológicos, y en una estructura mecánica que da soporte y protección a la parte electrónica y a los sensores. En este proyecto por lo tanto, solamente se tratará la parte electrónica de la instalación.

El equipo electrónico se ha tratado de realizar de forma totalmente modular, estando formado por una placa base sobre la que se insertan tarjetas de circuito impreso de aplicación específica (el conjunto formado por la placa base y las diferentes tarjetas ha sido bautizado como sistema METEODAT). Existen por lo tanto tarjetas de adquisición

de datos, que acondicionan las medidas que proporcionan los sensores de la estación, y existe también un "módulo CPU" que controla todo el sistema de tarjetas de la placa base, almacenando las muestras meteorológicas dentro de una memoria no volátil. Mediante esta tarjeta se implementa además, un protocolo de comunicaciones serie vía RS232 a través de un ordenador personal (PC), con el fin de que un posible usuario pueda configurar los valores internos del sistema METEODAT.

ABSTRACT

This project consist on the design and implementation of a new type of Automatic Meteorologic Station. In the project specifications only would be designed the digital and analogic parts of the system thus fixed devices and mechanical structures would not be analysed in this project.

In fact to reach this challenge, a lot of programing and hardware resources had to be used. First, a main board was developed for plug in other cards which implements the analog circuits for the amplification of the signals provided by the sensors that make the meteorological measures. Other module implements the communications with the other cards throught an fully 8 bits asynchronous bus, and the communication with an Personal Computer throught and RS232C serial protocol. Also this card implements the storage of meteorological data taken by sensors, in a non-volatile memory. The system formed by this cards was named "METEODAT system".

The project ends with a "system fireproof", doing work the METEODAT system during three days, and the following analysis of the meterological samples.

PALABRAS CLAVE

Estación Meteorológica Automática (E.M.A.), Temporizador/Alarma (timer), PIC, Protocolo Asíncrono, multiplexación, conmutación, timing.

ÍNDICE DEL PROYECTO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. ESPECIFICACIONES	8
2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SENSORES MÁS GENÉRICOS	9
2.2 DESCRIPCIÓN DEL MODULO PRINCIPAL Y SUS DISTINTAS PARTES.	23
2.3 INTERFAZ DE CAMPO	37
2.4 NORMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA EMAS	40
2.5 PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LAS EMAS, SECCIÓN DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL	55
3. EL SISTEMA METEODAT	58
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA	59
3.2. ELEMENTOS DE PROCESAMIENTO	63
3.3. MICROCONTROLADORES: LA FAMILIA PIC	65
3.4. DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO	67
3.5. EL BUS DEL SISTEMA	72
3.5.1. DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS DEL BUS	74
3.5.2. EL CICLO DE BUS	80
3.5.3. "TIMING" DEL BUS	83
3.5.4. CÁLCULO DE RESISTENCIAS PULL-UP DEL BUS	84
3.6. EL MÓDULO CPU	88
3.6.1. EL BUS I ² C	95
3.6.2. SISTEMA DE PROGRAMACIÓN EN CAMPO	96
3.7. LAS TARJETAS DE ADQUISICIÓN	99
3.7.1. MEDIDA DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO	100
3.7.1.1. GESTIÓN DEL BUS	110
3.7.2. MEDIDA DE TEMPERATURA	113
3.7.3. MEDIDA DE HUMEDAD RELATIVA Y PLUVIOMETRÍA	119
3.7.4. MEDIDA DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA	126
4. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA	138
4.1. PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO CPU	133
4.1.1. PROTOCOLO DE COMUNICACIONES SERIE	144
4.2. PROGRAMACIÓN DE LAS TARJETAS DE ADQUISICIÓN	160
4.3. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA CLIENTE	165

5. ANEXOS **173**

5.1. PRESUPUESTO, MATERIALES	175
5.1.1. COSTE DE DISEÑO	175
5.1.2. PRESUPUESTO DE COMERCIALIZACIÓN	176
5.2. CONTROL NUMÉRICO	178
5.3. PRUEBAS DEL SISTEMA	180
5.3.1. CONSUMOS	190
5.4. MANUAL DE USUARIO	192
5.5. BIBLIOGRAFÍA	195
5.6. CD-ROM ADJUNTO: CONTENIDO	196
5.7. ESQUEMAS	197
5.8. CATÁLOGOS DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS	

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en el desarrollo de una Estación Metereológica Automática (E.M.A.) y su materialización en un prototipo totalmente funcional, es decir un equipo electrónico semiautónomo que captura datos metereológicos de forma automática sin mediación de un operario, requiriéndose la presencia de éste solamente para programar los valores del sistema. Este tipo de estaciones se suelen emplazar en lugares remotos a la intemperie, por lo que requieren una serie de instalaciones especiales con el fin de dar un soporte a los sensores utilizados para tomar los datos, proteger las partes sensibles de la estación de las condiciones climatológicas adversas, de intrusos, o del daño que pudiera ocasionar una posible fauna endémica.

Debido a la envergadura del proyecto solamente se implementará la parte electrónica de control, adquisición de datos y su almacenamiento y comunicaciones. Las partes mecánicas como el “chasis” de la estación donde se instalan todos sus elementos, el recinto donde se emplaza o el estudio de fuentes de alimentación del sistema no se detallan en esta memoria.

El proceso de adquisición de datos metereológicos es el siguiente: Primero se muestrean los datos que proporcionan los sensores de la estación metereológica, se convierten a formato digital y se almacenan en una memoria no volátil, repitiéndose el proceso de muestreo/almacenamiento transcurrido un periodo de tiempo programado por el usuario de la estación. Posteriormente, cuando este usuario desea recoger los datos almacenados en la estación, utiliza un ordenador personal (un ordenador portátil, lógicamente) para descargar la memoria de la estación en un fichero de datos a través de una conexión RS232.

En el capítulo 2 se analizan las especificaciones de este tipo de instalaciones, así como la normativa existente sobre estaciones homologadas y se muestran algunas estaciones existentes con el fin de detectar sus puntos débiles y poder solventarlos en el prototipo que se proyecta.

En el capítulo 3 se realiza un estudio detallado sobre aspectos concretos de la implementación del prototipo, analizando los “pros y los contras” de la utilización de ciertos componentes, para al final decantarse por los más adecuados, siguiendo criterios económicos y de prestaciones. En el mismo capítulo se describe en profundidad el conjunto del “hardware” del prototipo desarrollado (que ha sido bautizado como sistema METEODAT), tanto la parte digital formada por una placa base de circuito impreso sobre la que se inserta un módulo controlador (módulo CPU) y una serie de tarjetas de adquisición de datos, como la parte analógica formada por los sensores que realizan la medida, y el circuito de acondicionamiento de cada tarjeta de adquisición.

En el capítulo 4 se describe someramente el curso de la ejecución de los programas utilizados para implementar el sistema. Los programas están residentes en el propio sistema METEODAT de la estación y en el ordenador personal que el usuario utiliza para comunicarse con el sistema. El estudio de este capítulo deberá complementarse con el código comentado que se incluye en el CD-ROM adjunto a la presente memoria.

Por último, el capítulo 5 está destinado a incluir los anexos a esta memoria. Entre ellos cabe destacar el apartado de “PRUEBAS DEL SISTEMA” donde se realiza una prueba del prototipo de la estación durante casi tres días para finalmente demostrar la viabilidad de la arquitectura implementada.

2. Especificaciones

ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS.

DESCRIPCIÓN DE LOS SENSORES MÁS GENERICOS

(no se tratan los de subsuelo por su gran similitud con los de temperatura que si se describen)

Comenzare explicando el funcionamiento de los sensores haciéndolo primero con los que no son propios de nuestras estaciones si no de otras que están instaladas por empresas o entidades del Estado en el ámbito de nuestra Comunidad.

En segundo lugar me centro en los sensores propios de las instalaciones del INM (Instituto Nacional Meteorológico), y digo instalaciones pues algunos de estos sensores se encuentran en aeródromos y aeropuertos a parte de las EMAS.

Se describe después el funcionamiento interno de la EMA. En cuanto a la respuesta de los sensores, se puede hablar de algunos de los que existe un patrón, de los que no existe, se puede pero a grosso modo.

Respecto al mantenimiento preventivo se expone lo que sé hacia y hace siguiendo las normas del INM.

De la calibración expondré las comprobaciones que se realizan.

Respecto al diagnóstico y resolución de los problemas mas frecuentes, se expondrán con el fin de poderlos abordar y determinar; al objeto de colaborar, en su caso, con el técnico en su mantenimiento.

SENSOR DE TEMPERATURA (modelo: YSI44212)

Esta sonda esta compuesta por tres elementos "termistores" que son semiconductores, que presentan un rápido y significativo cambio de su resistencia para pequeños incrementos de temperatura. (la resistencia de los termistores tienen un comportamiento contrario a los incrementos y decrementos de temperatura).

Los termistores en general no son lineales por lo que se les intercala resistencias de precisión consiguiendo errores de linealidad inferior a 0,1 °C en el rango de -50 a 50 °C.

Características técnicas:

<i>Rango</i>	$\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$
<i>Sensibilidad</i>	$0,00559149\text{ }V_{REF}/^{\circ}\text{C}$
<i>Max. Desviación de linealidad</i>	$0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$
<i>Precisión e intercambiabilidad</i>	$0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$
<i>Constante de tiempo</i>	15 seg.
<i>Resistencia de carga</i>	1 MHM
<i>Numero de terminales</i>	4

SENSOR DE TEMPERATURA CON PT-100

Es bien sabido que la resistencia eléctrica de un conductor metálico depende de la temperatura a que se encuentra en la forma:

$$R(\Phi) = R_0 (1 + a\Phi + b\Phi^2 + \dots)$$

Donde

$R_0 \leftarrow$ Resistencia a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\Phi \leftarrow$ Temperatura en grados celsius

a y b = Constantes que dependen del metal.

Cuando el metal es platino muy puro, para la precisión usada en medidas industriales, puede tomarse

$$a = 0,0003850 \text{ (DIN 43760)}$$

$$b = 0.$$

con lo que la expresión anterior queda:

$$R(\Phi) = R_0 (1 + 0,0003850 \Phi)$$

Relación entre temperatura, magnitud no eléctrica y resistencia eléctrica, basándonos en la expresión anterior y conforme a la norma DIN 43760 tenemos que el PT-100 a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

°C tiene una resistencia de 100 ohm.; aplicando la expresión queremos saber la resistencia del sensor a 100 °C (ambos son los límites del ajuste) entonces:

$$R(0) = 100 (1 + 0,003850 \times 100 \text{ °C}) = 138,51 \Omega$$

Coincide con las tablas de la DIN43760; con ligeras variaciones se vería el resto de temperaturas.

Especificaciones

Elemento sensor: *sensor de platino tipo pt-100*

Rango de medida: *30 a 70 °C*

Precisión: *tolerancia din 0,3 °C a 0 °C*

Puntos de calibración *0 °C y 1000 °C*

Constante de tiempo *28seg. (90%)*

SENSOR DE HUMEDAD

ROTRONIC HIGROMETER C-80

La medida de humedad se efectúa por medio de un elemento sensible de tipo capacitivo.

La variación de la capacidad eléctrica del sensor en función de las variaciones de la humedad relativa son convertidas en una señal de tensión eléctrica totalmente lineal.

Características Técnicas:

Elemento sensor: *Tipo capacitivo*

Rango de medida: 0..100% (lineal)

Exactitud a 25 °C: +/-I%

Precisión: <0,5%

Constante de tiempo a 25 °C <10 seg.

Salida: de 0 a 1V para 0..100 % HR.

SENSOR DE HUMEDAD THIES (INM)

El sensor esta compuesto por una caña abierta con orificios ovalados; en su parte opuesta tiene una esfera con una aguja y un fondo escala que indica la HR. (en el otro extremo un tornillo de ajuste).

El elemento sensor esta compuesto por haces de cabellos con un tratamiento especial llamado "H". Puede tener un tratamiento adicional llamado "S-Higrofix" para que su capacidad de reacción sea más rápida.

Los cabellos tienen la propiedad de dilatarse proporcionalmente a la humedad que se le aplica, aumentando su longitud, o encogerse en caso contrario. Estos cambios de longitud son transferidos al eje de rotación de una resistencia lineal, y sobre este eje se monta una aguja indicadora.

Características técnicas:

Rango de medición Precisión: _____ 10 ..100 % HR

Precisión: _____ +/- 2 %

Longitud Escala: _____ 94 mm

Graduación: _____ 1 % HR

Carga: _____ máxima 2 W

SENSORES DE PRECIPITACIÓN (PP)

Todos conocemos desde el clásico pluviómetro tradicional, pasando por el pluviógrafo, al de balancín, usado por los sistemas de adquisición automática de datos. El más usual es el que tiene una precisión de 0,2 mm. , El conjunto del elemento sensor se diseña para tener el mínimo mantenimiento por suciedad depositada en detrimento de una menor precisión; el elemento contador de las veces que bascula el balancín lo constituye el conjunto relé "REED" o imán; sensor de efecto "HALL" <> lamina metálica; elemento óptico: transmisor <> receptor; interrumpido por el propio balancín. Todos estos sistemas lo que hacen en definitiva es generar una interrupción de una tensión que se le suministra generando impulsos que sirven para contar las veces que el balancín bascula a uno y otro lado.

Las gráficas nos indicaran después la PP; la intensidad de la misma, etc.

SENSOR DE P.P. DE BALANCIN MARCA THIES

Haré una descripción desde la parte más externa a la mas interna.

Una carcasa lo cubre y protege de agentes externos; esta protección metálica tiene en su parte superior una zona de entrada de lluvia de cantos agudos con una superficie colectora, común en estos dispositivos de 200 cm cuadrados de área.

Esta carcasa envuelve a un embudo colector de pp. que en su parte mas baja tiene un agujero de aproximadamente 1mm de sección, que frena el llenado del elemento sensor; protegido con un pequeño cedazo que impide en teoría de la suciedad y posterior atascamiento del susodicho paso de agua.

El elemento sensor esta compuesto por una pequeña cubeta basculante que se vuelca al contener el equivalente a 0,1 mm. de pp. (2 cm cúbicos); quedando la otra parte dispuesta para su llenado.

Por lo tanto su resolución se determina por el volcado de una vez es decir a 0,1 mm.

Rodeando al embudo tiene una resistencia calefactora que esta controlada por un termostato. Los 24 V y 75 VA los suministra un transformador desde la EMA (Estación Meteorológica Automática); siempre que la tensión de red este presente.

Datos técnicos:

<i>Intensidad de pp.:</i>	<i>máx. 7 mm/min (70 volcados)</i>
<i>Salida del sensor:</i>	<i>0,1 mm /impulso.</i>
<i>Superficie colectora:</i>	<i>200 cm 2 (159,6 diámetro)</i>
<i>"V" del sensor de conteo:</i>	<i>12 v</i>
<i>Tensión máxima si sensor es un optoacoplador:</i>	<i>30V</i>
<i>Margen de funcionamiento:</i>	<i>25 °C.. +60 °C</i>
<i>Peso:</i>	<i>3,5 Kg</i>

SENSORES DE VELOCIDAD

Generalidades

Se conocen por anemómetros; tres cazoletas separadas por tres brazos a 120 grados cada uno. (Fritchen y Gay, 1979) determinan que la relación entre la velocidad del viento y de las cazoletas es lineal cuando la distancia del eje de giro al centro de la cazoleta es igual al diámetro de esta.

Comercialmente son 1,25 veces mayores (los brazos) que el diámetro de las cazoletas.

Sensores de velocidad clásicos:

Los más remotos se basaban en la generación de una tensión proporcional a la velocidad de giro del elemento sensor; el símil en la forma de generar tensión y frecuencia, tiene cierta analogía como la dinamo de una bicicleta.

Los más usuales son realizados mediante un imán acoplado al rotor y una bobina a la que induce una tensión y frecuencia sinusoidal proporcional a la velocidad del eje de rotación. Compuestos por tres cuencos semiesféricos moldeados de plástico (ABS) suelen llevar una resistencia de calefacción para evitar el agarrotamiento por el hielo/nieve.

Especificaciones:

Escala 0. 50 m/sg.

Sensor: diámetro del conjunto cazoletas 12 cm.

Diámetro de cada semiesfera: 4 cm

Sensibilidad (umbral) 1,1 m/sg.

Transductor: bobina fija de 1350 ohm de resistencia.

Salida sensor . 100 mVpp a 60 RPM (1 m/sg)

6Vpp a 3600 RPM (60m/sg)

Con este mismo principio otros modelos llevan en lugar de un imán fijo en el eje; (del anterior) 3 imanes y 3 bobinas con lo que mejora la sensibilidad, pasando el umbral de 1,1 m/sg a 0,5 m/sg. y acortando los márgenes de tensión de salida a:

Salida sensor120 mv/ a 1 m/sg.

1,87V a 60 m/sg.

Las frecuencias1,5 HZ (0,5 m/sg) a 180 HZ (60 m/sg.)

Sensores de velocidad (sistema por conteo y óptico)

Se pueden distinguir dos tipos en este sistema uno empleado en sistemas "domésticos" y a nivel de conteo de recorrido, caso del anémo del tanque evaporimétrico, compuestos por un imán y un relé reed o bien de efecto Hall.

Efecto Hall: Cuando un conductor lleva corriente o un semiconductor esta colocado en un campo magnético, aparece una diferencia de potencia; entre los dos extremos del conductor o del semiconductor en una dirección perpendicular a ambos, el campo y el conductor o semiconductor. Este efecto es llamado HALL, y la tensión generada de efecto Hall. El nivel de tensión depende de la clase y características del conductor o material semiconductor; la magnitud de la corriente y la intensidad del campo magnético. (imán sensor de efecto hall).

Los mas usados y con mayor precisión son los que usan un sistema óptico con un disco estriado en sus extremos que interrumpe un haz luminoso producido por un LED y como detector se usa un foto-diodo o fototransistor que detecta los picos de luz de mayor o menor frecuencia dependiendo de la velocidad de giro, pasando el umbral a 0,3 m/sg. y una resolución de 0,05 m/sg. y una salida de pulsos electrónicos de anchura fija y frecuencia depende de la velocidad del viento, con 20 impulsos por vuelta (1 vuelta es = 1 metro de recorrido).

SENSORES DE DIRECCIÓN DE VIENTO

Las veletas empleadas en Meteorología, responden al mismo principio que las de forma de gallo que coronan las torres.

Las actuales se basan en dos sistemas de sensor de posición angular, montado sobre el eje; que indica analógicamente o digitalmente la dirección del viento.

El analógico se construye mediante una resistencia bien de hilo o de película de carbón; el de hilo se bobina sobre un núcleo aislante con forma de superficie cilíndrica; un

cursor unido al eje de giro se desliza sobre las espiras; de modo que sometida la resistencia a una diferencia de potencia, el cursor obtendrá una tensión proporcional al lugar en que se encuentre; la resolución de estos potenciómetros (resistencias variables) no es buena, pues el cursor para asegurar el contacto se apoya sobre más de una espira del devanado.

INCONVENIENTES:

- 1.- Se soluciona usando potenciómetros de película resistiva*
- 2.- El rozamiento produce un desgaste a la larga que altera la resistencia.*
- 3.- Tiene un ángulo muerto por no cubrir la totalidad de la circunferencia.*

Las más precisas tienen una sensibilidad o respuesta a vientos de 0,3 m/sg, la precisión es de +/- 2 grados, resolución de un grado; el rango de 0..360 y el ángulo muerto de <= 6 grados. Para evitar los inconvenientes de este sistema están los usados por THIES y que después adoptaron marcas nacionales como Sainco o Seac, montados por el INM; estos se basan en un codificador óptico.

SENSORES DE DIRECCIÓN MEDIANTE CODIFICADOR ÓPTICO

Un disco de plástico transparente con unas marcas de pintura negra que impiden pasar la luz, formando 2^n radios con n combinaciones distintas; no suele ser de 4 en los más sencillos y 8 los más usuales. El eje del disco va unido al eje del giro de la veleta, haciendo que tengamos $2^8 = 256$ posiciones distintas que es lo más próximo a 360, pues $2^9 = 512$ posiciones.

Tenemos por lo tanto $360/256 = 1,40$ de resolución equivalente a 1'24'25".

La transferencia u opacidad de las 256 combinaciones se pueden disponer de forma que generen un código binario natural; decimal codificado en binario (BCD) o una codificación de GRAY. Por ejemplo:

DECIMAL	BINARIO	GRAY
0	00000000	00000000
1	00000001	00000001
2	00000010	00000011
3	00000011	00000010
4	00000100	00000110

La salida de estos 8 bits se puede sacar en paralelo y llevarlos al sistema de adquisición de datos, digital o bien transformada en una señal analógica para ser usada en un registrador.

Con el viento encarrilado la veleta indica la dirección exacta de este. Si el viento es racheado la respuesta depende del diseño dinámico, respondiendo sin oscilaciones si su amortiguamiento es igual a cero (superior al crítico).

En la practica se emplea amortiguación ligeramente inferior al critico, haciendo que la oscilación sea constante alrededor de la dirección verdadera del viento. La EMA del INM marca SEAC o Thies el codificador es de 8 bits y código GRAY.

características:

Sensibilidad 0,1 m/sg.

Factor amortiguamiento 0,6

Precisión 1,41°

Rango 0..360°. Salida de 8 canales lógicos de 0 a 12V

SENSORES DE RADIACIÓN SOLAR

Describiré el funcionamiento de un modelo que indica claramente en que consiste el funcionamiento básico de este sensor. El sensor consta de un disco dividido en 16 sectores constituido cada uno de ellos por una lamina de cobre lacada bien en

blanco o en negro y dispuestas alternativamente sobre el disco, bajo este disco y entre cada lamina blanca y negra hay un termopar, que consiste en dos metales diferentes soldados por un extremo que al calentarlos generan una diferencia de potencial en la soldadura por lo que el conjunto forma una termopila de 8 termopares. El conjunto va encerrado en una cúpula de cristal transparente y liso que permite la incidencia de la radiación sobre los sectores laceados.

La radiación incidente sobre la cúpula de cristal calienta las laminas. Las laminas negras, debido a su color, se calientan mas que las laminas blancas. Cada termopar situado bajo las laminas, sufre una variación de resistencia eléctrica dependiente de la temperatura, la suma de cada termopar forman una termopila que es la diferencia de potencial que suministra el sensor.

Son los llamados Piranómetros, captan la radiación solar, directa y lo más usual en una estación automática es instalar un metro de radiación global, aunque en las de alta montaña se instalan los llamados

ALBEDOMETROS.

Consiste en dos sensores de radiación que miden esta, directamente y al mismo tiempo la reflejada por el suelo, se instalan en un mástil; un sensor mira a la bóveda celeste y otro al suelo. Estos sensores han de ser idénticos. El funcionamiento de estos sensores; la irradiancia (en W/m^2) exterior al piranómetro en el plano del elemento sensor se puede calcular dividiendo la tensión de salida (μV) entre la sensibilidad ($\mu V/Wm-2$) del piranómetro.

Especificaciones:

Sensibilidad 9-15 (μV)/ $Wm-2$.

Impedancia: 70 .. 100 Ω .

Tiempo de respuesta 5 sg.

Para alcanzar el 99 % el valor final 55 sg.

Temperatura ambiente de funcionamiento de -40 a +60 $^{\circ}C$

Irradiancia máxima 2000 - w/m^2 .

EVAPORÍMETRO

Se encarga este sensor de medir la evaporación del tanque, es de acero inoxidable con apoyos roscados para nivelarlo, es de forma de cilindro y en su interior hay tres flotadores de polypropylene que es la única parte del conjunto sensor que esta unido con el agua.

Una escala graduada que indica " in situ" el cambio de nivel, la flecha que indica el nivel por algún sistema mecánico se une al cursor de una resistencia variable, variando la posición dependiendo del nivel acuífero la resistencia se une a una tensión de alimentación y es la diferencia de potencia; lo que se lleva a la EMA-5

Especificaciones:

Escala 0.. 142 mm
Precisión: +/- 0,375 mm
Sensor: Potenciómetro de 5 K Ω +/- 3 %
Resolución: infinita.
Material: resistencia a la corrosión
Tamaño sensor 197 x 533 mm.
Exterior sensor 229 x 260
Peso: 7/9 k.

SENSOR DE PRESIÓN

El elemento sensible suele ser una membrana de silicio monocristalino sobre cuya superficie se difunden cuatro galgas piezorresistivas dispuestas en Puente de Wheatstone.

El silicio es perfectamente elástico y sin histéresis y (las deformaciones por la presión exterior, no llegan a ser permanentes y recupera fácilmente su forma original)

Para entenderlo mejor se puede decir que el sensor de presión consiste en una cápsula de silicona cristalina que se deforma por acción de la presión atmosférica. Sobre esta cápsula se difunde o acopla a un transductor de tipo resistivo de alta precisión (los piezoresistores y el Puente de Wheatstone, cuya salida es convertida a frecuencia.

Características técnicas

Rango:600 - 1100 mb

Precisión: +/- 0,1% de la medida.

Alimentación:12 v

Salida:en mV o digital

Rango de temperatura:0 a 50°C

ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS

DESCRIPCIÓN DEL MODULO PRINCIPAL Y SUS DISTINTAS PARTES

Una vez descritos los distintos sensores que soporta la estación automática se pasa a describir el modulo principal y sus distintas partes.

La descripción se hace al fin de comprender básicamente las partes que consta y la misión de cada una de ellas.

Preámbulo

La red de estaciones meteorológicas automáticas del INM ha sido concebida para la obtención de datos meteorológicos fiables en tiempo real y en diferido desde lugares aislados y de difícil acceso a fin de completar la red convencional de observación.

La función de una EMA es, obtener, procesar y transmitir los datos meteorológicos, así como simplificar las tareas de las observaciones meteorológicas de cada día y reducir los posibles errores en las tomas de datos.

La red consta de unas 260 estaciones automáticas y de 15 centros de concentración de datos (uno en cada uno de los CMTs) en donde son procesados y tratados según las distintas aplicaciones.

Tres partes componen la red, a saber:

- a) Estaciones meteorológicas automáticas, son las encargadas de recibir la información sobre los distintos parámetros meteorológicos (viento, temperatura, radiaciones etc.) existentes en los diferentes puntos de medida; realizar un procesado de estas informaciones y almacenarla sobre memoria y posterior transferencia a un Soporte rígido.
- b) Concentradores, que son los CMTs que se encargan de las EMAS correspondientes a su demarcación, pidiendo los datos, básicamente cada tres horas y proceder a su posterior tratamiento (climatológicas por ejemplo).
- c) Red de transmisión que sirve de soporte para el intercambio de información entre las distintas estaciones automáticas y los centros de concentración. Dicha red puede ser vía radio, satélite y telefónica. Las estaciones del INM con el fin de asegurar su operatividad están conectadas con los concentradores mediante red telefónica básica R.T.B..

La red de EMAS del INM fabricadas por la Empresa Sociedad Española de Aplicaciones Cibernéticas, SEAC; en su momento, fue la única empresa que reunía las características que decidieron su adquisición y posterior instalación; es un desarrollo a medida de las necesidades del INM y por otro que era totalmente modular y nacional; la Empresa Comelta colabora en su desarrollo, especialmente de las tarjetas del microprocesador y control de disco.

Las partes de la estación son:

- *Sensores de campo*
- *Interfaces de campo*
- *Cableado*
- *Modulo interior principal*
- *Periféricos opcionales*

La EMA consta de cinco sensores en principio que posteriormente se amplió con el de presión; de forma continua mide la dirección, velocidad del viento y la precipitación y cada 10 minutos los demás (temperatura, humedad y presión).

Mediante cálculos se obtienen otros parámetros (viento medio, rachas, recorrido del viento, intensidad de precipitación, valores extremos de temperatura o presión, punto de rocío etc.). Con mención de la hora y minuto en que se produce.

Las señales procedentes de los sensores se llevan a unos interfaces que procesan convenientemente las señales procediéndose posteriormente a llevarlas al modulo principal donde se procesan.

El cableado desde el módulo principal a los interfaces son dos uno de señales apantallado con dos capas de goma y otro para la calefacción de los sensores.

Desde los interfaces a los sensores son apantallados y dependiendo del sensor pueden tener mas de diez hilos, y en algunos, en la misma manguera lleva la calefacción.

El modulo principal se instala en un recinto protegido de humedades y temperaturas extremas, totalmente modular alimenta y recibe las señales de los sensores, enviando a sus displays la información recibida, almacenándola en memoria y en disquete. Controla el funcionamiento del sistema y de las indicaciones de alarma o averías existentes.

Dispone de un reloj con calendario y lleva incorporada una batería tampón que le proporciona una autonomía de 2 a 8 horas dependiendo de la capacidad de la batería.

MODULO PRINCIPAL

Las partes integrantes de este modulo son las siguientes:

- 1.- Alimentación del sistema.*
- 2.- Modulo de entrada/salida paralelo.*
- 3.- Modulo CPU.*
- 4.- Modulo de comunicaciones.*
- 5.- Sistema de almacenamiento en disco*
- 6.- Sistema de control analógico y digital.*
- 7.- Sistema de visualización LED*

Este equipo es básicamente un ordenador, o llevado a otros ámbitos una Work Station (Estación de Trabajo); Un ordenador con un programa residente, sin disco duro y con un presentador LCD que sustituye al monitor, y un pequeño teclado y un presentador de viento en tiempo real.

Descripción en el ámbito básico de sus partes:

1.- Alimentación del sistema

La fuente principal de energía es la red eléctrica a 220V C.A. a partir de la que se obtiene otras; pulsante de unos 15V que se transforma en el Sistema Integrado de Alimentación (SICAM). Esta tensión se envía a la Fuente de Alimentación Lineal y a la Tarjeta Conmutada.

La Fuente de Alimentación Lineal (FAL) se encarga de transformar los 15V de corriente pulsante en +12V de corriente continua que alimenta la caja de interfaz y los sensores.

La tarjeta de Fuente de Alimentación Conmutada (FAC) se encarga de producir las tensiones de +/- 12V y +5V de corriente continua para alimentar al modulo interior principal.

El SICAM:

Se encarga de transformar la tensión de red de 220V primero en una tensión pulsante de 15 V y después en una tensión continua de 18V para la alimentación del equipo.

Dispone de dos filtros a la entrada de la red, uno en el propio enchufe y otro mediante dispositivos desacopladores de picos superiores a 250V, mediante un conjunto de varistores y bobinas.

Genera también tensión de 24V C.A. para alimentar a la calefacción de los sensores. Las tensiones de 18 y 24V se protegen contra sobrecorrientes mediante fusibles térmicos.

En este modulo se encuentran las conexiones de entrada de red, salida de 24V para la calefacción de los sensores, interruptor de encendido de la unidad, así como de entrada/salida de señales al interfaz/ces como de salida para registrador de D/V del viento así como los fusibles térmicos indicados, que si hay cualquier mal o falta de

funcionamiento del sistema hay que apretar; pues son pulsadores que se disparan si hay cruces o sobreintensidades.

La F.A.L. :

Esta tarjeta tiene la misión de generar +12V para alimentar a la interfaz de campo y a los sensores.

El modulo principal dispone también de una batería incluida en el interior del mueble, así como los circuitos necesarios para su carga, desconexión y conexión automática a fin de mantener el sistema en funcionamiento en casos de cortes de suministro eléctrico de la red, fijando su autonomía en 2-8 horas dependiendo de la batería instalada, desde el instante en el que se produce el corte de alimentación de red.

Esta tarjeta se encarga de supervisar el estado de la batería tampón y de su carga, si es requerida, a través de una fuente de tensión constante.

Características:

- *Tensión de entrada: 220V c.a.*
- *Tensión de salida: 12 V c.c. y 24 V c.a.*
- *Consumo aproximado, depende de la batería: 25W*
- *Tensión de la batería tampón: 12V c.c. 6 A/h o 24 A/h*

Una de las averías mas frecuentes que afecta a esta tarjeta es la conmutación a batería, si al desconectarse la red no entra la batería.

La F.A.C.

Esta tarjeta esta formada por un convertidor DC/DC que genera +S y +/-12V procedente de los 12V suministrados por la F.A.L., alimentando con los 12V a la tarjeta de

comunicaciones y microprocesador y con SV además a la de entrada de señales VIAS.

2.- Modulo de entrada /salida paralelo

Esta tarjeta recibe las señales desde el Interfaz de Campo (MPX) que se reciben en serie, y las transforma en paralelo; una vez en paralelo, esta información se distribuye en el modulo principal por tres vías (puertos paralelos). Además, existe un cuarto puerto o salida paralelo para una impresora, periférico, etc.

Entre sus funciones están:

- Controlar las tensiones de + 12V y +5v que alimentan tanto a la controladora del disco como a la unidad de disco.
- Detectar la existencia de tensión de red para el modulo interior realice las operaciones oportunas.
- Amplificar y controlar la señal de sincronismo generada en la tarjeta de velocidad de viento y que se envía a la interfaz de campo para realizar la medida de sensores. También controla el bloqueo de la base de tiempos utilizado para la multiplexión de sensores.
- Detecta los pulsos del indicador de llamada del módem telefónico.
- Controla las señales generadas por el circuito de activación de la unidad de operación, teclado, así como la identificación de la tecla pulsada.

Posee un circuito de identificación del tipo de reset, para detectar si este se ha producido por:

- a) *Activación del circuito de supervisión (watchdog=perro)*

- b) Activación del pulsador de reset (reset caliente)*
- c) Puesta en marcha del sistema (reset frío)*

También posee un circuito para activación del display L.C.D.

En cuanto a las averías esta tarjeta pudiera estar averiada sí:

- a) No funciona la impresora*
- b) Hay red y el equipo no la detecta*
- c) No funciona la disquetera*
- d) No funcionan algunos sensores*
- e) No funciona alguna parte del teclado*
- f) No funciona la iluminación del LCD*

3.- Modulo C.P.U.

C.P.U son las iniciales de Central Process Unit (Unidad Central de Proceso) que todos los ordenadores llevan.

Controla y gestiona todas las funciones internas del sistema así como el proceso y la transmisión de los datos meteorológicos que se obtienen de los sensores.

Consta, básicamente, de un microprocesador 6502 de la Casa Rockwell, memorias RAM (Ramdon Acces Memory) Memoria de Acceso Aleatorio y una memoria EPROM (Electric Process Read Only Memory).

La memoria EPROM es solo de lectura y contiene todo el software de funcionamiento del sistema. Esta memoria es programable y reutilizable borrándose por exposición de una fuente de rayos ultravioleta.

La memoria RAM es de lectura y escritura y se borra al apagar el sistema. En ella se van cargando, desde la EPROM, los programas del sistema así como los datos procedentes de los sensores de campo (fundamentalmente gestiona las posiciones donde han de ir los datos).

El microprocesador hace que se carguen los programas de la EPROM en la RAM y controla todo el funcionamiento de la estación. Entre otras funciones tiene las siguientes:

- Gestiona las señales de datos de control y de direcciones que entran y salen interior y exteriormente.

- Comprueba constantemente su buen funcionamiento mediante la emisión de una señal a un circuito supervisor, llamado perro o watchdog, situado en el modulo de entrada/salida paralelo. Si el perro no recibe la señal del microprocesador automáticamente se reinicializa el sistema (reset caliente).

- Recibe la señal de sincronismo y gestiona la señal de tiempo real.

- Envía los datos al display del LCD

4.- Modulo de comunicaciones

Esta tarjeta inicialmente; en los primeros años de la instalación de la red de estaciones se conectaba a un módem externo de telefónica. Actualmente se diseño para poder alojar un módem en la misma tarjeta por lo que exteriormente tiene una conexión hembra RJ- 11 para la línea RTB de Telefónica.

La tarjeta de comunicaciones esta formada por 3 canales de comunicación, dos de tipo serie RS232, para el envío de datos a larga distancia, y otro paralelo, para el envío de datos a corta distancia.

El canal paralelo permite la conexión de una impresora cercana. Además un canal serie permite la interconexión a fin de aumentar la distancia entre el modulo principal y la impresora.

El otro canal serie es el de comunicaciones, este canal, conectado a un módem de respuesta automática, permite el acceso a los datos de la estación vía red conmutada de telefónica.

Cuando el módem es interno, alojado en la misma tarjeta, sus características más representativas de funcionamiento son las siguientes:

- Marcación y respuesta automática conforme a la norma V25 bis de CCITT(Comité Consultivo Internacional de Comunicaciones).

- Velocidad de transmisión autoajutable, dependiendo de la calidad de la línea, según las normas V21-2223(300,1200,2400 baudios); aunque el módem tiene esta posibilidad no está implementado estando ajustado a la norma V-21(300 baudios) por requerimientos del software del Concentrador.

- Modo de funcionamiento Full-Duplex

- Bajo consumo.

- Posibilidad de alimentación mediante tensión interior de la EMA, bien sea suministrada por los circuitos reguladores o por la batería tampón comentada anteriormente.

- Conexión directa a la Red Telefónica.

Este módulo de comunicaciones tiene como misión principal facilitar la transmisión de datos a través de la red telefónica conmutada a periféricos remotos con el fin de obtener la información bien sea en tiempo real o almacenado, generada por la EMA en ubicaciones distantes de la misma.

Todas las EMAS disponen de una línea telefónica por la que envían la información almacenada al ser interrogadas por un concentrador desde los centros zonales mediante dos Work Station una en SS.BB. Y otra en el GPV; importan datos en tiempo real o almacenados en las EMAS; normalmente correspondiente a la demarcación del CMT.

Los datos se reciben por dos caminos:

La EMA tiene un sistema de almacenamiento mediante disquete, que se cambia y envía al CMT mensualmente; los datos se procesan haciendo un control de calidad y una vez corregido se archiva para históricos climatológicos. Por otro lado el concentrador del CMT puede llamar a cada EMA y recibir datos almacenados o en recepción continua en tiempo real.

5.- Sistema de almacenamiento en disco

Este sistema se compone de una tarjeta controladora de disco y una unidad de almacenamiento magnético con opciones del tipo de soporte, bien sea de 5 y 1/4 o actualmente que se están cambiando las disqueteras a 3 y 1/2.

La tarjeta se encarga, a través del software programado de almacenar los datos de forma periódica así como del control de los posibles errores que se produzcan al ejecutar la operación anterior. También se encarga de ejecutar los comandos correspondientes cuando se efectúan Los cambios de fecha o de disco.

El volcado de datos sobre el disco de 5-1/4 o de 3-1/2 se realiza cada 8 horas siempre anteriormente se han ¡dos cargando los datos en la memoria RAM, pasando a la 7:50, 15:50 y 23:50. La disquetera hasta el momento del volcado esta sin tensión y sin datos Solo es en el momento del volcado para cuando le activa la alimentación de todos las alimentaciones del sistema, con el fin de alargar la vida de estos elementos.

Si en las horas mencionadas no se realiza el volcado desde la RAM a la unidad de disco, ya sea por falta de red o por detección de errores de operación, el sistema entra en

un proceso de emergencia en el cual intentara volcar los datos cada hora hasta un máximo de 4 horas. Si esto llegase a ocurrir, el sistema empezaría a sobrescribir sobre las horas más antiguas en la memoria de almacenamiento y seguiría intentando volcar los datos cada hora hasta que lo consigue.

Los discos de 5 1/4 admiten algunos días mas de un mes; los de 3 1/2 tienen espacio para mas de un mes y medio; en general se debe cambiar los discos cada primero de mes, enviándolos al CMT correspondiente.

Cada EMA tiene asignado un número de identificación de tres dígitos que forma parte de los tres dígitos que nombran al programa

6.- Sistema de control analógico y digital

Dos tarjetas componen esta parte, que son las encargadas de:

- a) Controlar las salidas digitales para los visualizadores de dirección y velocidad del viento.
- b) Generar la señal de base de tiempos del sistema.
- c) Ejercer el control analógico para la salida a los registradores gráficos de D/V de viento

Tarjeta de velocidad

Amplifica y conforma la información entrante sobre la velocidad del viento adaptándola a los niveles de tensión necesarios para su tratamiento y controla el funcionamiento del controlador digital-analógico. Es decir transforma la señal digital proveniente de la interfaz de viento en las tres informaciones siguientes:

- a) Información digital a 3 displays numéricos para la visualización de la velocidad del viento, actualizando la información casi instantáneamente (cada 2 segundos).

- b) Información digital para controlar el decodificador que activa los 50 LEDs del display que rodea al display anterior, actualizando la información cada 0,2 segundos.
- c) Información analógica de tensión para controlar el canal de velocidad del registrador gráfico.
- d) Genera la señal de sincronismo que gobierna la interfaz.
- e) Protección de las entradas de señal contra sobretensiones.

Tarjeta de dirección

Transforma la señal digital de dirección del viento proveniente de la interfaz de viento en las tres informaciones siguientes.

- a) Información para tres displays numéricos para la visualización de la dirección del viento, actualizando la información cada 2 segundos.
- b) Información para controlar el decodificador que activa uno de los 36 LEDs según la dirección del viento registrada en ese momento, esta información se actualiza cada 0,2 segundos.
- c) Información analógica de tensión para controlar el canal de dirección del registrador gráfico en el rango de 0' a 540' con salto automático de escala.

7.- Sistema de visualización L.E.D.

Formada por dos indicadores circulares LED (Diodo Emisor de Luz) y dos displays LED de 3 dígitos cada uno y de 7 segmentos por dígito permiten verificar de manera instantánea los siguientes parámetros.

Velocidad instantánea

La información correspondiente a este parámetro se representa de dos maneras:

Por medio de un sector circular formado por 50 diodos LED, grabados en pasos de 1 m/sg. Se visualiza la velocidad instantánea del viento, así como sus variaciones. El número de muestras tomadas es de 5 por segundo, realizándose el refresco de la información cada 0,2 sg..

Por medio de tres dígitos de 7 segmentos cada uno y de 14 mm. de altura, se representa la velocidad media del viento de los últimos dos segundos, dando la información en decenas, unidades y décimas en m/s, con una precisión de 0,1 m/sg.

Y Por medio de tres dígitos de 7 segmentos cada uno y de 14 mm. de altura se representa la dirección del viento en los últimos dos segundos, con una precisión de 1,41 grados y actualizándose la información cada 2 segundos.

ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS

INTERFAZ DE CAMPO

El nombre describe por si mismo este equipo, que se intercala entre los sensores de la estación y el modulo principal.

Evidentemente la misión es la adaptación entre ambas partes.

Como todos sabemos la EMA se realizo basándose en el anterior anemocinemografo de la misma empresa, por lo tanto se describe o se usa el interfaz de aquel también en la EMA, aparte del suyo propio.

La interfaz de campo (IF-8)

consiste en una caja de PVC de intemperie perfectamente estanca, para alojar las tarjetas transductoras de los sensores y para realizar las conexiones necesarias entre estos y el modulo interior principal.

La distancia máxima entre la caja interfaz de campo (IF8) y el modulo interior principal es de 1000 metros.

Tiene como misión enlazar los diferentes sensores con el modulo principal, transformando las señales recibidas de los sensores en señales lógicas, que gobernadas por el modulo principal, permiten el envío de las diferentes medidas realizadas a través de las líneas de comunicaciones.

La unión entre el modulo interior principal y la interfaz de campo (IF8) se realiza por medio de un cable de 7 conductores, para el envío de la información y recibir la alimentación.

Además de este cable, la caja interfaz va provisto de otro cable de 4 conductores para la alimentación de la calefacción de los sensores, en el caso de que estén provistos de ella. Dichos cables van dotados en ambos extremos de conectores de intemperie a fin de facilitar la instalación, impedir posibles errores y asegurar la estanqueidad de la caja.

Las partes integrantes de la caja interfaz de campo (IF8) son las siguientes:

1. - *Tarjeta de interfaz de viento paralelo o serie*
2. - *Tarjeta conversora Analógica/Digital (A/D) de temperatura y humedad*
3. - *Tarjeta conversora A/D de temperatura de subsuelo y presión (solo presión en nuestra EMA)*
4. - *Tarjeta conversora Analógico/Digital de Temperatura del suelo e Irradiación solar global (no disponible en las del INM)*
5. - *Tarjeta Multiplexora.*

Las funciones realizadas por este equipo de campo son:

- *Alimentar a los sensores a través del cable de señal.*
- *Convertir la información paralelo del sensor de dirección de viento en información serie.*
- *Tratar y convertir la señal analógica de los sensores de temperatura, humedad relativa, irradiación, temperatura de subsuelo, temperatura de superficie y evaporación, en señal digital.*
- *Adaptar la información recibida del pluviómetro, del sensor de velocidad y del sensor de presión.*
- *Enviar al modulo interior principal las informaciones de los sensores a seleccionar.*

ESTACIONES METEOROLOGICAS AUTOMÁTICAS

NORMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS AUTOMÁTICAS

SECCION DE PROGRAMACION Y CONTROL - I.N.M.

VERSION 2 - MARZO 1.996

INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental del mantenimiento consiste en la consecución de un número determinado de horas de funcionamiento de un equipo, máquina o sistema en condiciones de calidad de fabricación, con el mínimo coste.

El mantenimiento preventivo es un conjunto de técnicas y sistemas que permiten evitar las averías, efectuar revisiones y reparaciones eficaces, dando a la vez normas de buen funcionamiento a los usuarios y operadores del equipo. Consiste en realizar un mínimo de instalaciones con el objeto de operaciones sobre los equipos e prevenir averías y prolongar el tiempo de disponibilidad y buen funcionamiento del equipo, así como mantener en buen estado las instalaciones.

Dentro del mantenimiento preventivo existen distintos grados o escalones para llevarlo a cabo, como son: el mantenimiento de usuarios o entretenimiento (primer grado o escalón) y mantenimiento preventivo de los técnicos (segundo grado o escalón).

El mantenimiento de usuarios (primer grado o escalón) pretende responsabilizar a los propios usuarios de los equipos de la conservación y del mantenimiento en servicio de las instalaciones por ellos manejadas de tal forma que determinados trabajos de conservación, e incluso pequeñas reparaciones compatibles con sus habituales ocupaciones, sean realizadas por dichos usuarios.

El mantenimiento de usuarios consiste en pequeños trabajos de conservación y gestión de los equipos, a realizar por los operadores o usuarios de los mismos, para descargar al personal de mantenimiento de trabajos que no precisan de la formación ni de los medios del personal técnico.

El mantenimiento preventivo de los técnicos (segundo grado o escalón) consiste en la inspección y revisión de cada componente, módulo o conjunto a intervalos programados, aunque no haya habido fallo del mismo. Este mantenimiento se basa

en la hipótesis de que un equipo no se avería sin que antes manifieste ciertos síntomas previos que, una vez detectados en las revisiones, permiten disponer de un tiempo para proceder a efectuar la reparación y evitar así la parada del equipo.

Actualmente, el mantenimiento de las estaciones meteorológicas automáticas se compone tanto del mantenimiento de usuarios (primer grado) como del mantenimiento preventivo de los técnicos (segundo grado). En el año 1.994 esta Sección elaboró un manual de entretenimiento (primer grado) de las estaciones meteorológicas automáticas que fue distribuido por la Subdirección General de Predicción a las oficinas en donde habiendo instalada una EMA hubiese personal del I.N.M.

El objetivo de este manual no es otro que el de establecer una serie de normas para el mantenimiento preventivo de los técnicos (segundo grado). Estas normas, una para cada elemento constitutivo de una estación meteorológica automática, especifican los trabajos mínimos a realizar en cada una de las inspecciones periódicas y las actuaciones convenientes que permitan una prevención de averías y, si es posible, una mejora del servicio de la estación automática.

Del conocimiento de una estación meteorológica automática se deduce que, en líneas generales, las actividades de mantenimiento preventivo de segundo grado que se pueden realizar en ella son de dos tipos bien diferenciados: uno consistente en trabajos rutinarios de conservación e inspección de instalaciones, sensores, cableado, canalizaciones, etc. , y otro en procedimientos específicos para controlar el funcionamiento de la electrónica de la estación.

En este documento se describen las normas para realizar cada una de esas dos clases de actividades de mantenimiento preventivo de una EMA y se establece un boletín para su cumplimentación.

Al final del documento se adjunta un anexo de los planos con los componentes constitutivos de cada una de las tarjetas y conectores de una estación meteorológica automática para facilitar la localización de los puntos de medida al ir leyendo estas

normas.

Este documento sustituye a la versión anterior que poseen todos los C.M.T.S sobre "Mantenimiento Preventivo de una Estación Meteorológica Automática", versión 1, 1994.

NORMATIVA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

A continuación se detallan las actuaciones de mantenimiento preventivo que han de llevarse a cabo en cada uno de los elementos de una estación automática. Para ello se considerará la estación meteorológica automática constituida por los siguientes componentes y agrupados de la forma siguiente:

1.- INFRAESTRUCTURA DE LA ESTACION:

- Parcela.
- Torreta y vientos.
- Cableado general.
- Canalizaciones y arquetas.
- Tomas de tierra.

2.- SENSORES:

- Sensor de velocidad del viento.
- Sensor de dirección del viento.
- Cruceta.
- Garita meteorológica.
- Sensor de temperatura y humedad.
- Sensor de precipitación.
- Sensor de presión.
- Sensor de radiación

3.- INTERFAZ DE CAMPO:

Armario de interfaz de campo.

4.- MODULO PRINCIPAL:

Red.

Microprocesador.

Teclado y displays.

Disquetera.

Comunicaciones.

Batería.

5.- PERIFERICOS OPCIONALES:

Registrador gráfico.

Impresora.

A cada uno de estos elementos de la EMA le haremos corresponder una norma en la que se describen tareas de mantenimiento preventivo a realizar en cada uno de ellos. Las primeras 13 normas corresponden a tareas de conservación e inspección de la estación y las 19 restantes a medidas de tipo electrónico en las tarjetas de los sensores, del armario de interfaz de campo y del módulo principal.

Los criterios seguidos para la elaboración de estas actividades son los siguientes:

- a) Facilidad en su ejecución.
- b) Mínima necesidad de herramientas.
- c) Evitar la pérdida de datos durante las labores de mantenimiento.

En relación a este último punto, para no perder datos en horas sinópticas y evitar introducir datos erróneos en el sistema, las operaciones de mantenimiento procurarán No efectuarse en el intervalo comprendido entre la hora sinóptica (09, 12, 15 y 18 h TMG) y media hora después. Además siempre y antes de realizar cualquier labor que suponga una posible alteración o pérdida de datos meteorológicos de la estación

debemos sustituir el disquete de la estación por otro de prueba, además de salvaguardar el disquete de la estación.

Para esto, debe llevarse un disquete de prueba **FORMATEADO EN MS-DOS a 360k y DD**, siempre con el mismo ordenador, (atención, la estación NO puede formatear disquetes) . Los pasos a seguir para la sustitución del disquete son:

1) Forzar el volcado de los datos de la EMA en el disquete que tiene la EMA (no en el de prueba). Para ello se pulsa la tecla F. En la pantalla de cristal liquido aparecerá la fecha y la hora. De nuevo se pulsa la tecla F hasta que el cursor se posición en los minutos. En esta posición se pulsa la tecla C. En este momento se produce el volcado de los datos (obsérvese que se enciende la luz de la disquetera).

Una vez realizado el volcado de los datos, pulsar la tecla C. Aparecerá un mensaje que advierte del cambio de disco. Se vuelve a pulsar la tecla C y aparece otro mensaje que indica el momento de extraer de la dísquetera el disco de la EMA e introducir el de pruebas. Una vez hecho esto, se pulsa de nuevo la tecla C y se guarda el disquete de la EMA en lugar seguro.

Desconectar el modem para evitar que los datos introducidos durante el mantenimiento se transmitan al concentrador.

Es importante recordar que, cuando se terminen todas las actividades del mantenimiento, se debe introducir un disquete nuevo o bien el disquete original de la estación. Esta última operación se detallará más adelante.

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Infraestructura

PARAMETRO: Parcela

NORMA: INFPAR

FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

- 1) Informar sobre el estado de conservación de la parcela: existencia de plagas de insectos y de vegetación, escombros y vertidos, caudales y desprendimientos de tierra, etc., que puedan afectar al estado general de instalación de la estación.
- 2) Retirar de la parcela basuras tales como papeles, botellas o, dentro de lo posible, cualquier otro tipo de vertido que se encuentre.
- 3) Retirar los nidos de insectos y la vegetación excesiva. Si la estación está situada en zonas donde la presencia de vegetación estaciona es importante para las observaciones meteorológicas (por ejemplo, si hay un jardín fenológico o la estación está en un observatorio de meteorología agrícola) es muy posible que el uso de herbicidas, para eliminar vegetación, y de pesticidas, para eliminar los insectos, afecte al estado de las plantas representativas de dicho observatorio. En este caso, la eliminación de plagas, tanto de insectos como de zarzas y matojos, debe realizarse por medios no químicos, usando tijeras de podar, quemando nidos de insectos, etc.
- 4) Si la parcela estuviese cerrada, mantener en buen estado la cerca, puerta de acceso y cancela.

SISTEMA: Estación automática SEAC**SUBSISTEMA: Infraestructura****PARAMETRO: Canalizaciones y arquetas****NORMA: INFCAN****FRECUENCIA: Trimestral**

DESCRIPCION:

- 1) Comprobar visualmente e informar al Jefe de Sistemas Básicos el estado de las canalizaciones y las arquetas. Si fuera necesario, sanearlas dentro de lo posible.
- 2) Alzar las arquetas para comprobar el estado interno de las mismas.
- 3) Mantener la entrada a la canalización desde la torreta libre de obstrucciones y deformaciones. Si la deformación es tal que aprisiona los cables, informar de ello para su restauración.
- 4) Limpiar de sedimentos y depósitos las juntas de las arquetas para que no queden obstruidas e impidan su apertura.
- 5) Informar sobre desprendimientos, corrimientos de tierra, etc., que puedan afectar al estado de las canalizaciones y las arquetas.

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Infraestructura

PARAMETRO: Tomas de tierra

NORMA: INFTIE

FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

- 1) Verificar que las púas de las tomas de tierra estén bien enterradas.
- 2) Regar intensamente las zonas colindantes a la púa y cable de la unión de la toma de tierra. Además, si fuera necesario, enriquecer el terreno con sales y carbón.

- 3) Proteger las conexiones con una capa de grasa o cambiar la cinta aislante.

- 4) En instalaciones en triángulo, revisar el estado del hilo de cobre que une los vértices de dicho triángulo. Sustituirlos en caso de corrosión.

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Infraestructura

PARAMETRO: Armario y conectores

NORMA: INFARM

FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

- 1) Comprobar que el armario de interfaz está bien cerrado para evitar la entrada de humedad, polvo, etc., que pueden afectar gravemente al funcionamiento de las tarjetas electrónicas alojadas en él. Comprobar las juntas de cierre de la puerta, y si están en mal estado sustituirlas.

- 2) Apretar los anclajes y tornillería de sujeción del armario.

- 3) Mantener limpio el armario de depósitos de polvo y otros elementos.

- 4) Comprobar el estado de oxidación, corrosión y pintura de los componentes del armario. Sustituir, los que se puedan, por elementos inoxidables.

- 5) Verificar que cada conector está alojado en el lugar que le corresponde en el armario y apretarlos.

- 6) Comprobar el estado de los conectores. En ambientes salinos es conveniente

darles una mano de grasa de litio con un pincel y sellar con goma termorretráctil.

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Sensores

PARAMETRO: Velocidad del viento

NORMA: SENVEL

FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

1) Verificar que el sensor de velocidad gira libremente y no realiza movimientos extraños o se para bruscamente. Si se notase alguna anomalía, se quitará el sensor y se volverá a introducir, a presión, en la cruceta apretando los tornillos de seguridad tipo ALLEN.

2) Engrasar los rodamientos del sensor con aceite lubricante.

3) Mantener las cazoletas en buen estado y sin cuartear. Para ello, si fuese necesario, sustituirlas por otras.

4) Una, o dos veces al año, retirar el sensor de velocidad y llevarlo al taller para su comprobación. Instalar un sensor nuevo, cuidando de dar las protecciones necesarias contra oxidación, etc.

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Sensores

PARAMETRO: Dirección del viento

NORMA: SENDIR

FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

1) Verificar que el sensor de dirección gira libremente y no realiza movimientos extraños o se para bruscamente . Si se notase alguna anomalía, se quitará el sensor y se volverá a introducir, a presión, en la cruceta apretando los tornillos de seguridad tipo ALLEN.

2) Engrasar los rodamientos del sensor con aceite lubricante.

3) Mantener la veleta en buen estado y sin cuartear. Para ello, si fuese necesario, sustituirla por otra.

4) Una, o dos veces al año, retirar el sensor de dirección y llevarlo al taller para su comprobación. Instalar un sensor nuevo, cuidando de dar las protecciones necesarias contra oxidación, etc.

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Sensores

PARAMETRO: Cruceta

NORMA: SENCRU

FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

1) Apretar los tornillos de la caja de conexiones de la cruceta para asegurar que esté bien cerrada y evitar que penetre humedad y polvo.

- 2) Mantener los cables y los conectores de entrada desde la veleta y el anemo a la caja de conexiones limpios de humedad, óxido y cualquier otro tipo de depósitos, así como en buen estado mediante cinta aislante.
- 3) Apretar los conectores de entrada de los sensores a la caja de conexiones de la cruceta así como el de salida.
- 4) Verificar la orientación norte-sur de la cruceta con una brújula y corregirla si fuese necesario.
- 5) Comprobar la horizontalidad de la cruceta con un nivel de burbuja.

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Sensores

PARAMETRO: Garita

NORMA: SENGAR

FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

- 1) Comprobar que la pintura blanca de la garita está en buen estado de forma que absorba lo menos posible la radiación solar. Retocar, si fuera preciso, con pintura plástica las partes más deterioradas.
- 2) Sustituir las bisagras, tornillos y cerrojo de la garita si están oxidados.
- 3) Quitar con un paño la humedad, polvo y suciedad del interior de la garita.
- 4) Eliminar los nidos y plagas de insectos del interior y exterior de la garita, en especial las termitas que pueden corroer la madera de la misma.

5) Limpiar el terreno bajo la garita de zarzas, líquenes y musgos que se puedan adherir a la misma.

6) Engrasar la cerradura y bisagras de la garita.

7) Verificar el estado general de la garita, comprobando los anclajes de fijación cuando esté instalada en la torre, o bien, las patas metálicas cuando va montada sobre el jardín.

8) Lubricar patas, garras, tornillería y cualquier elemento metálico, desincrustando la suciedad adherida a ellos. Comprobar que la pintura blanca de la garita está en buen estado de forma que absorba lo menos posible la radiación solar. Retocar, si fuera preciso, con pintura plástica las partes más deterioradas.

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Sensores

PARAMETRO: Termohigrógrafo

NORMA: SENTH

FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

1) Si el termohigrógrafo no estuviese en garita sino que a la intemperie con la carcasa protectora, desmontarla y limpiarla.

2) Mantener el cable de conducción al armario de interfaz de campo en correcto estado, si fuera necesario, mediante cinta aislante.

3) Apretar el conector posterior de salida de señal y mantenerlo limpio y libre de óxido.

4) Con un aspirpsicrómetro y unas tablas psicrométricas obtener la humedad relativa en ese momento. Comparar este valor con el que marca el termohigrógrafo. Si ambos valores coinciden, aproximadamente, no tocar el sensor.

5) Si se observan discrepancias importantes: con un paño humedecido totalmente por inmersión en agua rodear la caña del sensor, de forma que no se permita la entrada de aire exterior. Pasada una hora, el indicador del sensor de humedad deberá marcar entre 94% y 99% de humedad. Si no fuera así, en la parte inferior de la caña hay un tornillo rojo que permite ajustar el señalizador a estos valores. Si tras esta operación la indicación del sensor de humedad no coincide, aproximadamente, con el aspirpsicrómetro, deberá sustituirse el sensor por otro que mida correctamente.

6) Dos veces al año, cada seis meses, siempre y cuando haya existencias, sustituir el termohigrógrafo por uno nuevo y, en el taller, regenerar el haz de cabellos.

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Sensores

PARAMETRO: Pluviógrafo

NORMA: SENPLU

FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

1) Limpiar la tolva del pluviómetro retirando hojas, insectos y otros depósitos que obstruyan el embudo.

2) Limpiar con un paño seco el balancín y colocarlo correctamente frente al detector, cuidando de no doblar la ampolla detectora de señal ni de tocar con los dedos la parte interna de los balancines.

3) Verificar que el balancín báscula correctamente vertiendo agua lentamente sobre él.

4) Una vez limpio el sensor se sabe, por sus especificaciones técnicas, que cada paso del balancín corresponde a 0.2 mm de precipitación. Hacer bascular el balancín veinte veces

y observar que en el módulo principal la precipitación marca 2 mm. Si no se obtiene este valor el sensor mide mal, puesto que si la estación nos muestra datos, aunque sean incorrectos, es señal de que tanto la tarjeta

8) Apretar el conector de salida de la señal del sensor y mantenerlo libre de óxido e impurezas. del armario de interfaz como el módulo principal reciben señal y procesan correctamente. Sustituir el sensor. / ajustar

5) Limpiar el canal de salida del agua de todo tipo de impurezas y depósitos.

6) Verificar la horizontalidad del sensor mediante la observación del pequeño nivel de burbuja del que está dotado. Ajustar la horizontalidad actuando en los seis tornillos de la base de la peana.

7) Si el pluviómetro está dotado de calefacción, la resistencia de ésta es de 12 ohmios. Comprobar que hay tensión de alimentación (24 V) para la calefacción. Si no se dispone de multímetro, hacer un cortocircuito y comprobar que la resistencia se calienta.

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Sensores

PARAMETRO: Barógrafo

NORMA: SENBAR

FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

1) Comprobar los elementos mecánicos del sensor, como pueden ser las juntas, filtros, aislantes, caja y conectores.

2) Comprobar visualmente el montaje de la placa (soldaduras, inserción de los circuitos integrados, etc.).

3) Una vez al año, retirar el sensor y enviarlo a calibrar al Laboratorio de Calibración de El Retiro, siguiendo las normas que él haya dictado para ello.

ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMATICAS

**PARA EL MANTENIMIENTO
PREVENTIVO DE LAS E.M.A.S
SECCIÓN DE PROGRAMACION Y
CONTROL**

Versión 2 - Marzo 1.996

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Sensores

PARAMETRO: Radiación

NORMA: SENRAD

FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

- 1) Limpiar las cubiertas protectoras del sensor.
- 2) Comprobar el grado de humedad interior del sensor. Dicha operación se realiza verificando el color del cartucho de silicagél. Mientras esté azul estará activo. Cuando esté rosa habrá perdido su poder de absorción. Para evitar que llegue a estar rosa, recomendamos cambiar el cartucho cada tres meses. Si bien ello puede modificarse dependiendo de la humedad de la ubicación.
- 3) Cuando se sustituya el cartucho de silicagel, lubricar la junta tórica de dicho cartucho.
- 4) Comprobar el funcionamiento del sensor comparando datos en horas claves del día, como por ejemplo, que en las horas nocturnas no se ha medido radiación.
- 5) Cuando se crea necesario, contactar con la Sección de Radiación del I.N.M. para enviar a calibrar el sensor, siguiendo las normas que esta Sección dicte para ello.

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Módulo principal

PARAMETRO: Teclado y displays

NORMA: MODTEC

FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

- 1) Comprobar el teclado, pulsando todas las teclas y verificar en la pantalla LCD que se produce el mensaje deseado.
- 2) Al mismo tiempo, comprobar en el display L.C.D. que tanto la temperatura, la humedad, la presión, la velocidad y la dirección del viento, la precipitación y, en su caso, la radiación marcan valores, aproximadamente correctos.
- 3) Comprobar que los displays L.E.D. marcan una dirección y una velocidad del viento, aproximadamente, correctas. Con el simulador de funciones, comprobar que no está fundido ningún diodo.

SISTEMA: Estación automática SEAC

SUBSISTEMA: Módulo principal

PARAMETRO: Disquetera

NORMA: MODDIS FRECUENCIA: Trimestral

DESCRIPCION:

1) Comprobar la grabación del disco, inicializando la estación a las 7:47 (por ejemplo) y esperar 3 minutos para que a las 7:50 vuelque los datos en dicho disco.

2) Realizar las operaciones de cambio de disco, pero sin disco, y visualizar que en la pantalla se presente el mensaje de error.

NOTA IMPORTANTE:

Por último y una vez acabado el mantenimiento preventivo, se debe volver a colocar el disquete original de la estación en la disquetera o bien colocar un disquete nuevo. Para ello se seguirán los siguientes pasos:

- a) Borrado de máximas, pulsando la tecla B.

- b) Volcado forzoso de los datos de las pruebas durante el mantenimiento preventivo, en el disquete de pruebas. Para ello se pulsa la tecla F hasta posicionar el cursor de la pantalla de cristal líquido en los dígitos de los minutos. Pulsar a continuación la tecla C.

- c) Inicialización de la estación. Pulsar nuevamente la tecla F y modificar, con la tecla A, la fecha y la hora para poner la fecha y la hora TMG actuales. Hacer hincapié en poner la fecha y la hora y minutos con mucha exactitud.

- d) Cuando se haya inicializado la estación, extraer el disquete de pruebas e introducir el disquete de la estación. En este punto se debe tener muy en cuenta que la inicialización de la estación debe hacerse siempre con el disquete de prueba en la disquetera, porque si se hiciera con el disco original de la estación se destruirían los datos recopilados por ella anteriormente. Además, tampoco se utiliza la operación de cambio de disquete, ya que igualmente destruiría los datos del disco original.

- e) Conectar de nuevo el modem.

3. El Sistema METEODAT

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Según las especificaciones que se han tratado en capítulos anteriores, se ha tratado de concebir un sistema lo más flexible posible que permita tanto la toma de datos meteorológicos y su almacenamiento, como la posibilidad de realizar actuaciones sobre una planta.

Por ello se ha desarrollado un prototipo que una vez finalizado y realizando escasas modificaciones sobre el mismo podría convertirse en un modelo comercial. La innovación de este sistema sobre otros existentes en el mercado es su flexibilidad, ya que se trata de un sistema de tarjetas de circuito impreso (de adquisición de datos) que se comunican con una tarjeta principal (módulo CPU) a través de un bus asíncrono de 8 bits de propósito general. El sistema por lo tanto es totalmente escalable, pudiéndose ampliar por ejemplo incluyendo tarjetas que realicen diferentes tareas ejemplos prácticos podrían ser los siguientes:

Sería interesante equipar a los sensores mediante un sistema de calefacción que evite una posible congelación, posibilitando el funcionamiento de la estación por debajo de los 0°C). Para conseguirlo se desarrollaría una tarjeta que contenga los relés que conmutan los calefactores de los sensores. Cuando el módulo CPU detecta (mediante las medidas realizadas de datos meteorológicos) que la temperatura y humedad relativa pueden provocar la aparición de hielo activará los relés de la tarjeta para encender los calefactores.

Otra posibilidad consiste en la realización de una tarjeta de comunicaciones para transmitir los datos adquiridos a un ordenador personal remoto a través de una línea telefónica (telemetría), es decir, un MODEM. Un posible integrado para poder implementar de forma sencilla la pila del protocolo TCP o UDP por hardware, para realizar la comunicación por vía telefónica (por ejemplo) se incluye en el CDROM adjunto a esta memoria.

Otro ejemplo puede consistir en la ampliación de la memoria donde se almacenan las muestras de datos meteorológicos, ya que el módulo CPU puede almacenar hasta 128Kbytes. Esta ampliación se implementaría mediante una tarjeta adicional que contenga tanta memoria SRAM como fuera necesaria.

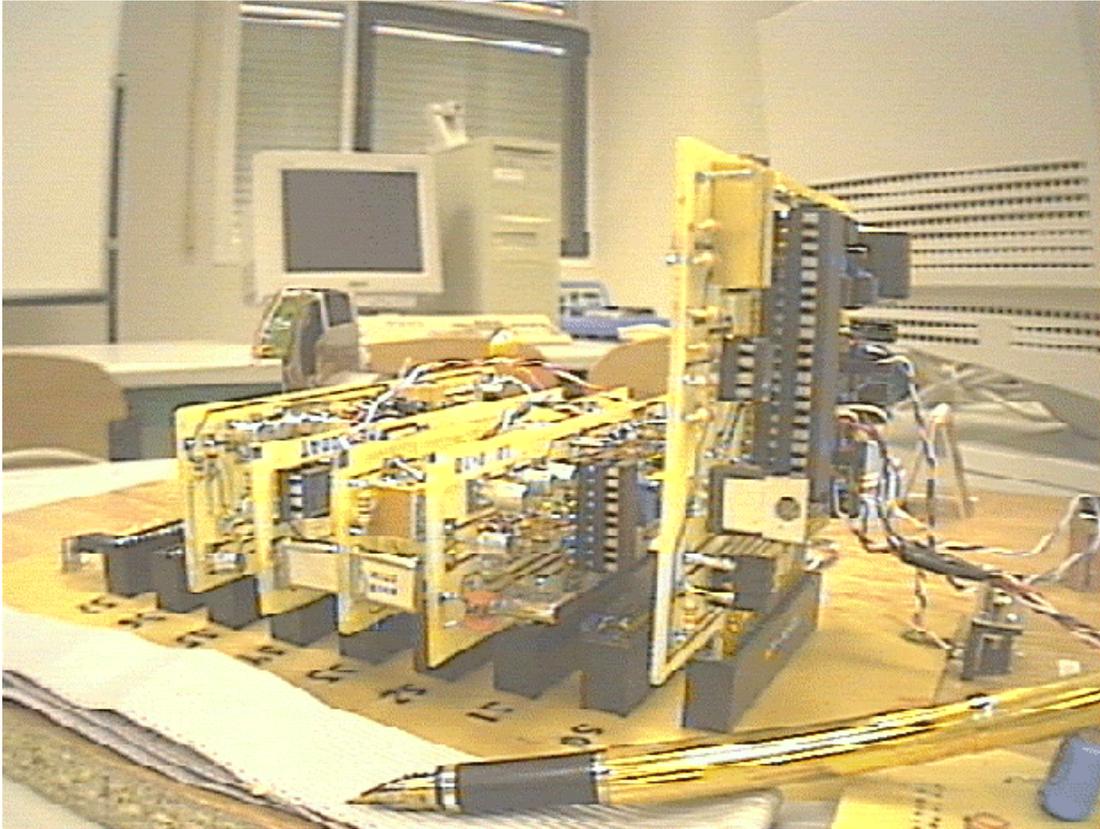
El conjunto formado por las tarjetas de adquisición de datos, el módulo CPU, las posibles tarjetas que se desarrollen en un futuro para este sistema, y la placa base sobre la que se alojan las tarjetas recibe el nombre de “sistema de adquisición de datos meteorológicos METEODAT”. Este sistema debe permitir realizar las siguientes operaciones:

- Capturar datos meteorológicos y almacenarlos en una memoria interna repetitivamente entre un instante de tiempo programable.
- Realizar esta operación utilizando una potencia eléctrica mínima, ya que la fuente de potencia podría consistir en un sistema autónomo de baterías y/o un sistema de generación fotovoltaico.
- Detener la anterior secuencia cuando se llena la memoria.
- Iniciar la anterior secuencia en una fecha concreta programada anteriormente.
- Utilizar un ordenador personal como herramienta de programación de los valores del sistema (tiempo entre muestras de datos, configuración del sistema...).
- Utilizar el anterior PC para volcar los datos meteorológicos capturados en un fichero de datos legible y fácilmente interpretable.

Con el fin de conseguir estos objetivos, durante el desarrollo de este prototipo se han implementado los siguientes subsistemas:

- Tarjeta Módulo CPU.
- Placa base del sistema.
- Tarjeta de adquisición “anemómetro y veleta”
- Tarjeta de adquisición “termómetro”
- Tarjeta de adquisición “pluviómetro e higrómetro”
- Tarjeta de adquisición “barómetro”

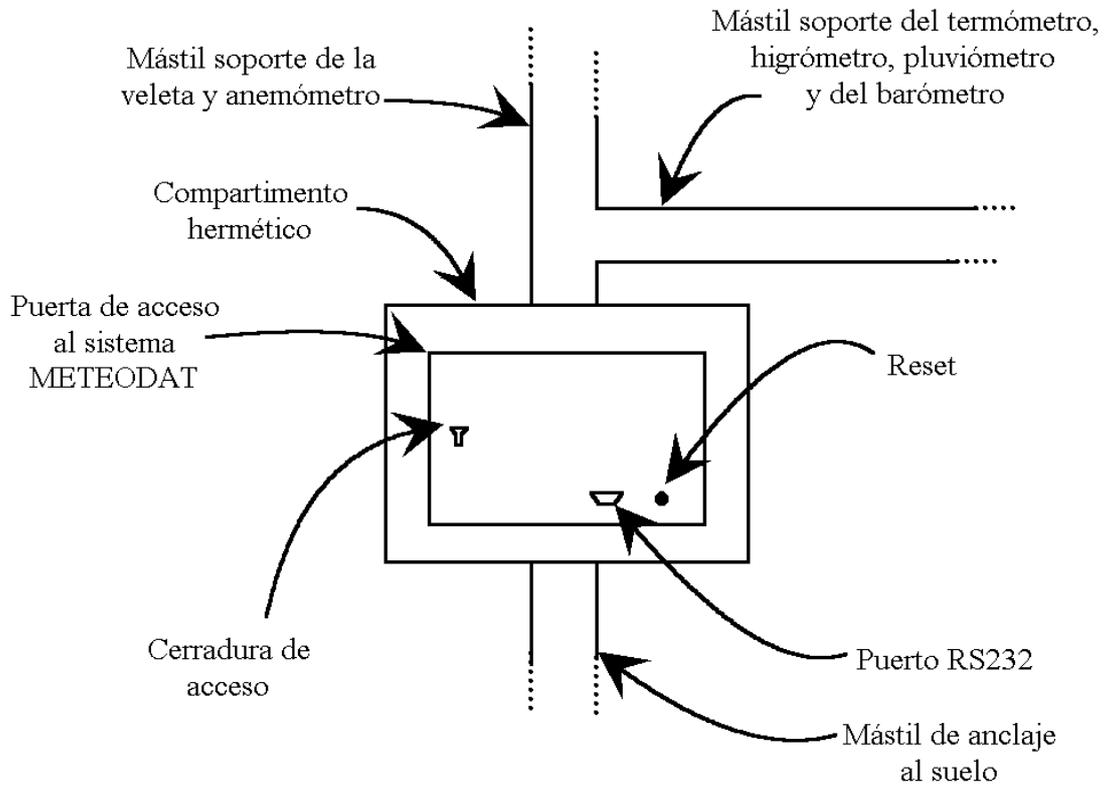
El conjunto de todos estos sistemas implementados en un prototipo funcional durante el desarrollo de este proyecto, se muestra a continuación en la siguiente imagen:



En cuanto a las tensiones de alimentación del prototipo del sistema METEODAT, éstas se han elegido con el fin de simplificar al máximo posible la fuente de alimentación que va a suministrarle la potencia eléctrica. Este punto es importante ya que el sistema puede estar alimentado mediante baterías y/o mediante un sistema fotovoltaico, por lo que hay que las entradas de alimentación elegidas son GND, 5V y 12V. Por lo tanto no se incluye ninguna fuente de tensión bipolar (por ejemplo $-12V$ y $+12V$), lo cual simplificaría el desarrollo de la parte analógica de acondicionamiento de los sensores, y la forma de digitalizar los datos meteorológicos capturados (el CAD que convierte los datos meteorológicos de forma analógica a formato digital necesita tensiones de referencia).

El sistema METEODAT debe ser instalado en la estación meteorológica a salvo de la intemperie dentro de un contenedor hermético, pudiendo acceder al interior a través de una puerta habilitada a tal efecto. Los únicos elementos que debe atravesar el contenedor serán los cables correspondientes a los sensores que se distribuyen por el cuerpo de la estación meteorológica automática, un pulsador de reset del sistema y un conector DB-9 (conexión RS232 con un ordenador personal), ambos instalados

sobre la propia puerta de acceso al interior del contenedor hermético, y deben estar protegidos contra la humedad. La fuente de alimentación puede estar alojada en el mismo contenedor o en otro habilitado a tal efecto:



3.2. ELEMENTOS DE PROCESAMIENTO

Para que el módulo CPU pueda realizar todas las operaciones descritas anteriormente es necesario un elemento que las lleve a cabo de forma secuencial. Existen por lo tanto varias opciones para implementar este componente:

- Utilizar lógica programable basada en PLA, PLD...
- Soluciones basadas en FPGA.
- Microprocesador de 8 ó 16bits de propósito general.
- Utilización de microcontroladores de propósito general.

Las posibilidades que ofrece la primera opción son mas bien escasas. En primer lugar, aunque permiten realizar lógica combinacional de forma eficiente, su capacidad de realizar lógica secuencial está muy limitada, debido al pequeño número de registros internos que implementan. Otro inconveniente viene derivado al alto consumo de estos dispositivos, por lo que no se cumplirían las especificaciones de consumo si se emplearan.

Tras un análisis preliminar, las soluciones FPGA tampoco parecen adecuadas para implementar el módulo CPU. Hay que tener en cuenta que una FPGA tiene un gran número de puertos E/S lo cual es beneficioso, sin embargo su utilización queda relevada a aplicaciones en las que los requerimientos de capacidad de procesamiento suele ser elevado, por lo que se estaría infravalorando si se utilizara en el módulo CPU (la relación prestaciones / precio no es la adecuada). Por otra parte el consumo de este tipo de dispositivos es también elevado, por lo que automáticamente quedarán descartados.

En cuanto a los microprocesadores de propósito general, a simple vista parece una solución mucho mas equilibrada que las anteriores. Existe en el mercado una amplia gama de procesadores de 8 bits con una gran madurez. Entre ellos se pueden encontrar el microprocesador 6800 de Motorola, el Z80 de Zilog, o el 8085 de Intel. El problema de este tipo de microprocesadores es su espacio de direccionamiento, que suele ser reducido (64Kbytes generalmente), limitándose el espacio disponible para

almacenar muestras meteorológicas. Este problema se agrava aun más debido a que la memoria de datos y de programa convive en el mismo sistema de memoria. Aunque esta limitación se podría solucionar utilizando lógica adicional, sería mas adecuado utilizar microprocesadores de 16 bits, en concreto del 68000 de Motorola, ya que dispone de un gran número de periféricos en el mercado, un juego de instrucciones muy ortogonal y completo, direccionamiento lineal de 24 bits, y un bus de datos totalmente asíncrono. Además el 68000 apenas necesita lógica externa para poder funcionar, aparte de la memoria del sistema, permitiendo simplificar la solución adoptada.

El inconveniente de utilizar microprocesadores de propósito general es que requieren una memoria externa de programa y datos. Esto no es necesario en el caso de los microcontroladores, que poseen su memoria de programa y datos integrada en la “die” del procesador, minimizando el número de componentes externos al incluir también en el mismo encapsulado algunos de los periféricos mas utilizados (Convertidores Analógico Digital, puertos de comunicaciones serie, temporizadores...). Además los microprocesadores de 16 y 8 bits más comunes han sido desarrollados hace “décadas”, y no están optimizados para bajo consumo (y los que si que lo están, el consumo sigue siendo apreciable), al contrario que en el caso de los microcontroladores, que se encuentran en pleno auge, y se mejoran continuamente empleando las tecnologías CMOS de “penúltima generación”, combinando velocidades de reloj altas y consumos ajustados.

Parece por lo tanto, que la opción mas adecuada para implementar el módulo CPU (y la parte digital de las tarjetas de adquisición) sería utilizar algún tipo de microcontrolador de los muchos que existen en el mercado. En el siguiente capítulo se justificará el tipo de microcontrolador utilizado.

3.3. MICROCONTROLADORES: LA FAMILIA PIC

En el capítulo anterior se llegó a la conclusión de que se deben utilizar microcontroladores frente a microprocesadores de propósito general para implementar la lógica secuencial que debe realizar el módulo CPU. Ahora se analizarán las diferentes posibilidades existentes en el mercado de los microcontroladores.

Existen numerosas empresas en la actualidad que fabrican microcontroladores (Intel, Scenix, Motorola, Microchip...). Las arquitecturas disponibles se basan en el ancho del bus de datos de la estructura interna del microcontrolador, y por tanto la unidad de datos que pueden manipular (palabra). Por lo tanto existen versiones de 8, 16 y 32 bits, aunque son los microcontroladores de 8 bits los que cada vez se están demandando más, debido tal vez a la gran cantidad de aplicaciones a los que se ajustan (entre ellas el módulo CPU del sistema METEODAT), o a sus reducidos precios.

Debido a razones de disponibilidad, solamente se tratarán los microcontroladores de la marca Microchip, siendo uno de los más demandados en Europa (“tristemente” debido a su utilización en técnicas fraudulentas de decodificación de video).

La gran gama de microcontroladores que ofrece esta casa se divide en arquitecturas (o series), que se diferencian en el tamaño del bus interno de direcciones y en la capacidad de direccionamiento, principalmente.

La serie que se va a utilizar en este proyecto tanto para implementar el módulo CPU como las tarjetas de adquisición de datos meteorológicos será la serie “16”, y en concreto modelos que utilizan memoria interna de programa de tipo FLASH, ya que durante el desarrollo y depuración del prototipo necesitarán ser reprogramados un elevado número de veces.

Para el módulo CPU se necesita además un microcontrolador con un gran número de puertos E/S, ya que éste módulo deberá controlar las señales del bus de datos asíncrono de 8 bits, lo que requiere un número “elevado” de líneas. Además el microcontrolador debería incluir un módulo de comunicaciones serie para implementar la comunicación vía RS232 con el PC. También sería deseable (como se verá en el apartado siguiente) la inclusión de un controlador de bus serie (bus I²C) para la inclusión de periféricos como las memorias que van a almacenar los datos meteorológicos o un dispositivo alarma/temporizador. Además, si fuera posible, el microcontrolador debería integrar un Convertidor Analógico Digital (CAD) con el fin de poder almacenar en una memoria digital los datos analógicos que reciben los sensores.

Todos estos requisitos los cumple el microcontrolador PIC16F877:

- Capacidad de la memoria de programa (FLASH): 8192 instrucciones.
- 256 bytes de memoria EEPROM no volátil.
- 368 bytes de memoria SRAM utilizable como registros de programación.
- 33 puertos de E/S.
- Conversor Analógico Digital de 8 canales y resolución de 10 bits.
- 2 generadores de señal mediante modulación PWM.
- Unidad de comunicaciones serie USART.
- Implementación del físico del bus serie I²C.
- Disponibilidad de 3 temporizadores.
- 20 MHz de velocidad máxima de reloj.
- Consumo menor de 3mA a una tensión de alimentación de 5V.

En cuanto a las tarjetas de adquisición de datos, los requerimientos son mas modestos. Lo único que se requiere es que el microcontrolador disponga de al menos un temporizador (como se verá más adelante, es necesario para realizar una medida mediante la integración temporal o “cuenta” de flancos de subida y bajada de la señal que ofrece un sensor). También debe disponer de puertos de entrada/salida suficientes como para poder implementar el protocolo de acceso al bus asíncrono de 8 bits.

El microcontrolador utilizado es el PIC16F84A y cumple los anteriores requisitos. Las características principales de este integrado son las siguientes.

- Capacidad de la memoria de programa (FLASH): 1024 instrucciones.
- 64 bytes de memoria EEPROM no volátil.
- 68 bytes de memoria SRAM utilizable como registros de programación.
- 13 puertos de E/S.
- Conversor Analógico Digital de 8 canales y resolución de 10 bits.
- 2 generadores de señal mediante modulación PWM.
- Disponibilidad de 1 temporizador de 8 bits.
- 20 MHz de velocidad máxima de reloj.
- Consumo menor de 2mA a una tensión de alimentación de 5V.

3.4. DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO

Como se ha comentado anteriormente, existe la necesidad de almacenar temporalmente los datos meteorológicos adquiridos hasta que el operario decide descargarlos en un fichero de datos en un PC. Existen por lo tanto multitud de opciones y tecnologías de almacenamiento de datos disponibles: Soporte magnético, memorias SRAM, DRAM, EPROM, EEPROM, FLASH...

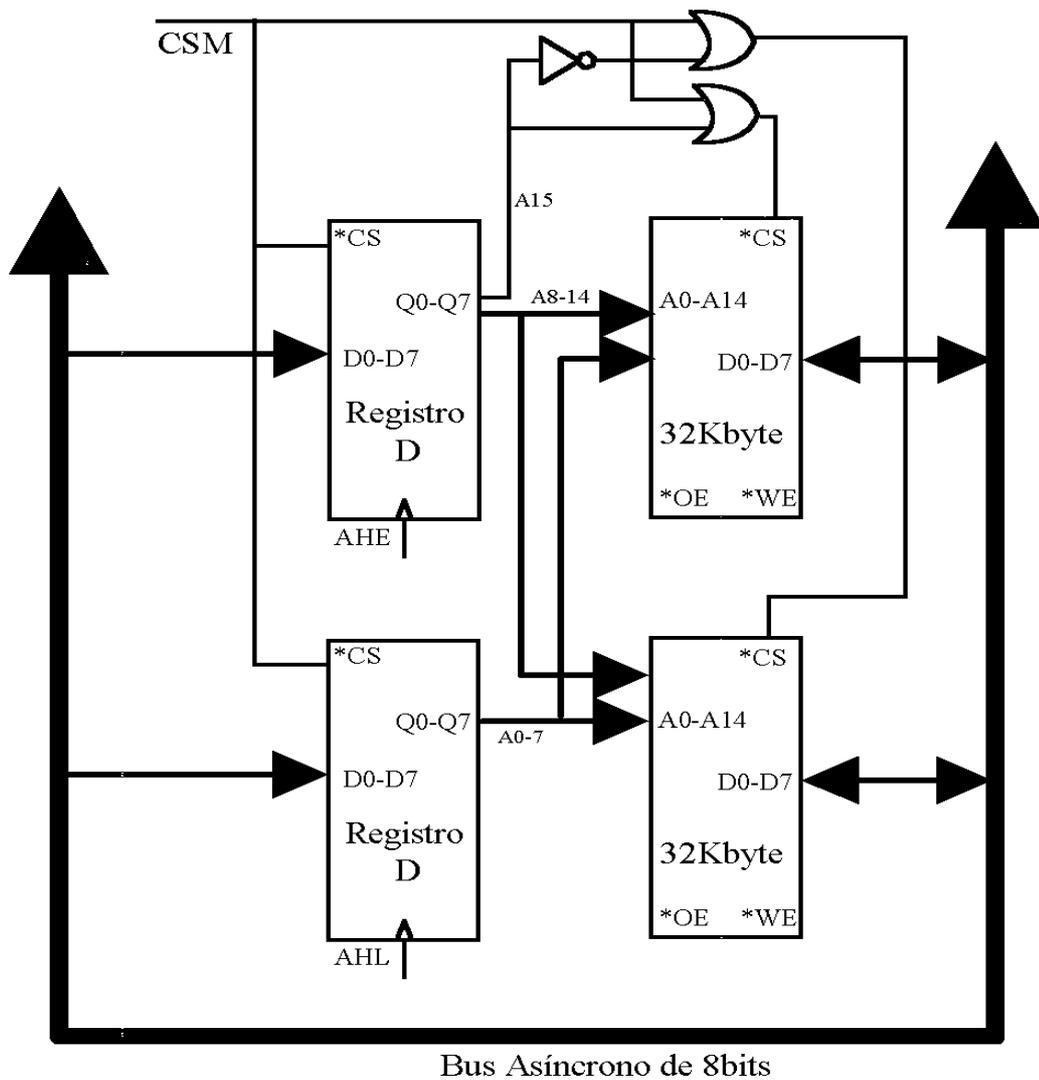
Automáticamente quedaron descartadas las memorias magnéticas, porque pese a su enorme capacidad de almacenamiento, los sistemas necesarios para controlar este tipo de unidades son difíciles de desarrollar y porque el gran consumo de corriente que necesitan estos equipos para funcionar choca de lleno contra los requerimientos de baja potencia de funcionamiento especificados.

Otro tipo de memorias que podrían ser utilizadas son las memorias volátiles tipo RAM, y se tratarán dos grupos.

- Memorias DRAM, o memorias RAM dinámicas. Ofrecen gran capacidad de almacenamiento, pero tienen problemas serios. El primero de ellos es que se necesita un equipo controlador adjunto para poder refrescar las memorias cada cierto tiempo (aunque hay encapsulados que contienen memoria y controlador integrados). El segundo problema es el que debido al anterior, el consumo que requieren es relativamente elevado si lo comparamos con el de otro tipo de memorias (como la SRAM).
- Memorias SRAM, o memorias RAM estáticas. La capacidad de almacenamiento es menor que en las anteriores, pero suficiente para las especificaciones expuestas. Además algunos integrados de memoria permiten poner la memoria en un estado de bajo consumo cuando ésta no se encuentra habilitada.

El principal problema de este tipo de memorias es que son volátiles. Si la E.M.A. por algún motivo pierde temporalmente la potencia de alimentación, se perderán irremisiblemente los datos almacenados. Por lo tanto junto a estos dispositivos hay que desarrollar algún sistema para alimentar las memorias si se corta el suministro de

corriente. Una forma de hacerlo consiste en utilizar una batería de Ni-Cd de 4,8 V alimentando los integrados de memoria de forma que cuando exista tensión de alimentación la batería se encuentre recargándose y cuando el sistema no esté alimentado, proporcione tensión a las memorias. Otro problema consiste en la necesidad de conectar estas memorias a un bus de datos y direcciones en paralelo (ya que en estas memorias las líneas de datos y direcciones están configuradas en paralelo). Para ello se podría utilizar el bus asíncrono de 8 bits que conecta las tarjetas de adquisición. El problema es que si se quiere tener un espacio de direcciones de por ejemplo 16 bits para tener 64Kbytes direccionables utilizando dos integrados SRAM CY62256 (de 32Kbytes cada uno), se necesita de alguna manera demultiplexar el bus de datos para poder proporcionar al integrado la parte alta y después la parte baja de la memoria. Un esquema de esta posible solución se muestra a continuación:



Se puede apreciar que son necesarias una gran cantidad de líneas de control para manejar el acceso a la memoria:

- *OE. Permite poner el dato que se lee en el bus.
- *WE. Línea de escritura en la memoria.
- *AHE. Línea de habilitación de la escritura de la parte alta de la memoria.
- *ALE. Línea de habilitación de la escritura de la parte baja de la memoria.
- CSM. Habilitación del sistema de almacenamiento.

Entre las memorias no volátiles EVROM, FLASH, EEPROM, las primeras es necesario borrarlas mediante radiación ultravioleta, por lo que no es factible utilizarlas en el sistema a desarrollar. En cuanto a la memoria FLASH, se trata de memorias de bastante más capacidad que las memorias EEPROM, pero en el estado actual de la tecnología aun permiten pocos ciclos de escritura (frente a los 10^6 que permiten las últimas memorias EEPROM), por lo que quedarán descartadas. Nos quedan las memorias EEPROM, que están teniendo mucho auge en su instalación en sistemas de adquisición de datos. Esto es debido a la aparición de versiones en las que se accede de forma serie a través de un bus serie normalizado, permitiendo reducir el tamaño del encapsulado de la memoria y la complejidad de su conexionado en el circuito impreso. El bus más utilizado en este tipo de memorias es el bus I²C de Phillips que permite la conexión con un gran número de dispositivos a través de únicamente dos líneas, una de reloj (SCL) y una de datos (SDA).

Por lo tanto, ya que el microcontrolador utilizado en el módulo CPU (PIC16F877) implementa vía hardware el nivel físico del protocolo I²C, el tipo de memoria que se utilizará en el prototipo descrito en este proyecto será la memoria EEPROM serie 24xx256 de la marca Microchip, en una configuración de cuatro bancos que permite direccionar una cantidad de memoria de $4 \times 32\text{Kbytes} = 128\text{Kbytes}$, suficiente cantidad de memoria para almacenar 6 medidas meteorológicas durante 1 mes (ver anexo "PRUEBAS DEL SISTEMA") si se muestrean los datos cada 5 minutos.

En estas memorias los datos (bytes) se agrupan por páginas de tamaño variable dependiendo del modelo de memoria, a la hora de escribir en ella aunque también se pueden escribir bytes aislados (como se utilizará en el sistema METEODAT). El uso de

páginas se debe a la necesidad de acelerar el proceso de escritura en la memoria, que suele ser bastante alto, unos 5mseg. De esta forma se escribe toda una página durante ese tiempo (ver catálogo del fabricante). Como en el sistema METEODAT la velocidad de escritura no se requiere elevada, se puede escribir en la memoria de byte en byte con un tiempo máximo de escritura de 5mseg.

Debido a la falta de disponibilidad de la memoria 24xx256, en el prototipo se utilizará la memoria 24LC65, de menor capacidad (8bytes), pero totalmente compatible en cuanto a patillaje y operación con la anterior. Para sustituir los 4 bancos de memoria por integrados 24xx256 (en una versión comercial del prototipo, por ejemplo) solamente sería necesario modificar el mapa de memoria contenido en la memoria de programa del microcontrolador PIC16F877.

3.5. EL BUS DEL SISTEMA

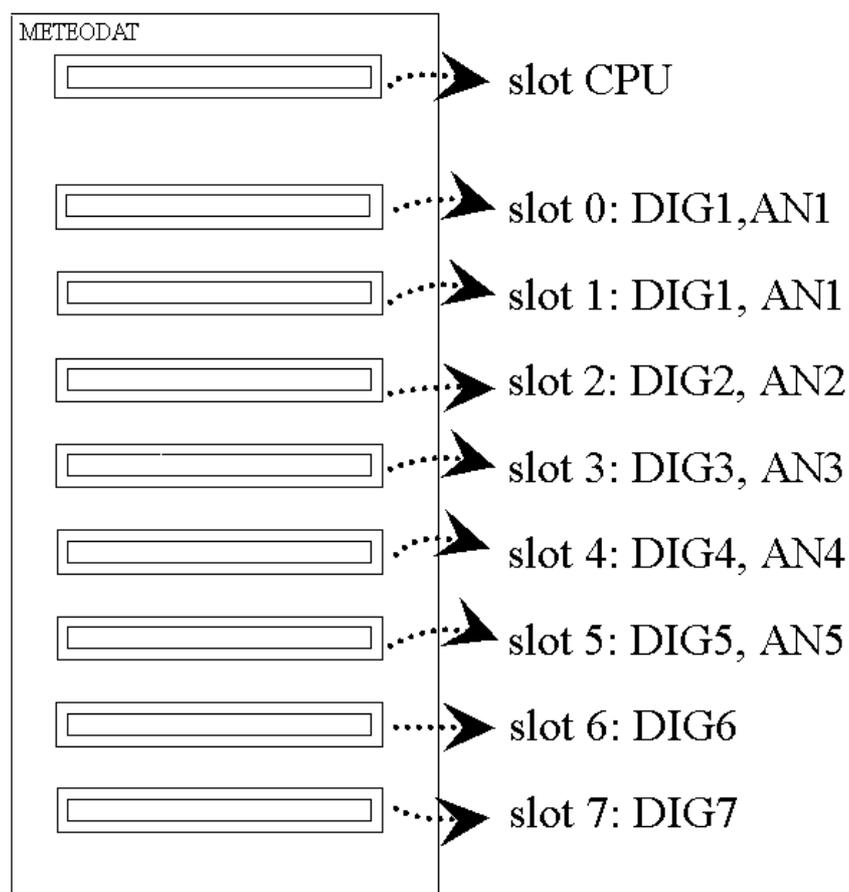
Se ha implementado un bus de 8 bits para la comunicación de las tarjetas de adquisición de datos meteorológicos con el módulo central del sistema (módulo CPU), que se encarga de muestrear, digitalizar y almacenar datos procedentes de las tarjetas. Este bus está inspirado en el bus de interconexión de instrumentos programables IEEE 488, de forma que es totalmente asíncrono por lo que no se necesita señal de reloj alguna que medie en el acceso. El bus se ha implementado sobre una placa base que alojará las diferentes tarjetas del sistema METEODAT al estar insertadas en unos slots hembra de 50 contactos.

Además se ha tratado de no utilizar líneas de direcciones, con la consiguiente ventaja que el direccionamiento de cada tarjeta se realiza con líneas dedicadas (*SELx), y por tanto no es necesaria lógica de decodificación de direcciones en cada tarjeta de adquisición.

Al no haber un bus de direcciones, y al existir la necesidad de indicar la dirección del registro de la tarjeta de adquisición a la que se está accediendo, se debe realizar un ciclo previo de escritura sobre la tarjeta dándole la dirección de 8 bits del registro al que se va a acceder.

Como se verá a continuación, a través del ciclo de bus se puede detectar si una tarjeta está insertada en el slot correspondiente, e incluso si su módulo de gestión del bus (que en realidad estará formado en este prototipo por un PIC16F84A) funciona correctamente.

Los conectores que soportan las tarjetas del sistema han sido instalados en una “placa base” que soporta todas las conexiones del bus, un estabilizador de tensión (7812) y como se verá en la sección de cálculos de mas adelante, también contiene las resistencias de PULL-UP del bus. En la siguiente figura se muestra como se distribuyen los slots sobre la placa base del sistema METEODAT.



Existen 8 slots disponibles para insertar tarjetas de adquisición de datos. Cada tarjeta puede realizar dos tipos de medidas.

Una de ellas se denomina “analógica”, en la cuál la tarjeta simplemente acondiciona una señal analógica procedente de un sensor y la pone una de las líneas AN0-AN5 del bus de datos. Estas 6 señales se distribuyen por los slots 0 al 5, por lo las tarjetas que utilizan este tipo de medidas no deben insertarse en los slots 6 y 7.

El otro tipo de medida que puede realizar una tarjeta se denomina “digital” y consiste en la integración temporal de un tren de pulsos procedentes de un sensor que se preste a este tipo de salida digital serie. Esta medida puede realizarse en cualquier slot (del 0 al 7), ya que el dato se lee directamente a través del bus de datos, y se encuentra en el registro con dirección 0x04 de la tarjeta de adquisición de datos.

donde solamente existe rutado), lo que indica que el rutado de la placa PCB del módulo principal debe realizarse a dos caras, añadiendo parte del rutado por la cara superior.

En cambio, la distribución de las líneas del bus en cada slot correspondiente a las tarjetas de adquisición están superpuestas (las líneas A coinciden con las líneas B). Esto es así para facilitar a los diseñadores de tarjetas de adquisición su tarea, ya que en las tarjetas en que su simplicidad lo permita, podrán realizarse utilizando una sólo cara para el rutado de pistas. A continuación se muestra la distribución de señales en este caso en un slot genérico “x”:

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
*SELx	GND	*SEL	*BA	R/*W	D/*A	CLK	ACT	VDD5	GND	*DOK	*INT	*IACK
*SELx	GND	*SEL	*BA	R/*W	D/*A	CLK	ACT	VDD5	GND	*DOK	*INT	*IACK
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13

A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25
VDD5	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	GND	VDD12	ANx
VDD5	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	GND	VDD12	ANx
B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25

A continuación se describirá cada una de las señales que componen el bus. Se utilizará el siguiente código para indicar el sentido de las señales:

-> señal de salida del módulo CPU y de entrada a las tarjetas de adquisición.

<- señal de entrada al módulo CPU y de salida a las tarjetas de adquisición.

<-> señal de entrada/salida al módulo CPU y de entrada/salida a las tarjetas de adquisición

- . **CLK (->)**. Representa una línea de reloj que distribuiría el módulo CPU al resto de tarjetas del sistema, evitando la implementación de osciladores en cada una de ella. No interviene en el ciclo de acceso al bus, ya que este es totalmente asíncrono. En este prototipo esta señal no se utiliza.

- . ***SEL (->)**. Es la señal que indica que se está produciendo un acceso al bus por parte del módulo CPU. Solamente se ha utilizado como medio de depuración del hardware en la fase de desarrollo del bus, y no tiene utilidad práctica.

-. ***SELx (->)**. Representa una de las 8 líneas correspondientes a los 8 slots disponibles en la placa base (*SEL0, *SEL1, ... ,*SEL7). Cada una de estas líneas se utilizan para seleccionar una tarjeta al realizar un ciclo de bus. El hecho de utilizar una línea por cada tarjeta, y no direccionarlas mediante un bus de direcciones (como por ejemplo el bus ISA del PC, en el que cada tarjeta tiene asignado un mapa de direcciones del espacio direccionable), permite implementar una lógica muy sencilla en la parte de control del bus de las tarjetas, no siendo necesario diseñar un decodificador de direcciones.

-. ***DOK (<-)** (**colector abierto**). Es una línea en colector abierto, común a los 8 slots de la placa base. Es usada por la tarjeta a la que se está accediendo para que ésta pueda confirmar el dato que se está leyendo o indicar que el dato que se escribe se ha leído por la tarjeta. También se usa durante un acceso al bus para indicar a la CPU que la tarjeta está lista para iniciar el ciclo de bus.

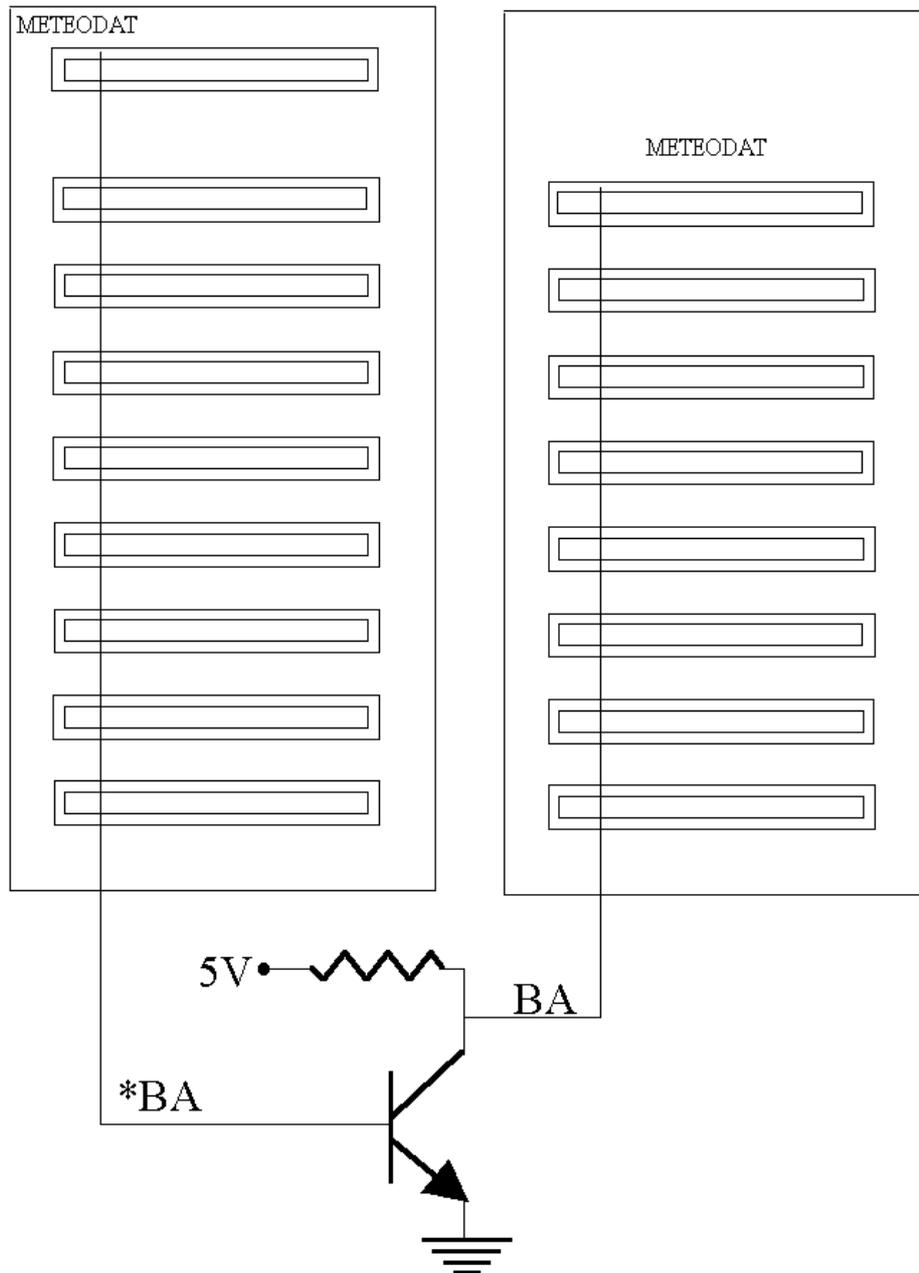
-. **R/*W (->)**. Es la señal que indica que el ciclo de bus es de lectura o de escritura.

-. **D/*A (->)**. Indica que el valor contenido en las líneas D0-D7 debe ser interpretado como una dirección o como un dato. Esta línea es necesaria debido a que este bus no implementa líneas de direcciones, y como a las tarjetas se accede a través de su mapa de registros, hay que indicar la dirección del registro al que se accede. La secuencia entonces para acceder a un registro en concreto, sería realizar un ciclo de escritura con la línea D/*A = "0" para introducir una dirección en la tarjeta, y luego una lectura/escritura con la línea D/*A = "1" para acceder al registro direccionado en el acceso anterior.

-. **D0-D7 (<->)**. Estas 8 líneas implementan los bytes que se transfieren en cada acceso al bus. A no ser que contengan un dato durante un acceso al bus estas líneas están en alta impedancia, por lo que se ha implementado un "pull up" en cada línea para llevarlas a una tensión conocida de 5V.

-. ***BA (->)**. Es una línea fundamental para poder realizar un acceso al bus o inhibirlo. Se permite un acceso siempre que se encuentre a nivel bajo. Si se encuentra a nivel alto,

las tarjetas deberán hacer caso omiso a la señal SELx y rechazar el ciclo de acceso iniciado por el módulo CPU. Esta forma de restringir el acceso a una tarjeta permite que *BA se puede utilizar para ampliar el bus en 8 slots más. En efecto, como muestra la figura podemos observar que con un simple inversor conectado a la señal *BA se puede expandir el bus de forma muy sencilla, de forma que *BA se consideraría como la línea de direccionamiento de tarjeta de mayor peso respecto a las otras tres, ya que las 8 líneas *SELx y el resto de señales de control del bus, estarán duplicadas en el par de placas de 8 slots cada una disponibles para tarjetas de adquisición.



-. ***INT (<-)** (colector abierto). Señal que provoca una interrupción en el módulo CPU. La utilizarían las tarjetas en el caso de que necesiten indicar algo al módulo CPU. Como en este caso es la CPU la que lleva en todo caso la iniciativa, esta señal no se utiliza en este prototipo.

-. ***IACK (<-)** (colector abierto). Señal de reconocimiento de interrupción, que se utiliza para que el módulo CPU pueda detectar que tarjeta ha sido la que ha provocado

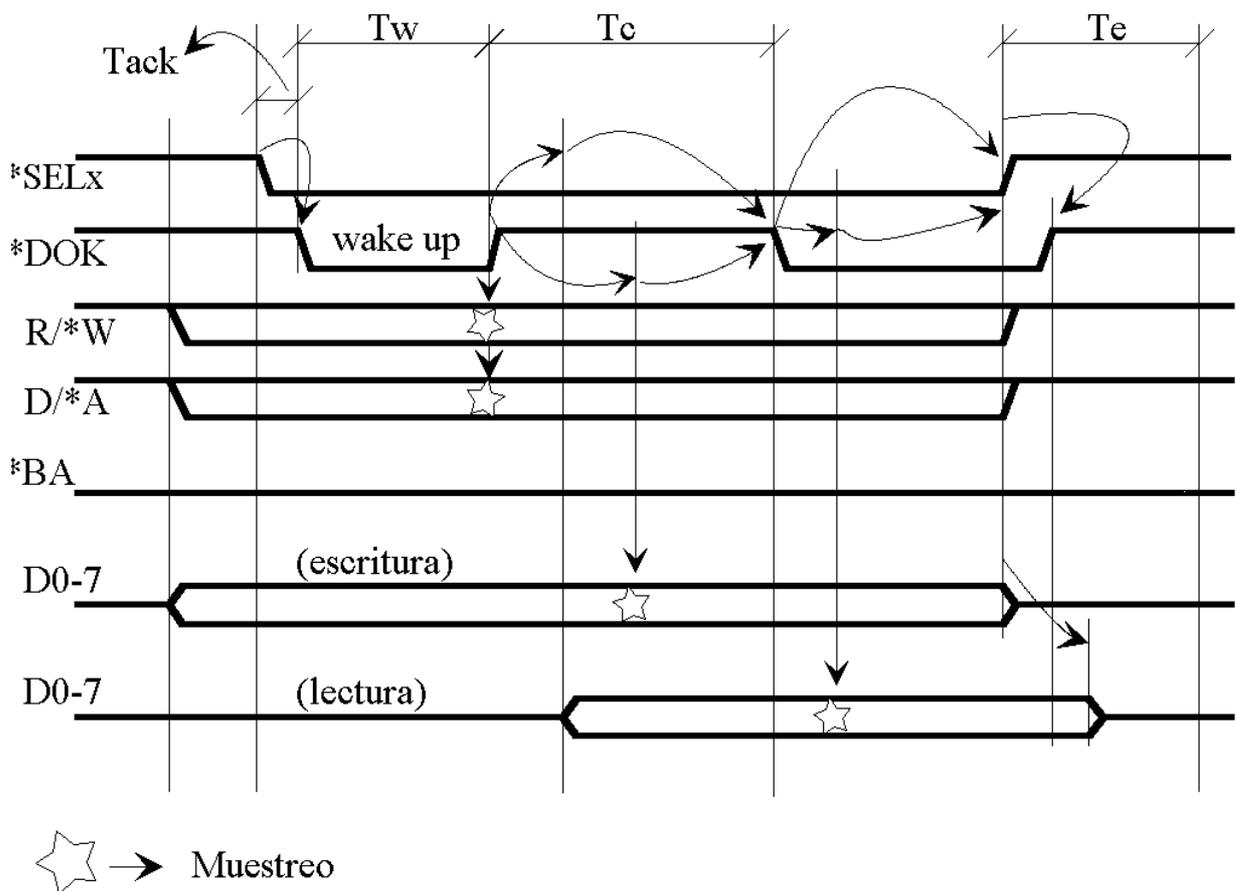
una interrupción mediante la activación a nivel bajo de la señal *INT. Cuando la tarjeta selecciona una tarjeta mediante la señal *SELx y la señal *BA, esta deberá activar inmediatamente la línea *IACK si ha activado previamente la señal *INT. Como en este prototipo las tarjetas no piden interrupciones a la CPU, no se utiliza esta línea.

-. **AN0-AN7 (<-)**. Son las líneas que portan los datos analógicos procedentes de cada tarjeta que van a ser muestreados, digitalizados y almacenados por el módulo CPU. Como su nombre indica AN0 procede del slot 0, AN1 del slot 1, etc. En este prototipo las líneas AN6 y AN7 no se utilizan, por lo que si una tarjeta de adquisición se inserta en una de estos slots, no se tomarán en cuenta las señales AN6 y AN7, y por lo tanto ni se muestrearán ni almacenarán datos. Esto es debido a que el módulo CPU solamente implementa seis de los ocho posibles canales analógicos, por falta de pines E/S en el microcontrolador PIC16F877, que es el que realiza las capturas AD en la tarjeta CPU.

-. **ACT (->)**. Es una señal de propósito general que se puede utilizar según el propósito que considere oportuno el diseñador del sistema. En el caso de este prototipo esta señal está activa cuando el módulo CPU está ocupado realizando el muestreo, digitalización y almacenamiento de los datos de las tarjetas. A fin de poder indicarlo al usuario por ejemplo mediante un diodo LED. También se podría utilizar con el fin de que el módulo CPU pueda encender los calefactores correspondientes a cada sensor cuando las temperatura descieran por debajo de los 0 C. Cada tarjeta de adquisición dispondría de un sistema de relés que activaría el calefactor correspondiente al sensor que esté utilizando la tarjeta, cuando la señal ACT esté activada.

3.5.2. EL CICLO DE BUS

A continuación se mostrará la forma en que se lleva a cabo un acceso al bus asíncrono del sistema METEODAT. Para ello se utilizará el cronograma siguiente:



Como ya se ha mencionado, el acceso al bus se realiza sin mediación de ningún tipo de señal de reloj, por lo que el bus es totalmente asíncrono. Esto aporta algunas ventajas en un sistema de adquisición de datos.

La primera de ellas es que el acceso se realizará a una velocidad variable, dependiendo de la velocidad de acceso que disponga cada tarjeta de adquisición, con la ventaja que si el controlador de bus de cada tarjeta está formado por un PIC16F84A, entonces no importa la velocidad de reloj a la que esté funcionando.

Otra ventaja viene derivada de la innecesidad de que el controlador de datos se sincronice con una señal de reloj, es decir, detectar los flancos de la señal de reloj y la necesidad de utilizar registros (tipo D por ejemplo) adicionales. En este sentido se pueden utilizar microcontroladores como el mencionado para la gestión del bus, ya que un microcontrolador programable no podría detectar los flancos de una señal de reloj de frecuencia relativamente elevada.

A continuación se mostrará como llevar a cabo un acceso y la secuencia necesaria para llevarlo a cabo. Se distinguen entre accesos de lectura (el módulo CPU lee en el bus un dato procedente de una tarjeta de adquisición) y accesos de escritura (en los que el módulo CPU escribe un dato en el bus destinado a una tarjeta).

LECTURA. La CPU comienza poniendo la línea R/*W a "1", y activa/desactiva la línea D/*A dependiendo de si se va a leer un dato o una dirección respectivamente.

1°.- El ciclo de bus comienza cuando la CPU pone la línea SELx de la tarjeta correspondiente a "0". Al instante, la tarjeta debe contestar inmediatamente antes de que transcurra $T_{ack_{max}}$ Poniendo a nivel bajo *DOK. Si transcurre ese tiempo la CPU pone las señales *SELx, D/*A y R/*W a "1" y termina el ciclo de bus, considerándose un acceso fallido. El módulo CPU considerará por lo tanto que no hay tarjeta alguna insertada en el slot sobre el que se ha intentado realizar el acceso.

2°.- En ese momento la tarjeta se está preparando para el acceso (El controlador del bus, que puede ser un microcontrolador PIC16F84A, podría estar en modo "sleep", y por lo tanto necesitaría un tiempo para volverse operativo). Cuando la tarjeta está preparada, pone DOK a nivel alto y muestrea las líneas R/*W y D/*A. Si la tarjeta tarda más de $T_{w_{max}}$ en asentir con DOK la CPU pone, como en el caso anterior, las señales *SELx, D/*A y R/*W a "1" terminando el ciclo de bus, considerándose erróneo, caso en el cual el módulo CPU considera que el gestor del bus de la tarjeta no funciona correctamente.

3°.- Acto seguido la tarjeta deberá poner el dato en las líneas D0-D7 y confirmarlo

poniendo la línea *DOK a nivel bajo (debe confirmarse el dato en un tiempo menor que $T_{c_{max}}$ desde el flanco ascendente de *DOK para que el acceso no se considere erróneo, con las mismas consecuencias que en los puntos anteriores). En ese momento, la CPU detecta el flanco descendente e inmediatamente muestrea D0-D7.

4°.- La CPU indica que el ciclo de bus debe terminar poniendo la señal SELx a nivel alto. Al mismo tiempo pone las líneas R/W y D/*A a "1". Cuando la tarjeta detecta el flanco ascendente de *SELx desactiva *DOK poniéndolo a nivel alto y al mismo tiempo se pone en alta impedancia respecto a las líneas de datos D0-D7.

5°.- Se establece que desde el flanco ascendente de *SELx debe transcurrir un tiempo T_e para que pueda comenzar otro ciclo de bus. Esta latencia en el bus se introduce para permitir que la tarjeta pueda liberar las líneas D0-D7 y *DOK a tiempo y que no ocurra una colisión entre dos tarjetas durante un posterior posible acceso al bus.

ESCRITURA. En este caso la CPU pone R/*W a nivel bajo, activa o desactiva D/*A para indicar la escritura de un dato o una dirección, y pone el dato en las líneas de datos D0-D7. La diferencia con el ciclo de lectura descrito anteriormente, está únicamente en el punto 3 (y por supuesto en que la línea R/*W estará a "0"), que se describirá a continuación.

3°.- En este momento, la tarjeta muestrea el contenido de las líneas de datos D0-D7, e indica que ha adquirido el dato poniendo la línea *DOK a nivel bajo. La tarjeta debe poner *DOK a "0" antes de que transcurra $T_{c_{max}}$ desde el último flanco ascendente de *DOK. Acto seguido la CPU detecta el flanco descendente de *DOK y entonces puede finalizar el acceso.

3.5.3. “TIMING” DEL BUS.

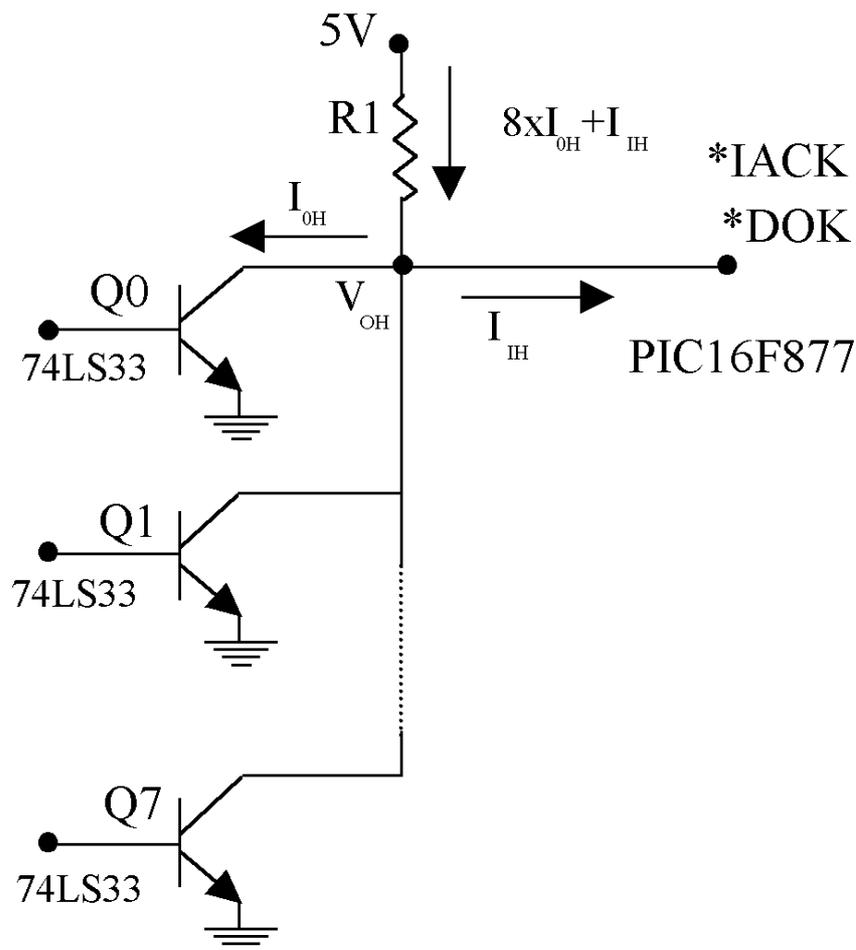
Se ha tratado de especificar lo mínimo posible los tiempos del bus, limitándose tan solo a proporcionar unos tiempos máximos permisibles para un correcto funcionamiento. El motivo de esta falta de especificación es el uso que se le va a dar al bus. El controlador de acceso al bus de la tarjeta CPU y de las tarjetas de adquisición pueden ser de distinta naturaleza, pueden estar formados por lógica discreta, microcontroladores, etc. Además si se lleva a cabo mediante microcontroladores, estos pueden funcionar con un alto rango de frecuencias de reloj. Por lo tanto las velocidad de acceso al bus y por lo tanto el “timing” del bus depende de la naturaleza de los controladores del bus. En este sentido, para proporcionar el más alto grado de libertad a los diseñadores de sistemas, solamente se proporcionan los siguientes tiempos máximos (ver el anterior cronograma del bus):

- **Tack.** Tiempo de asentimiento de la señal *DOK ante un intento de acceso mediante la puesta de la señal *SELx a nivel bajo por parte del módulo CPU. Se define un $T_{ack(máx)}$ de 100mseg .
- **Tw.** Tiempo durante el cual del módulo CPU espera a que el módulo de gestión del bus de la tarjeta de adquisición esté disponible para continuar el acceso (el gestor de bus de la tarjeta podría ser un microcontrolador y encontrarse en modo “stand by”, con lo que tardaría un instante en volverse operativo. Se define un $T_{w(máx)}$ de 100mseg.
- **Tc.** Tiempo de asentimiento de la tarjeta de adquisición para muestrear un dato en las líneas D0-D7 en modo escritura, o para poner un dato en las líneas D0-D7 en modo lectura. Se define un $T_{c(máx)}$ de 100mseg.
- **Te.** Tiempo adicional que necesita una tarjeta de adquisición para liberar el bus una vez ha terminado el ciclo de acceso. Se define un $T_{e(máx)}$ de 100mseg.

3.5.4. CÁLCULOS DE RESISTENCIAS PULL-UP DEL BUS

Estos cálculos se realizan suponiendo que el controlador del bus de cada tarjeta de adquisición de datos está formado por un PIC16F84A y un 74LS33. Sin embargo la lógica LS no es lo más adecuado para realizar un sistema de bajo consumo (se utiliza en este caso por tratarse de un prototipo, y no de una versión comercial), por lo que es recomendable utilizar lógicas CMOS. Los cálculos de las resistencias serían siendo válidos para estas familias lógicas.

A continuación se muestran dos circuitos idénticos: el circuito de reconocimiento de interrupción (*IACK) y el de asentimiento de datos (*DOK).



Datos del fabricante:

PIC16F877 $I_{ih} = I_{ih} = \pm 1\mu A$

74LS33 $I_{oh_{max}} = 100\mu A$

$I_{ol_{max}} = 24mA$

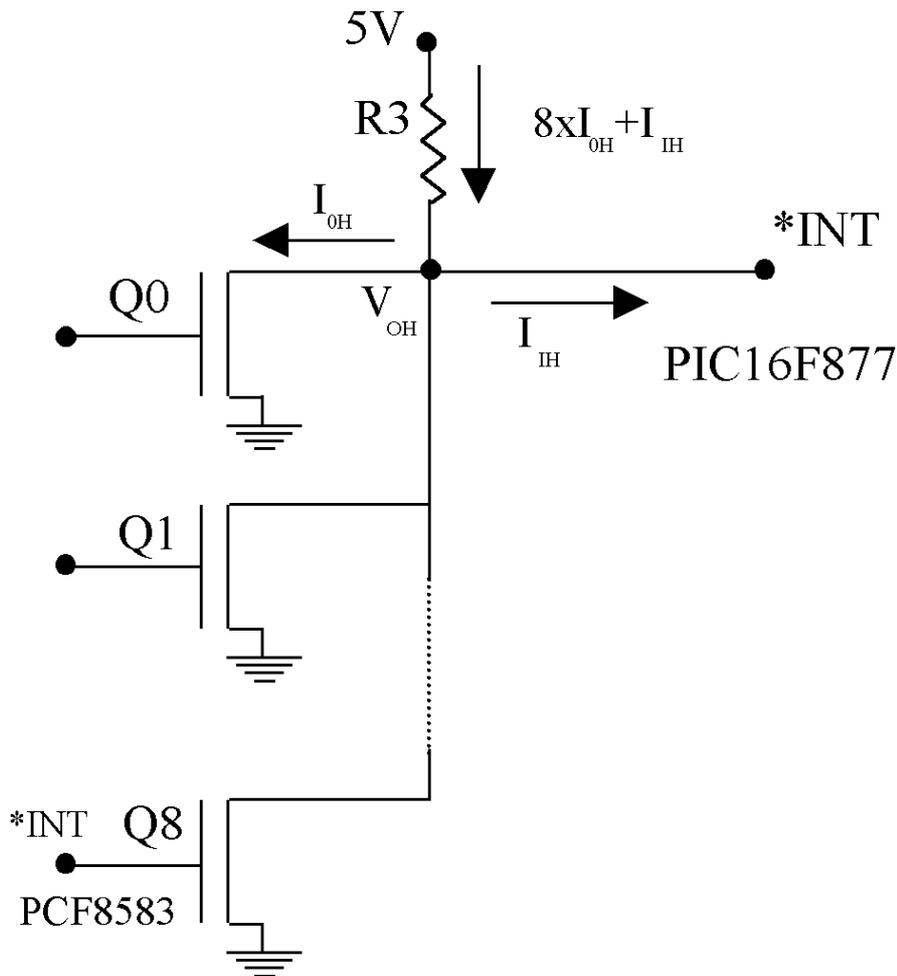
Además en la tecnología TTL la tensión V_{oh} mínima es de 2V, y la V_{ol} máxima es de 0,8V.

$$R1_{MAX} = \frac{V_{cc} - V_{oh_{min}}}{8I_{oh_{max}} + I_{ih_{PIC}}} = \frac{5V - 2V}{8 \times 100\mu A + 1\mu A} = 3K7$$

$$R1_{MIN} = \frac{V_{cc} - V_{ol_{max}}}{I_{ol_{max}} - I_{il_{PIC}}} = \frac{5V - 0,8V}{24mA - 1\mu A} = 175\Omega$$

Con lo que se elige una resistencia recomendada de $R1=2K$

Circuito de petición de interrupción por parte de las tarjetas conectadas al bus (Q0-Q7) y por el timer (Q8). Se consideran todos los transistores iguales al del PCF8583 para simplificar los cálculos



Datos del fabricante:

$$\text{PIC16F877 } I_{ih} = I_{ih} = \pm 1\mu\text{A}$$

$$\text{PCF8583 } I_{oh_{\max}} = 1\mu\text{A}$$

$$I_{ol_{\max}} = 3\text{mA}$$

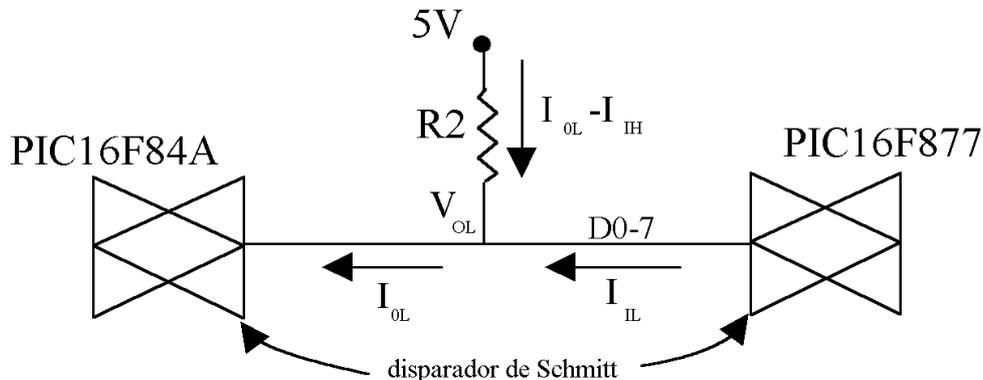
Además la tensión V_{oh} mínima es de 4V y V_{ol} máxima es de 1V, ya que la entrada RB0/*INT del PIC es un disparador de Schmitt.

$$R3_{\text{MAX}} = \frac{V_{cc} - V_{oh_{\min}}}{8I_{oh_{\max}} + I_{ih_{\text{PIC}}}} = \frac{5\text{V} - 4\text{V}}{9 \times 1\mu\text{A} + 1\mu\text{A}} = 100\text{K}$$

$$R3_{\text{MIN}} = \frac{V_{cc} - V_{ol_{\max}}}{I_{ol_{\max}} - I_{il_{\text{PIC}}}} = \frac{5\text{V} - 1\text{V}}{3\text{mA} - 1\mu\text{A}} = 1,3\text{K}\Omega$$

Con lo que se elige una resistencia recomendada de $R3 = 4\text{K}7$ (no se elige una resistencia más alta para que algún ruido, como por ejemplo una interferencia, ponga la línea a nivel bajo y provoque una falsa interrupción).

Circuito de las líneas de datos:



Datos del fabricante:

$$\text{PIC16F877: } I_{il_{\max}} = \pm 1\mu\text{A}$$

$$I_{ol_{\max}} = 25\text{mA}$$

$$\text{PIC16F84A: } I_{ol_{\max}} = 25\text{mA}$$

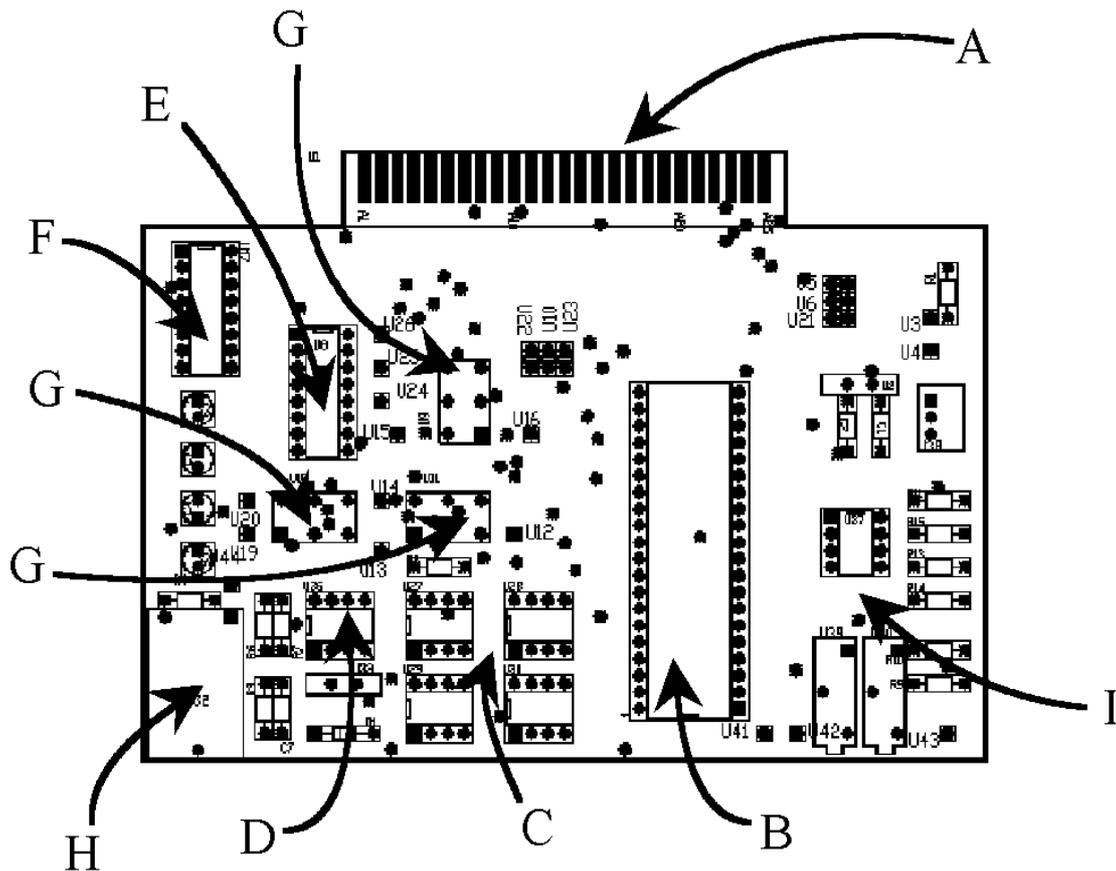
$$I_{il_{\max}} = \pm 1\mu\text{A}$$

$$R_{MAX} = \infty$$
$$R_{MIN} = \frac{V_{cc} - Vol_{max}}{Iol_{max} - Iil_{max}} = \frac{5V - 1V}{25mA - 1\mu A} = 160\Omega$$

Con lo que la resistencia recomendada es $R2 = 4K7$ (no se pone una más pequeña para no aumentar demasiado el consumo cuando por ejemplo el dato que se ponga en el bus sea 0x00).

3.6. EL MÓDULO CPU

El módulo CPU consiste en una tarjeta controladora que realiza las tareas de gestión de las demás tarjetas de adquisición de datos, además de encargarse de digitalizar muestras analógicas y almacenarlas en una memoria local no volátil tipo EEPROM. También debe servir las peticiones que realiza un programa residente en la memoria de un ordenador personal, como por ejemplo la descarga de la memoria EEPROM en un fichero de datos. A continuación se muestra un diagrama esquemático donde aparecen las partes relevantes de este módulo.



A.- Conector macho de 50 pines para insertar la tarjeta al bus asíncrono de 8 bits.

Este conector está formado por un par de hileras de 25 contactos cada una (una hilera por cada cara de rutado). Se ha tratado de incluir el mínimo número de elementos

mecánicos adicionales, por lo que se ha elegido este conector debido a que cada contacto está formado por el propio cobre del rutado.

B.- Microcontrolador PIC16F877 de la casa Microchip.

Es el elemento controlador del sistema METEODAT. Sobre este integrado se ejecuta el programa que se encarga de gestionar la adquisición y almacenamiento de datos, la gestión del bus asíncrono, ya que el módulo CPU va a ser el que inicie las transferencias del bus (maestro del bus). También será el elemento que atienda las peticiones que realice el usuario a través del programa residente en un ordenador personal conectado a través de un cable serie RS232C, de forma que el módulo CPU se comporta del mismo modo que un servidor de red, mientras que el programa residente en la memoria del PC sería el programa cliente. Se ha elegido este microcontrolador para esta aplicación debido a la gran cantidad de puertos de entrada/salida que implementa (33), la posibilidad de realizar conversiones AD mediante 8 canales analógicos, la implementación de la parte física del bus serie síncrono I2C, la implementación de un módulo de comunicaciones serie asíncrono (USART), por su bajo consumo ($< 3\text{mA}$) y por disponer de una memoria de programa con un tamaño mas que suficiente para los objetivos planteados (8 Kinstrucciones).

C.- Cuatro bancos de memoria EEPROM serie de 32Kbytes cada uno (máximo).

Constituyen el soporte físico no volátil sobre el que se almacenarán los datos metereológicos que periódicamente se irán almacenando. La memoria elegida es la 24AA256 de Microchip (o un modelo compatible de otro fabricante). Se trata de una pequeña memoria serie (encapsulado DIP 8) que se puede conectar mediante un bus I2C a una frecuencia de reloj máxima de 400KHz. Las características generales de esta memoria son las siguientes:

- Tecnología CMOS de bajo consumo.
- Máxima corriente de durante una escritura de 3mA a 5,5V
- Máxima corriente durante una lectura de 400 μA a 5,5V
- 100nA en modo standby.
- Conexión de hasta 8 dispositivos similares sobre el mismo bus.
- Permitido un modo de escritura en modo página de 64 bytes.

- Máximo tiempo para realizar una escritura: 5ms.
- Protección mediante hardware del contenido de la memoria.
- Entradas como disparador de Schmitt para reducir el efecto del ruido.
- 100000 ciclos de lectura y escritura garantizados.
- Protección contra descargas electrostáticas (hasta 4000V).
- Tiempo de retención de datos mayor de 200 años.

Sin embargo, debido a la falta de disponibilidad de este tipo de memoria, para la realización del prototipo se ha utilizado una memoria de iguales características pero de menor capacidad, el 24LC65 de la casa Microchip. Por lo tanto la capacidad de la memoria del prototipo será de $4 \times 8\text{Kbytes} = 32 \text{Kbytes}$ en vez de los $4 \times 32\text{Kbytes} = 128\text{Kbytes}$ que tendría del dispositivo utilizando el 24AA256.

D.- Temporizador y alarma PCF8583 (Además incluye 256bytes de SRAM).

Se trata de un dispositivo CMOS de bajo consumo con 2048-Bits de SRAM organizados en 256 bytes. Posee un registro interno de direcciones que se incrementa automáticamente cada vez que se realiza una lectura o escritura. Dispone de una línea hardware que permite la conexión al bus de 2 dispositivos iguales sin hardware adicional. Para funcionar como reloj, necesita un cristal externo de 32768 Hz, o una frecuencia de 50 Hz. Emplea los 8 primeros bytes de la SRAM para funciones de almacenamiento de reloj/calendario o para realizar la función de contador. Los 8 bytes siguientes pueden utilizarse como registros de la ALARMA o como SRAM libre de propósito general. Las características generales de este dispositivo se muestran a continuación:

- Tensión de alimentación desde 2,5 hasta 6 V
- Gama de tensión para funcionamiento del reloj (0 a 70°C): 1 a 6 V.
- Gama de tensión para mantenimiento de la información: 1 a 6V.
- Reloj, calendario con alarma.
- Formato seleccionable de 12 ó 24 horas.
- Base de tiempos de 50 Hz ó 32768 Hz.
- Entrada y salida a través del Bus I²C.
- Incremento automático de la dirección de palabra.
- Bajo consumo. (50µA máx para $f_{SCL} = 0\text{Hz}$).

- Alarma de tiempo programable con aviso por interrupción.

Dentro del módulo CPU, este integrado provoca una interrupción en el microcontrolador PIC16F877 cada vez que llega la hora de realizar un muestreo de datos meteorológicos. Por lo tanto su tarea consiste en indicar al PIC cuando debe iniciar la secuencia de captura y almacenamiento de datos. El PCF8583 también mantiene una hora local actualizada que será almacenada en la memoria junto con las muestras digitalizadas, cada vez que se inicia el muestreo de datos.

E.- Transceptor de tensiones TTL a tensiones RS232C, MAX232.

Consiste en un circuito integrado en encapsulado tipo DIP 16, que transforma las tensiones existentes en el medio físico RS232C (entre -13 y 13 V) a las tensiones TTL con las que puede trabajar el PIC16F877. Este integrado dispone de dos puertos de comunicación, aunque en el módulo CPU solamente se utilizará uno de ellos. Aunque la comunicación que se ha implementado es “semi-duplex”, este dispositivo permite una comunicación en los dos sentidos simultáneamente (full-duplex).

F.- Decodificador de 3bits 74LS138.

Este circuito se utiliza para que el PIC16F877 pueda seleccionar una tarjeta de adquisición de datos cuando está accediendo al bus asíncrono de 8 bits. Para ello convierte una palabra de 3 bits en un nivel bajo (la salida es activa a nivel bajo) en una de las 8 posibles salidas numeradas del 0 al 7, que representarán las líneas SEL0 a SEL7 del bus.

G.- Conmutadores de programación del PIC16F877.

Debido a la necesidad de depurar constantemente el código residente en el PIC16F877 durante el desarrollo del prototipo se incluyeron 3 conmutadores que permiten grabar el código en la memoria de programa del PIC sin necesidad de sacarlo de su zócalo y conectarlo a un dispositivo grabador. En modo de producción estos conmutadores deberían ser eliminados.

H.- Batería de alimentación ininterrumpida de 60mAh del PCF8583.

Proporciona tensión de alimentación de 3,6V a 4V al PCF8583, para proteger los datos

que contiene contra posibles cortes del suministro eléctrico. Es una batería recargable de Níquel-Cadmio, por lo que su durabilidad está garantizada en toda la vida útil del sistema de adquisición de datos METEODAT, ya que se está cargando continuamente a través de un diodo y una resistencia de forma continua mientras que la tensión de alimentación este presente. La necesidad de proteger los datos contenidos en la memoria SRAM del “timer” es vital para evitar perder la configuración del sistema, ya que tanto los registros de configuración del sistema y la hora local están incluidos en el PCF8583. El diodo de carga es el IN4007 mientras que la resistencia de carga se dimensiona de la siguiente manera:

$$R_{m\acute{a}x} = \frac{5 - V_{\max}}{I_{m\min}} = 333\Omega$$

$$R_{m\acute{a}x} = \frac{5 - V_{\min}}{I_{m\max}} = 500\Omega$$

Donde V_{\max} es la tensión máxima de carga de la batería, y es de unos 4V. V_{\min} es la tensión mínima de carga de la batería (nunca suelen llegar a 0V a no ser que se las cortocircuite), y es de 2V.

Se fija una corriente mínima de carga que atraviesa la batería cuando no está cargada $I_{m\min} = 3\text{mA}$. La corriente máxima de carga de la batería se fija dividiendo entre 10 la corriente máxima de trabajo (60mAh \rightarrow 60mA), luego $I_{m\max} = 6\text{mA}$,

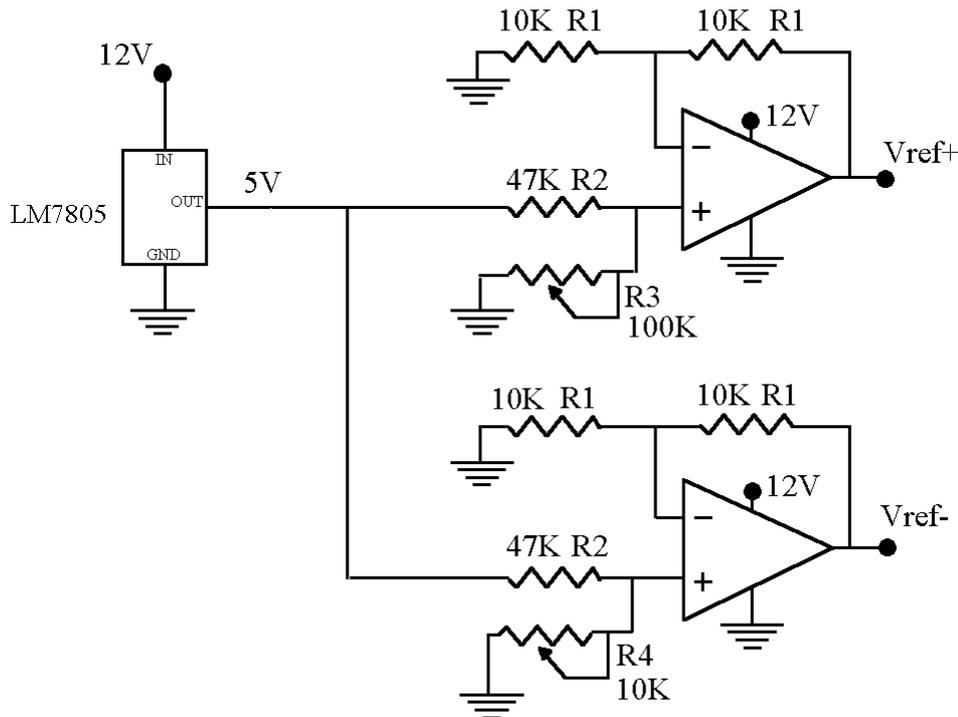
La resistencia de compromiso elegida es de 470Ω .

I.- Circuito regulable que proporciona tensiones de referencia al CAD integrado en el PIC16F877.

Para aprovechar toda la resolución del Convertidor Analógico Digital que incluye el PIC16F877, se ha optado por proporcionarle unas tensiones de referencia estabilizadas con el fin de evitar que una posible variación en la tensión de alimentación provoque un error en la digitalización de las muestras meteorológicas. Esta estabilización de la tensión debe permitir aprovechar con total fiabilidad los 10 bits de resolución que proporciona el CAD integrado en el PIC16F877. Esas tensiones serán $V_{\text{ref}+}$ (5,000V) y $V_{\text{ref}-}$ (1,000V). La estabilidad de estas fuentes de tensiones de referencia debe verificar la siguiente expresión:

$$\Delta v_{ref_{max}} = \frac{1}{2} LSB = \frac{1}{2} \times \frac{(5-1)V}{2^{10}} = 2mV$$

Se garantiza que esta variación de la tensión máxima no se alcanzará utilizando como tensión base de referencia la que proporciona el LM7805, como se muestra a continuación:



Las tensiones obtenidas:

$$V_{ref+} = 5V \times 2 \times \frac{R3}{R2 + R3} = 5V$$

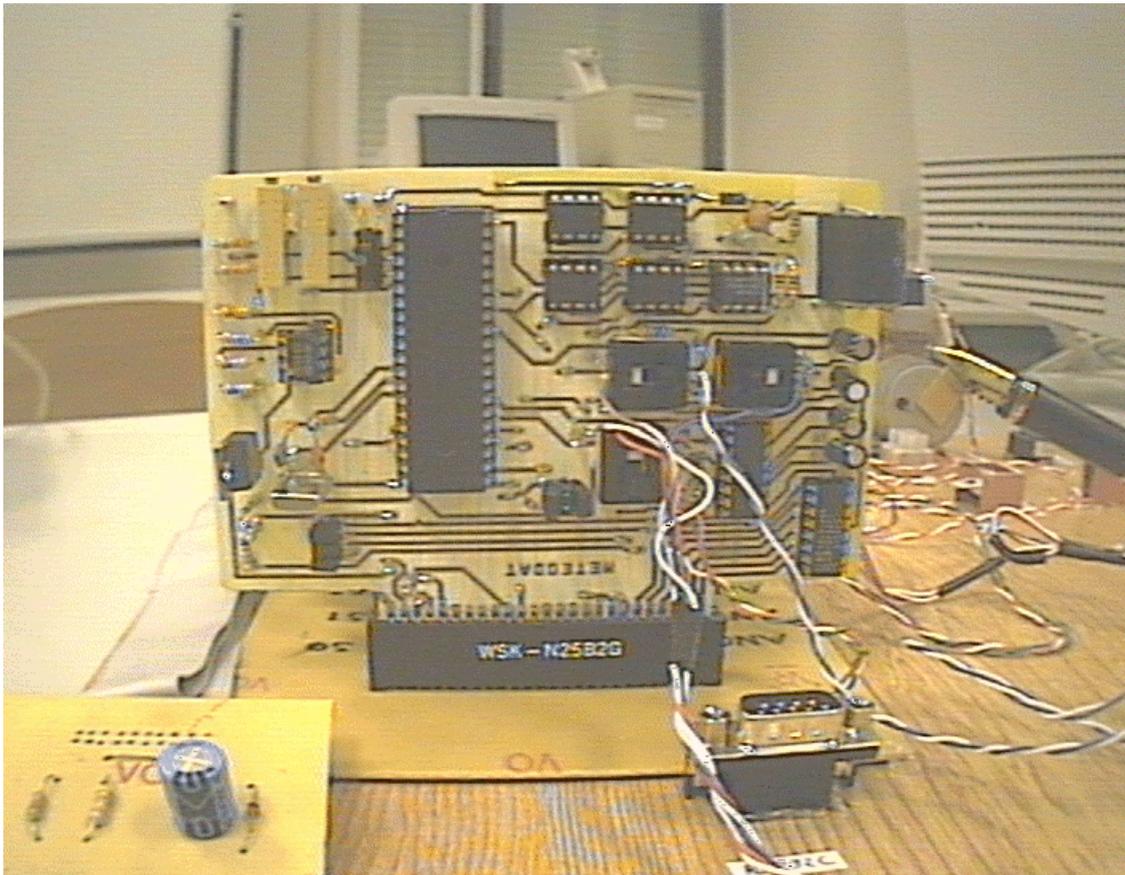
Con lo que si se fija $R2 = 47K$ obtendremos $R3 = 47K$ (resuelto con un potenciómetro de 100K).

$$V_{ref-} = 5V \times 2 \times \frac{R4}{R2 + R4} = 1V$$

Si $R2 = 47K$ se tiene $R4 = 5,2K$, por lo que se emplea un potenciómetro de 10K.

El amplificador operacional elegido es el CA358, ya que posee los dos AO en un mismo integrado de 8 patillas, y los errores producidos debidos a derivas temporales y de temperatura son inferiores a $\frac{1}{2}$ LSB (2mV).

Por último, a continuación se muestra una imagen panorámica del módulo CPU insertado en el slot que le corresponde (slot CPU), de la placa base del sistema METEODAT.



3.6.1. EL BUS I²C

Ante la necesidad de reducir el número de líneas en la placa de circuito impreso del módulo CPU se decidió utilizar un bus serie estandarizado para la conexión de las memorias con el PIC16F877. Existían por lo tanto dos opciones factibles de comunicación serie que implementaba el PIC.

La primera es el Serial Peripheral Interface (SPI), que utiliza 3 líneas en la comunicación. El problema de este estándar es que existen pocos dispositivos comerciales, en concreto memorias serie EEPROM. Por lo tanto se decidió utilizar la segunda opción, el bus I²C introducido por Phillips, que solamente utiliza dos líneas (una, SDA de datos y otra, SCL de reloj). El bus es en drenador abierto de forma que se debe colocar una resistencia entre las dos líneas y Vdd. La dos resistencias son idénticas, y se calculan de la siguiente forma:

$$R_{\min} = \frac{V_{dd} - Vol_{\max}}{N \times Iol_{\max}}$$

Donde N es el número de dispositivos conectados al bus I²C, e Iol_{\max} es la corriente máxima a nivel bajo de dichos dispositivos (unos 3mA por ejemplo para SDA del PCF8583), y Vol_{\max} es la tensión máxima de salida a nivel bajo de los dispositivos anteriores (1 V, ya que se utilizan disparadores de Schmitt en las entradas conectadas a SDA y SCL).

La resistencia máxima está limitada por el tiempo de subida y bajada de las señales del bus, ya que una resistencia elevada tiene asociada una constante de tiempo elevada (con las capacidades parásitas del bus y con las capacidades de entrada a los dispositivos conectados al bus):

$$R_{\max} = \frac{t_{rise}}{C_{parásita}}$$

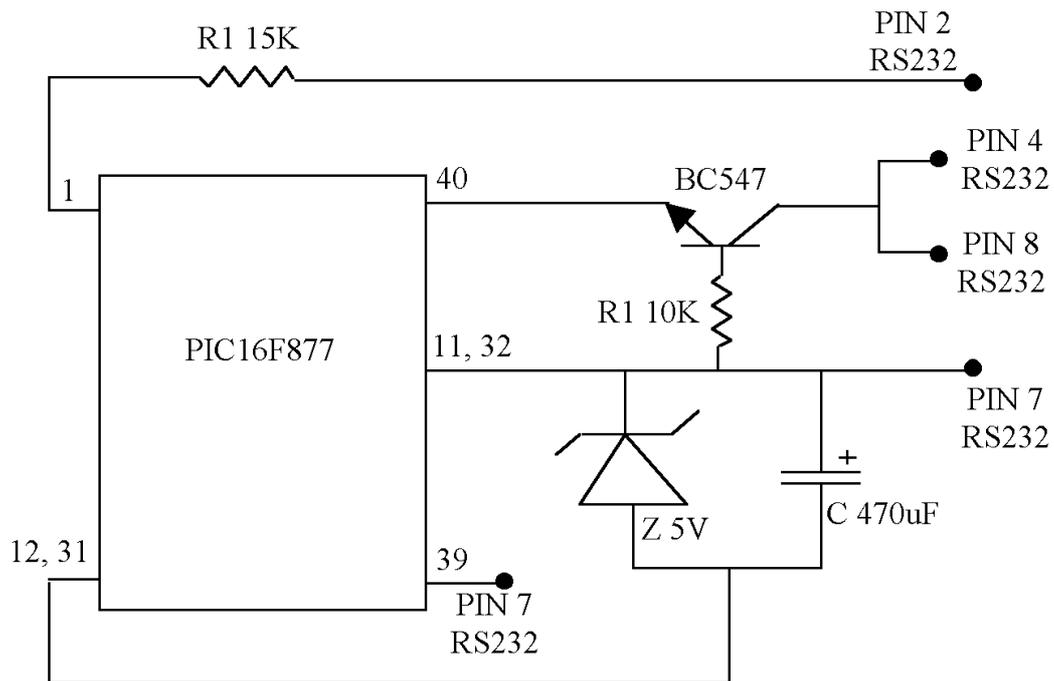
Se ha elegido por lo tanto un valor de compromiso de **10KΩ** para las dos resistencias.

3.6.2. SISTEMA DE PROGRAMACIÓN EN CAMPO

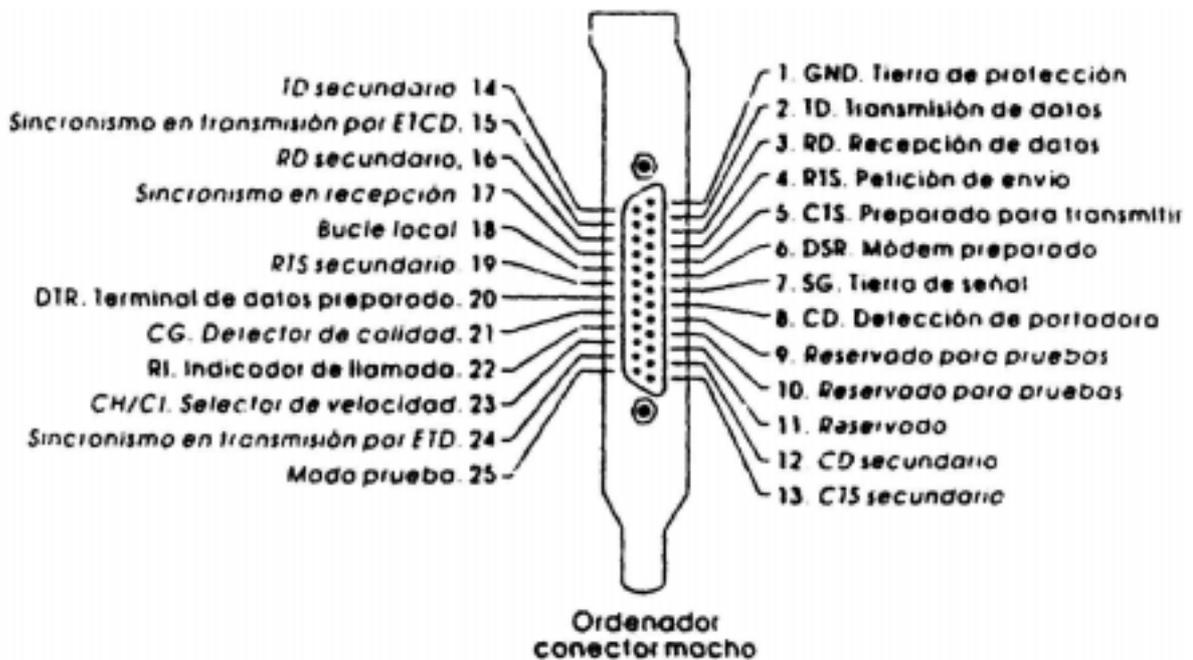
El microcontrolador PIC16F877 ubica el programa que ejecuta en una memoria FLASH que debe ser grabada con un programa previamente compilado. El proceso de carga se realiza de forma serie a través de los pines *MCLR/Vpp/THV, RB6/PGC y RB7/PGD del PIC.

La programación se realizará mediante un puerto serie COM de un ordenador personal, por lo tanto se necesita un circuito que transforme los niveles de tensión de estos 3 pines en los niveles estándar de la línea RS232. A continuación se muestra un esquema del circuito utilizado para la grabación de la memoria del PIC16F877 (y también la memoria del PIC16F84A que se utiliza en las tarjetas de adquisición de datos meteorológicos). En concreto el modelo de grabador se denomina "JDM".

El proceso de grabación es el siguiente: Se compila el código fuente generado (en este caso en lenguaje ensamblador) mediante el compilador del entorno de programación MPLAB V 2,50 de la casa Microchip. El fichero ".hex" resultante se cargará en el programa de grabación ID-Prog V 1,4 y se transmite a la memoria del PIC mediante el dispositivo mostrado anteriormente. En el módulo CPU estos pines de grabación son conmutados mediante conmutadores que son accionados manualmente, para poder aprovechar dichos pines como puertos de entrada/salida en la aplicación.



A continuación se mostrará el patillaje del conector DB25 y su correspondencia con el conector DB9, que es el que realmente se utiliza tanto para implementare el interface de programación a través de RS232 mostrado anteriormente, como para interconectar el sistema METEODAT con un ordenador personal y poder llevar a cabo una comunicación entre ambos.



PIN DB25	PIN DB9	SEÑAL
7	5	SIGNAL GROUND
2	3	TRANSMITED DATA
3	2	RECEIVE DATA
4	7	REQUEST TO SEND
5	8	CLEAR TO SEND
6	6	DATA SET READY
20	4	DATA TERMINAL READY
8	1	CARRIER DETECT
22	9	RING INDICATOR

3.7. LAS TARJETAS DE ADQUISICIÓN

Se han desarrollado cuatro tarjetas de adquisición de datos meteorológicos, con el fin de poder probar el sistema METEODAT. Desde el principio se trató de intentar realizar al menos 6 medidas para demostrar la viabilidad del prototipo de E.M.A. desarrollado:

- Dirección del viento.
- Velocidad del viento.
- Temperatura.
- Humedad Relativa.
- Pluviometría.
- Presión Atmosférica.

Las medidas de Dirección y velocidad del viento se agrupan en una única tarjeta de adquisición, al igual que las medidas de Humedad Relativa y Pluviométricas.

En cuanto a los sensores utilizados para realizar las medidas, la disponibilidad y el presupuesto destinado a este prototipo ha supuesto que el sensor de dirección del viento no sea el más adecuado para realizar este tipo de medida. En concreto se trata de un potenciómetro, que se puede desgastar a las pocas semanas de su puesta en funcionamiento en la E.M.A. El sensor más adecuado para este menester sería un encoder óptico absoluto, ya que al no presentar prácticamente ningún rozamiento mecánico no existirá desgaste, y por lo tanto su durabilidad y repetibilidad estarán garantizadas.

El resto de sensores sí se podrían utilizar en una versión comercial del sistema METEODAT instalada en una E.M.A. ya que sus características de derivas con el tiempo, temperatura, el error que cometen en la medida, y el rango de medición están dentro de las especificaciones determinadas en capítulos anteriores.

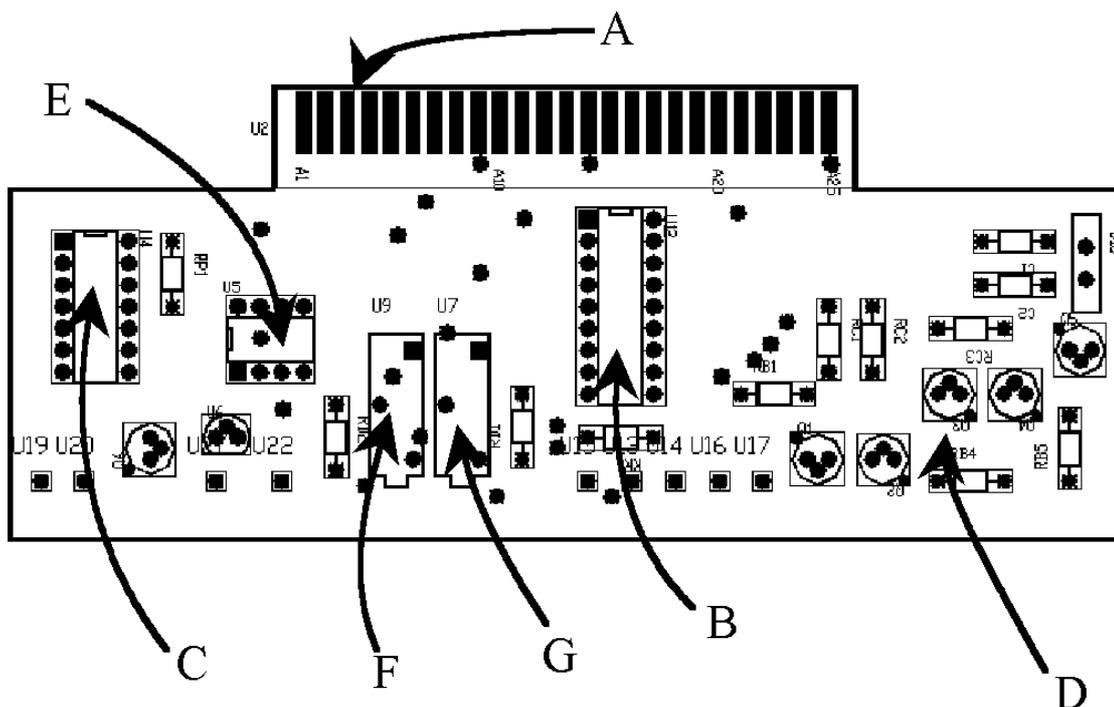
Otra cuestión es el tratamiento del ruido. No se ha realizado ningún tratamiento para limitar el ruido introducido en las medidas realizadas, por falta de tiempo. Sin embargo en el capítulo de “PRUEBAS DEL SISTEMA” se analiza este tema, incluyéndose una serie de recomendaciones para evitar el ruido en las medidas.

A continuación se describirán los 4 prototipos de tarjetas desarrolladas y los sensores que utilizan para realizar las 6 medidas atmosféricas que se han mencionado.

3.7.1. MEDIDA DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO

Esta tarjeta permite realizar las medidas correspondientes al mástil de la estación metereológica, es decir la velocidad y dirección del viento. Para la medición de la dirección del viento se utiliza un potenciómetro de $1K\Omega$, calibrado de forma que la posición en el que la resistencia vale 0Ω corresponde al Norte geográfico, aumentando la resistencia eléctrica cuando gira en sentido de las agujas del reloj. Este potenciómetro está conectado directamente a una veleta.

Para medir la velocidad del viento se emplea un detector óptico de posición, consistente en un diodo LED infrarrojo, un fototransistor, y entre ambos se sitúa un encoder diferencial solidario al eje del anemómetro. Se ha elegido esta configuración integrada de los sensores descritos debido a su relación y a que ambos van a estar instalados en la parte superior del mástil de la estación metereológica, por lo que se ha decidido agruparlos siguiendo esa topología. Los componentes que componen la tarjeta se detallarán a continuación.



- A.-** Conector de 50 contactos para insertar la tarjeta en el bus asíncrono de 8 bits.
- B.-** Microcontrolador PIC16F84 funcionando con una frecuencia de reloj de 2MHz (el oscilador es de 8MHz), que se encarga de gestionar el acceso al bus, así como de integrar temporalmente los pulsos correspondientes al sensor del anemómetro, y de conmutar los sensores, desconectándolos cuando no se realice medida alguna.
- C.-** 74xx33. 4 buffer con salida en colector abierto NOR, utilizado para gestionar las señales de arbitraje del bus asíncrono.
- D.-** Circuito de conmutación de sensores basado en transistores bipolares.
- E.-** CA358. Consiste en un integrado que contiene dos amplificadores operacionales. Se va a utilizar como parte del circuito de acondicionamiento del sensor de la veleta.
- F.-** Potenciómetro de ajuste del Offset para el circuito de acondicionamiento del sensor resistivo que forma parte de la veleta.
- G.-** Potenciómetro de ajuste de la Ganancia del circuito de acondicionamiento para el sensor resistivo que forma parte de la veleta.

Los dos tipos de sensores se conmutan únicamente cuando la estación meteorológica realiza las medidas. El circuito de conmutación consiste en una red de varios transistores bipolares. Como se trata de un prototipo, no se busca la máxima eficiencia de conmutación al usar estos dispositivos. Una versión comercial debería utilizar transistores MOS para aumentar el rendimiento de la conmutación y disminuir el área ocupada en la tarjeta por el circuito de conmutación.

La comunicación con el bus de las tarjetas, y la implementación de su protocolo asíncrono, se lleva a cabo mediante un microcontrolador PIC16F84A, pudiéndose utilizar modelos superiores en futuras implementaciones de tarjetas. El microcontrolador se encarga de realizar la medida del anemómetro y de conmutar el circuito que proporciona potencia a los sensores y a los circuitos de acondicionamiento de señal.

La CPU puede acceder a la tarjeta mediante el bus de comunicaciones direccionando

sus registros internos (que realmente son posiciones de memoria del PIC16F84A). Existen por tanto 5 registros que se describirán, junto a su dirección a continuación:

Dirección 0x00: El registro de direcciones (REG_DIR) contiene la dirección que apunta al registro actual. Por ejemplo, si este registro contiene el valor 0x04 (registro de datos), un posterior acceso al bus (con la señal D/*A a nivel alto) se realizará sobre el registro de datos. Cualquier acceso con la señal D/*A a nivel bajo se realizará sobre este registro.

Este registro es fundamental para poder direccionar los demás, ya que se accede a un registro escribiendo la dirección de éste en el registro de direcciones y posteriormente realizando un acceso sobre el registro en cuestión con la señal D/*A a nivel alto.

Dirección 0x01: El registro de identificación (REG_ID) proporciona una palabra de 8 bits que identifica la tarjeta, y que puede ser única o no (puede haber dos tarjetas iguales en el mismo sistema que realicen medidas diferentes, como por ejemplo la temperatura en el subsuelo a diferentes profundidades).

Por lo tanto puede haber hasta 256 direcciones distintas disponibles para que el fabricante pueda planificar su familia de tarjetas de adquisición de datos meteorológicos.

Dirección 0x02: El registro de Operación (REG_OP) especifica las medidas que puede realizar la tarjeta. Si el bit OP<0> es igual a 1 entonces la tarjeta podrá realizar una medida “analógica”, en la cual la tarjeta tendrá que depositar la señal del sensor, debidamente acondicionada por la línea ANx del bus de las tarjetas, para que el módulo CPU pueda convertirla en una palabra digital y almacenarla.

Si el bit OP<1> es igual a 1 la tarjeta podrá realizar una medida “digital” en la que el sensor transmite impulsos al PIC de la tarjeta y éste se encarga de contarlos durante un instante de tiempo propio de cada tarjeta. Por tanto, en esta medida se está integrando una medida (pulsos provenientes de un sensor) a lo largo de un instante de tiempo.

Dirección 0x03: El registro de Configuración y Estado (REG_CS) permite controlar el estado de la tarjeta. Solamente se han implementado dos bits.

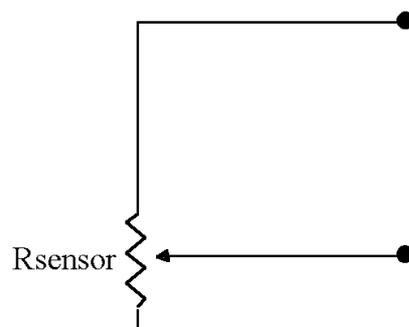
El bit CS<0> es el bit POW, que cuando se pone a 1 se están activando los sensores de la tarjeta a través del circuito de conmutación.

El segundo es el bit CS<1> (OK), que cuando vale 1 indica que las medidas que proporciona la tarjeta en cuestión son correctas, y la CPU puede tomarlas y almacenarlas. Por lo tanto, el procedimiento para que la CPU pueda realizar una medida es la siguiente: primero activa la tarjeta en cuestión poniendo el bit POW a 1, y luego, cada cierto tiempo va muestreando el bit OK, esperando a que valga 1. Entonces el módulo CPU resetea el bit OK y empieza a realizar las medidas de los sensores (medida “analógica” y/o “digital”).

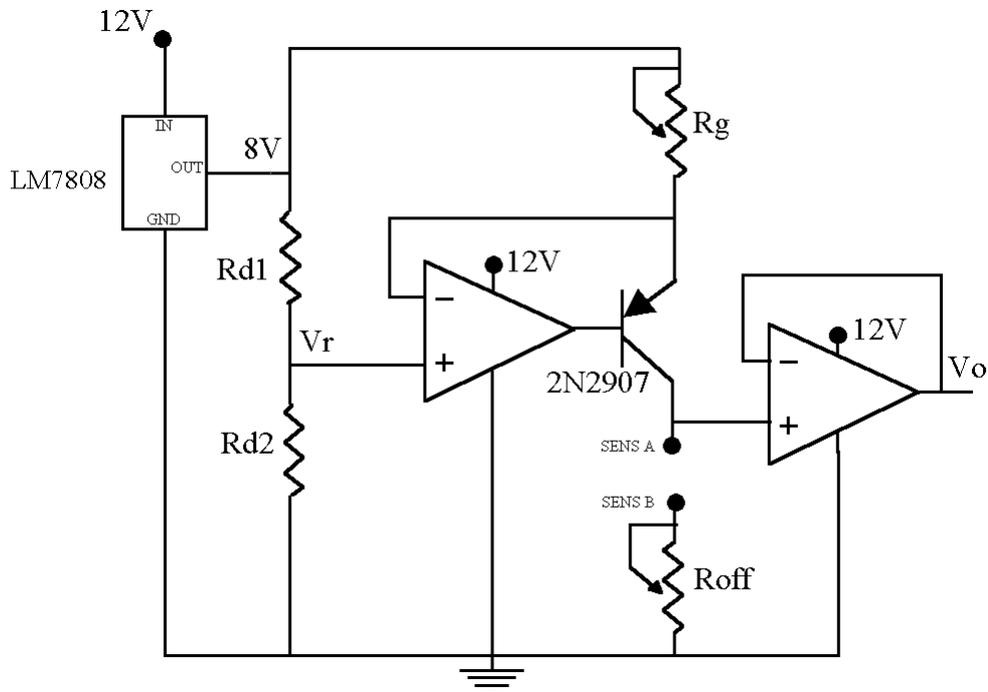
El tercer bit es CS<2> (OVF) que es el bit de overflow, y se activa cuando se satura el contador que se incrementa en cada impulso que se recibe de un sensor “digital”. En ese instante el módulo CPU debería poner a nivel bajo este bit y tomar las medidas pertinentes. En realidad este bit no es estrictamente necesario, y por lo tanto no se implementa en estas tarjetas, pudiendo utilizarse en una ampliación del sistema.

Dirección 0x04: El registro de datos (REG_DAT) contiene el dato correspondiente a la medida digital. Contiene el dato de la última medida hasta que se actualiza con el nuevo dato una vez pasado el tiempo de integración correspondiente al sensor “digital”. En el caso de que la medida rebase 255 (overflow) el registro no retorna a 0, sino que se queda con el valor máximo 255.

A continuación se describirá como se realiza la medida “analógica”. Como ya se ha mencionado el sensor está formado por un potenciómetro de $1K\Omega$, conectado como se muestra en la siguiente figura:



A continuación se muestra la forma en que se realiza la medida de la dirección del viento.



Al ser el potenciómetro un sensor resistivo, lo más adecuado es utilizar una fuente de corriente constante regulada mediante el potenciómetro R_g , que va a regular también la ganancia del circuito de acondicionamiento.

La corriente se regula mediante un transistor bipolar PNP (2N2907A) cuya base está conectada a un amplificador operacional realimentado negativamente. La tensión V_r y R_g van a establecer por tanto la corriente que pasa por el sensor, mientras que el offset de tensión se regula mediante el potenciómetro R_{off} . Por último la señal del sensor se hace pasar por un buffer para disminuir la impedancia que presenta, y se transmite la salida por la línea ANx (donde x representa el slot en el que está conectada la tarjeta). La salida del sensor será por lo tanto:

$$V_o = \left[8 \left(1 - \frac{R_{d2}}{R_{d1} + R_{d2}} \right) \frac{1}{R_g} \right] (R_{sens} + R_{off})$$

Siendo R_{sens} la resistencia del sensor, que puede variar entre 0 y 1K. Se toman valores para R_{d1} y R_{d2} de 680 y 4K7 respectivamente, con lo que V_r será de 7 V. La corriente que pasa por el sensor se fija teniendo en cuenta el margen de variación de la señal de salida que será de $5 - 1 = 4V$ (El margen de variación a la entrada del CAD del módulo CPU es de 1 a 5 V):

$$I_s = \frac{5 - 1}{1K} = 4mA$$

$$R_g = \frac{8 - V_r}{I_s} = 250\Omega$$

Además se debe añadir un offset de 1 voltio para adaptar la señal al margen de variación del CAD del módulo CPU, con lo que R_{off} será:

$$R_g = \frac{1V}{4mA} = 250\Omega$$

A continuación se describirá un método para la calibración en campo de este sensor:

- 1°.- Variar el potenciómetro-sensor hasta que presente 0Ω (o cortocircuitarlo)
- 2°.- Variar el potenciómetro R_{off} hasta que V_o sea de 1V.
- 3°.- Variar el potenciómetro-sensor hasta que presente una resistencia de 1K.
- 4°.- Variar el potenciómetro R_g hasta que V_o sea de 5V.
- 5°.- Asegurarse de que el sensor ha quedado correctamente calibrado. Si no es así, los amplificadores operacionales podrían encontrarse en saturación, con lo que la corriente que consumen es elevada, existiendo la posibilidad de que se puedan dañar a largo plazo.

Por tanto tras esta calibración, la función de transferencia del circuito completo será:

$$V_o = \left(\frac{R_{sens}}{250\Omega} + 1 \right) \times 1V$$

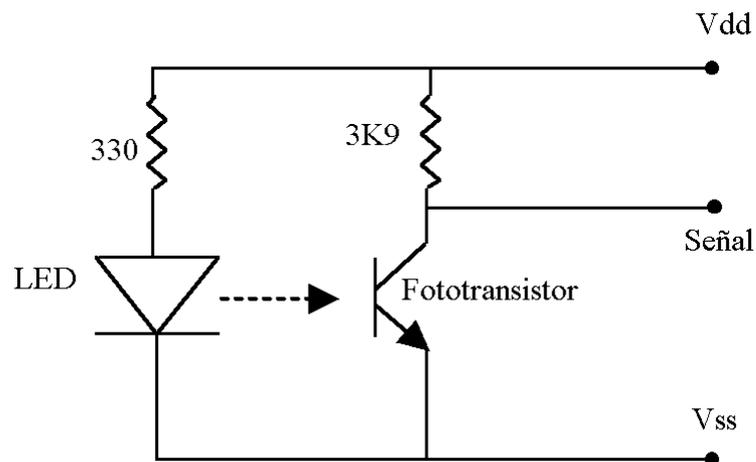
La medida posteriormente será convertida por el módulo CPU a través de un convertidor analógico/digital con una resolución de 10 bits:

$$resolución = \frac{360^\circ}{2^{10}} = 0,35^\circ$$

En cuanto a la elección de los amplificadores operacionales se ha elegido el CA358 teniendo en cuenta que el error cometido en la salida (V_o) debido a la estabilidad temporal ni las derivas térmicas del operacional superen $\frac{1}{2}$ del bit menos significativo al realizar la conversión AD por el CAD incorporado en el módulo CPU:

$$Error_{(max)} = \frac{1}{2} LSB = \frac{1}{2} \frac{360^\circ}{2^{10}} = 0,17^\circ$$

Ahora se pasará a describir la medida de la velocidad del viento. El circuito de polarización del LED y del fototransistor que se utilizan como sensor se muestra a continuación:



La corriente que pasará por el LED será

$$I = \frac{5 - 0,6}{330} = 13mA$$

que es suficientemente alta como para reconocer la necesidad de utilizar un sistema de conmutación cuando se desactive el sensor cuando no se realice medida alguna.

Cuando el encoder deja “impactar” la luz del LED sobre la base del fototransistor, éste entra en saturación, y la salida del sensor será de casi 0V. Cuando el encoder no deja pasar la luz, el transistor estará en corte, y la salida será de casi 5V. La señal del sensor está conectada directamente al puerto (configurado como entrada) RA4 del PIC16F84A. Este puerto cuenta con un disparador de Schmitt que rechaza el ruido presente en la medida debido a su conmutación con histéresis a 1 y 4V.

El PIC se encarga entonces de detectar los flancos ascendentes y descendentes de la señal y se contabilizan acumulando las ocurrencias en un byte (un registro acumulador). Esta cuenta se realiza durante un instante de tiempo programado en el PIC, y en el caso de la cuenta de pulsos procedentes del anemómetro es de 0,5 seg. Cuando termina este instante de tiempo, se activa el bit OK del registro CS de la tarjeta, se almacena la cuenta en el registro de datos de la tarjeta (para que el módulo CPU pueda leer el dato), y se resetea el registro acumulador. La relación entre los flancos contabilizados y la velocidad del viento será:

$$V[Km/h] = \frac{\text{Flancos Contabilizados}}{2 \times \text{Ranuras Encoder}} \times K \times \frac{1}{0,5 \text{seg}} \quad K = \left[\frac{Km/h}{rev/seg} \right]$$

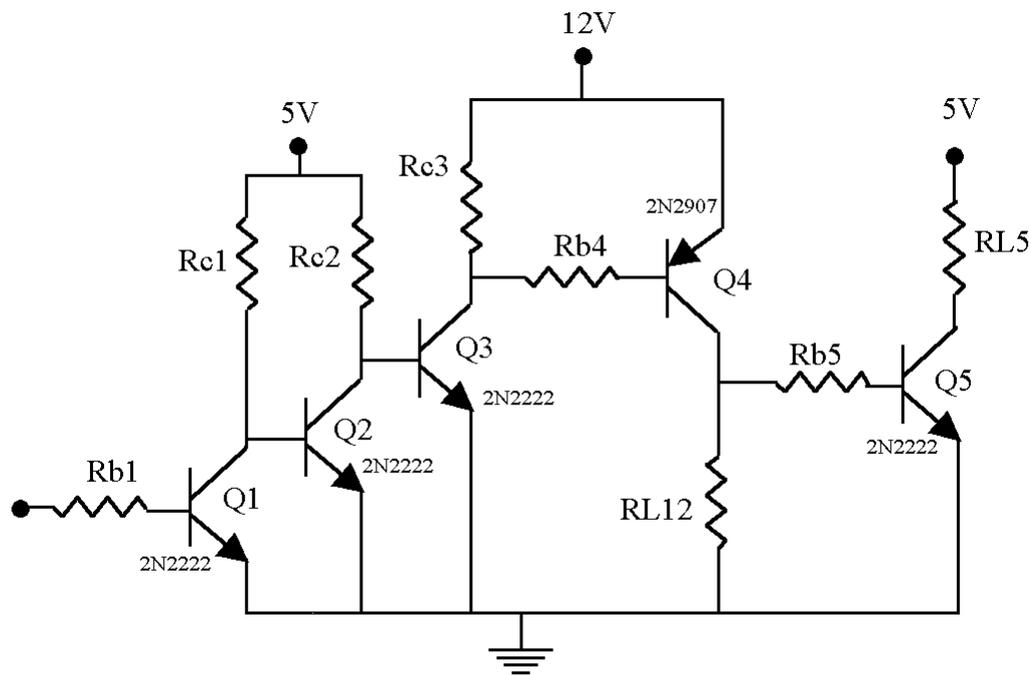
donde K es una constante proporcionada por el fabricante de la parte mecánica del anemómetro, y representa las revoluciones por segundo a la que gira el sensor para una cierta velocidad del viento. Las ranuras del encoder también es un dato que debe aportar el fabricante.

El registro de datos es de 8 bits, con lo que la resolución de la medida será:

$$\text{resolución} = \frac{[Km/h]_{\text{max}}}{256}$$

Si el acumulador llega al final de la cuenta (0xff) y no ha terminado el tiempo de integración, si se detecta un nuevo flanco se toma el valor de saturación 0xff y no se resetea a 0x00.

Como ya se ha mencionado, se necesita una forma de conmutar los dos sensores y desactivarlos cuando el módulo CPU no esté realizando medidas, con el fin de ahorrar potencia, ya una posible implementación del módulo de potencia de la estación metereológica sería el uso de un sistema fotovoltaico con acumuladores, por lo que el consumo de potencia debe minimizarse. La forma en que se ha realizado esta conmutación no es la más eficiente, pero cumple los objetivos planteados para éste prototipo.



RL1 representa la carga que ofrece el circuito de acondicionamiento del sensor de la veleta y RL2 es la carga que ofrece el sensor del anemómetro, ambos ya descritos anteriormente.

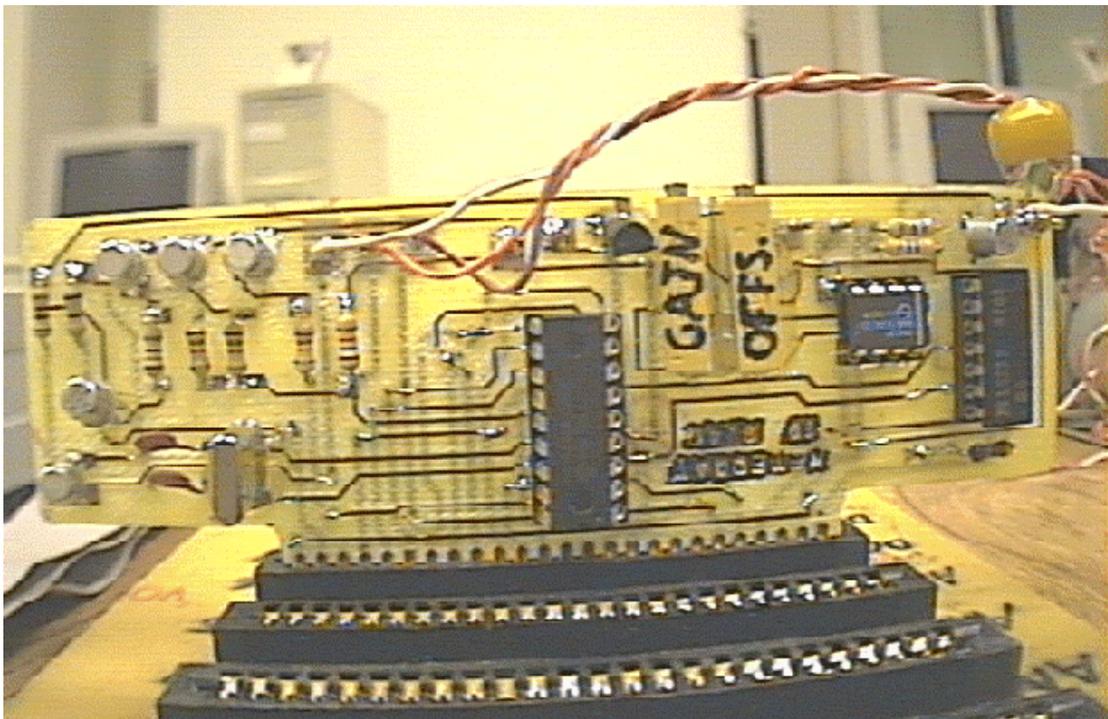
Los valores tomados para las resistencias son los siguientes:

Rb1	Rc1	Rc2	Rc3	Rb4	Rb5
330	15K	15K	6K8	820	820

El circuito lleva tensión a los sensores cuando se ponen 5 V en la resistencia Rb1. En ese caso Q1 entra en saturación (Por la base circula una corriente de $(5-0,8)/330 =$

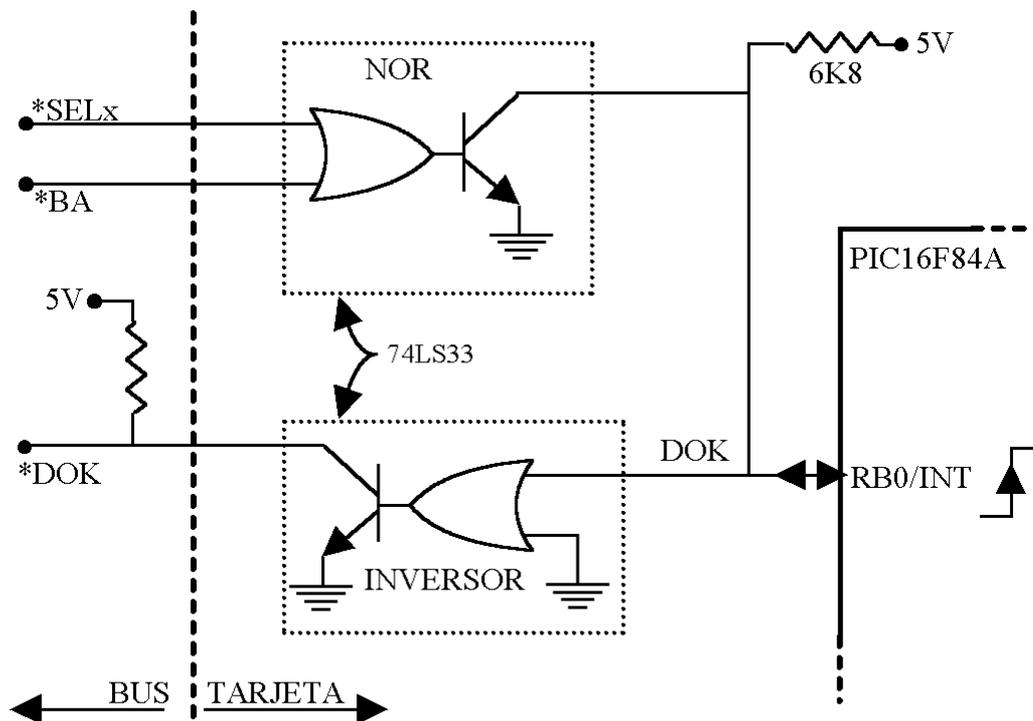
13mA)), Q2 estará en corte y Q3 estará en saturación, con lo que V_{ce3} será de 0,2 V, y por lo tanto Q4 entrará en saturación ($I_{b4}=(12-0,8-0,2)/820=13\text{mA}$) y la carga RL1 estará alimentada. En este momento Q5 también estará en saturación ($I_{b5} = (12-0,2-0,8)/820=13\text{mA}$), con lo que la carga RL2 también tendrá tensión de alimentación.

A continuación se muestra una imagen del prototipo creado de la tarjeta de adquisición, insertada en una ranura analógica (que posee la línea analógica ANx) del bus asíncrono de 8 bits:



3.7.1.1. GESTION DEL BUS

El PIC16F84A debe atender todos los accesos que el módulo CPU realice sobre la tarjeta en cuestión para acceder sus respectivos registros. Revisando el cronograma del bus podemos observar que en todos los accesos se necesita una coordinación entre el módulo CPU (en esta sección maestro del bus) y la tarjeta (esclavo del bus) mediante las señales *SELx y *DOK. La conexión del bus con el PIC16F84A se realiza por medio de un buffer con 4 puertas NOR de dos entradas en colector abierto (74XX33). Este intermediario es necesario cuando se necesita llevar a cabo una economía de pines en un microcontrolador con pocos puertos E/S como es el PIC16F84A. De esta forma, se ha optimizado el número de pines del microcontrolador hasta el punto de que con un sólo puerto de E/S se puede gestionar el bus.



Cuando el maestro inicia la transferencia pone la señal *SELx a nivel bajo (suponiendo que la señal *BA estaba a nivel bajo), con lo que la señal DOK se pone a nivel alto, y

*DOK se pone a nivel bajo, con lo que el maestro puede detectar que la tarjeta está insertada en el slot.

La activación de la señal *SELx también provoca una interrupción en el PIC16F84A provocada por el flanco ascendente de la señal DOK. El PIC puede entonces “despertar” del estado “stand by” provocado por la previa ejecución de la instrucción SLEEP. La rutina de atención de la interrupción implementará entonces el protocolo de acceso al bus.

Lo primero que hace el PIC es configurar el puerto RB0 como salida y ponerlo a nivel bajo (como está conectado a un colector abierto no hay ninguna colisión de señales), lo que provoca que la señal *DOK se ponga a nivel alto y el maestro pueda comprobar que el esclavo puede continuar la transferencia.

En este momento el PIC muestrea las líneas R/*W y D/*A, y acto seguido muestrea las líneas de datos D0-D7 si el maestro está realizando una escritura o pone el dato si el maestro está realizando una lectura.

Acto seguido el PIC16F84A pone la señal DOK a nivel alto y establece la señal RB0/INT como una entrada. De esta forma el maestro detecta el flanco de bajada de *DOK y muestrea las líneas de datos si el ciclo es de lectura.

Luego el maestro pone las líneas *SELx, R/*W y D/*A a nivel alto para indicar la finalización del acceso al bus, con lo que la señal DOK se pone a nivel bajo y la tarjeta libera la señal *DOK (y permitiendo posteriores accesos al bus por otras tarjetas) poniéndola a nivel alto.

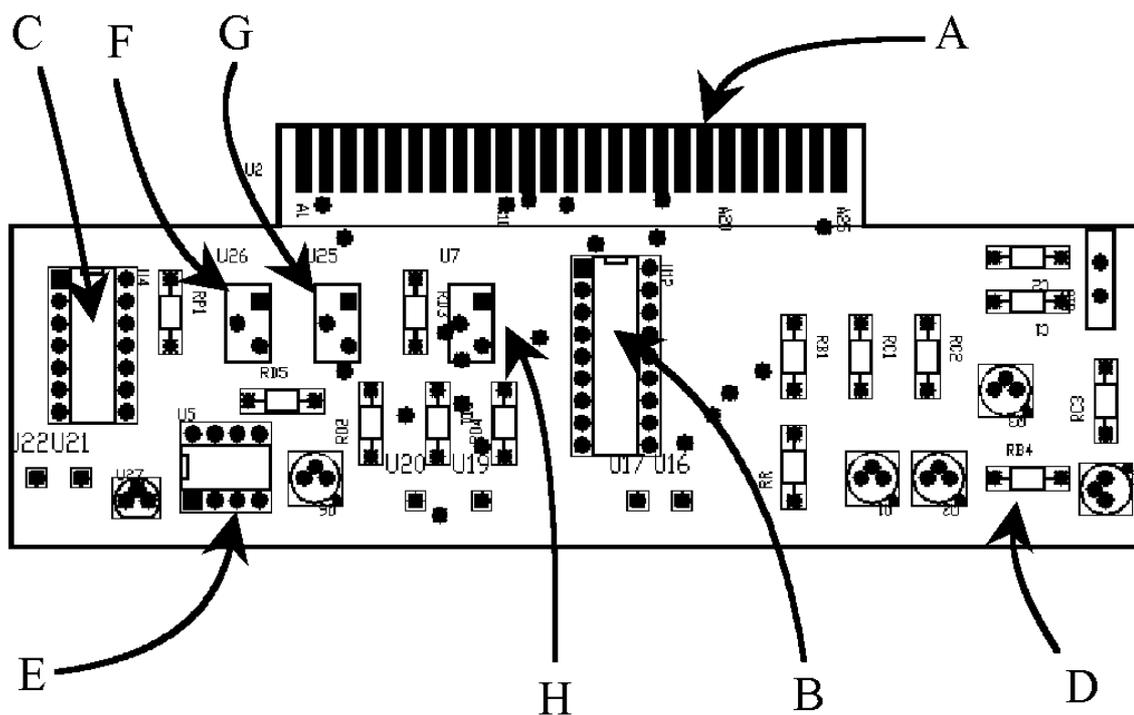
El problema del integrado 74LS33 es que su consumo estacionario puede ser alto (hasta 7 mA), con lo que se recomienda utilizar otra serie CMOS de bajo consumo como por ejemplo el 74HC33.

En definitiva, al PIC16F84A de esta tarjeta (y de las otras tres tarjetas diseñadas para poner a prueba este prototipo, y que utilizan este mismo esquema) le llegan las señales del bus D0-D7, R/*W, D/*A y DOK, por lo que aun quedan 2 puertos de los 13

disponibles. Uno de ellos es la señal POW que como ya se ha visto se usa para conmutar la tensión de alimentación de los sensores que consumen una potencia relativamente grande. La otra señal es la señal SIGNAL, que se utiliza para integrar temporalmente durante un instante de tiempo, series de pulsos procedentes de aquellos sensores que ofrezcan salidas en serie del tipo todo/nada, como por ejemplo conmutadores, detectores de presencia, etc.

3.7.2. MEDIDA DE TEMPERATURA

Esta tarjeta realiza solamente la medida de la temperatura mediante una sonda Pt100 en un rango de -40 a $+80$ C. Al ser un sensor resistivo con una resistencia nominal de 100Ω , se polarizará mediante una corriente constante. La salida del circuito de acondicionamiento se conecta directamente a la línea ANx del slot de la tarjeta para que el módulo CPU pueda realizar la conversión AD y almacenar el dato. A continuación se muestra un diagrama esquemático de la tarjeta.



- A.- Conector de 50 contactos para insertar la tarjeta en el bus asíncrono de 8 bits.
- B.- Microcontrolador PIC16F84 funcionando con una frecuencia de reloj de 2MHz (el oscilador es de 8MHz), que se encarga de gestionar el acceso al bus, así como de conmutar el sensor de temperatura, desconectándolo cuando no se realice medida alguna.
- C.- 74xx33. 4 buffer con salida en colector abierto NOR, utilizado para gestionar las señales de arbitraje del bus asíncrono.
- D.- Circuito de conmutación de sensores basado en transistores bipolares.

E.- CA358. Consiste en un integrado que contiene dos amplificadores operacionales. Se va a utilizar como parte del circuito de acondicionamiento del sensor de temperatura.

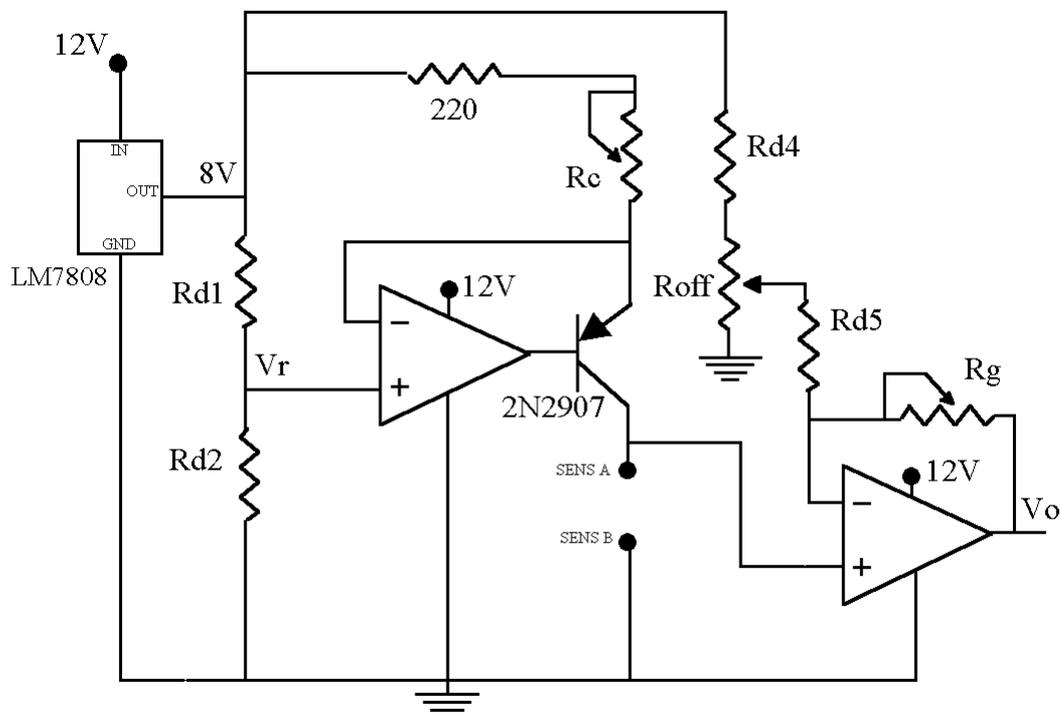
F.- Potenciómetro de ajuste de la Ganancia para el circuito de acondicionamiento del sensor resistivo de temperatura Pt100.

G.- Potenciómetro de ajuste del Offset del circuito de acondicionamiento para el sensor resistivo de temperatura Pt100.

H.- Potenciómetro de ajuste de la corriente constante que atraviesa el sensor resistivo de temperatura Pt100.

La parte digital la forma como en el caso anterior un microcontrolador PIC16F84A y un 74XX33 (buffer 4 x NOR de 2 entradas en colector abierto). La tarjeta contiene el mismo mapa de registros que la tarjeta anterior. La diferencia es que en este caso no se realiza ninguna medida por integración temporal de secuencia de pulsos, con lo que el registro de datos (dirección 0x04) no se utiliza, y el bit OK del registro CS siempre está activo (el módulo CPU podrá leer el dato en cualquier instante una vez haya activado el sensor mediante el bit POW del registro CS).

El circuito de acondicionamiento se muestra en la siguiente figura:



El circuito es muy parecido al de la tarjeta descrita anteriormente. En este caso R_{d1} es de 6K8, R_{d2} de 4K7 y R_{d4} de 680Ω , con lo que V_r será en este caso de 3,27V. La corriente que pasa por el sensor se fija en 14 mA (si fuera mas alta el autocalentamiento del sensor falsearía la medida, y si fuera mas baja el ruido que se añade en tensión a la salida del sensor afectaría a la precisión de la medida), con lo que la resistencia R_c tendrá que ser la siguiente:

$$R_c = \frac{8 - 3,27}{14mA} - 220 = 117,9\Omega$$

El segundo amplificador operacional proporciona un ajuste de ganancia y offset para ajustar la medida al rango de entrada del CAD del módulo CPU (de 1 a 5V). La resistencia R_{off} ofrece la tensión de referencia de offset (V_{off}), mientras que la resistencia R_g regula la ganancia. La expresión de la tensión salida del circuito de acondicionamiento se muestra a continuación:

$$V_o = \frac{8 \left(1 - \frac{R_{d2}}{R_{d1} + R_{d2}} \right)}{220 + R_c} \left(\frac{R_g}{R_1} + 1 \right) R_{sens} - \frac{R_g}{R_1} V_{off}$$

La ganancia que debe proporcionar R_g se calcula teniendo en cuenta el rango de variación de la tensión de salida del sensor, y el rango de entrada del CAD del módulo CPU:

$$R_{sens}(80C) = 130,8\Omega \text{ (ver tabla en datasheet del sensor del CDROM)}$$

$$R_{sens}(-40C) = 84,6\Omega$$

$$G = \frac{5 - 1}{14mA \times 130,8 - 14mA \times 84,6} = 6,18$$

Con lo que fijando $R_1=10K$

$$6,18 = \frac{R_g}{R_1} + 1 \longrightarrow R_g = 51,8K$$

La tensión V_o mínima (cuando $T = -40C$) será $V_o \text{ min} = 14mA \times 84,6 \times 6,18 = 7,31V$

Con lo que será necesario restar 6,31 V para tener la mínima tensión a la entrada del CAD, con lo cual:

$$6,31 = \frac{R_g}{R_1} V_{off} \longrightarrow V_{off} = 1,2V$$

Como en el caso de la medida de la dirección del viento, en este caso la resolución de la medida será de 10 bits, o lo que es lo mismo:

$$resolución = \frac{80 - (-40)}{2^{10}} = 0,12C$$

En cuanto a la elección de los amplificadores operacionales se ha elegido el CA358, como en la anterior tarjeta, teniendo en cuenta que el error cometido en la salida (V_o) debido a la estabilidad temporal ni las derivas térmicas del operacional superen $\frac{1}{2}$ del bit menos significativo al realizar la conversión AD por el CAD incorporado en el módulo CPU:

$$Error_{(max)} = \frac{1}{2} LSB = \frac{1}{2} \frac{80 - (-40)}{2^{10}} = 0,06C$$

A continuación se describirá un procedimiento de calibración en campo del circuito de acondicionamiento:

- 1°.- Sustituir la sonda de temperatura por una resistencia conocida de 47Ω .
- 2°.- Variar el potenciómetro R_c hasta que la tensión entre extremos de la resistencia anterior sea de $47\Omega \times 14mA = 0,658V$. En este paso la corriente de polarización del sensor estará ajustada.
- 3°.- Variar el potenciómetro R_{off} hasta maximizar V_o (es decir $V_{off}=0$).
- 4°.- Variar R_g hasta conseguir que $V_o=47\Omega \times 14mA \times 6,18 = 4,07V$. En este momento la ganancia ya está ajustada.
- 5°.- Medir la resistencia actual del sensor (procurando mantenerlo a temperatura constante). Luego se sustituye de nuevo la resistencia por el sensor.

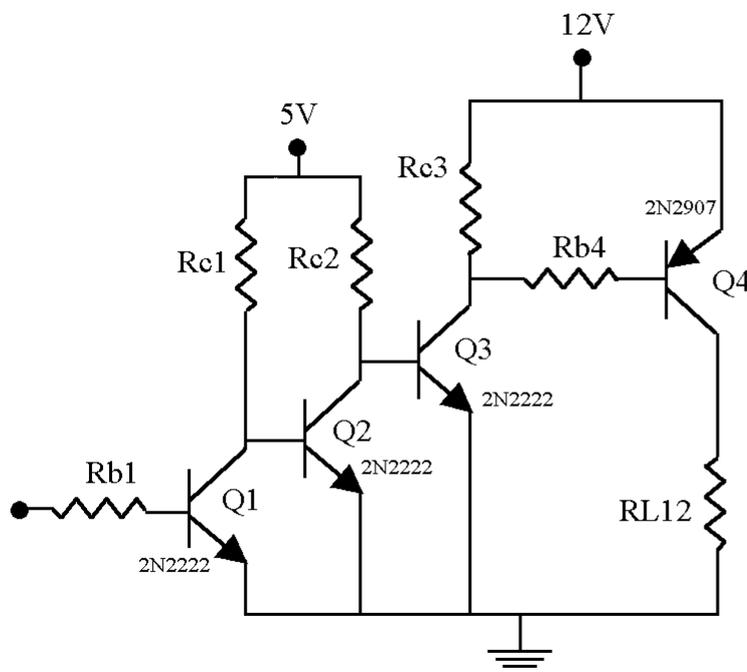
6°.- Variar el potenciómetro R_{off} hasta que $V_o = R_{sens} \times 14\text{mA} \times 6,18 - 6,31$, o lo que es lo mismo, hasta que $V_{off} = 1,2$. En este momento el offset estará ajustado.

7°.- Asegurarse de que el sensor ha quedado correctamente calibrado. Si no es así, los amplificadores operacionales podrían encontrarse en saturación, con lo que la corriente que consumen es elevada, existiendo la posibilidad de que se puedan dañar a largo plazo.

La función de transferencia del circuito de acondicionamiento, una vez realizada esta calibración es la siguiente:

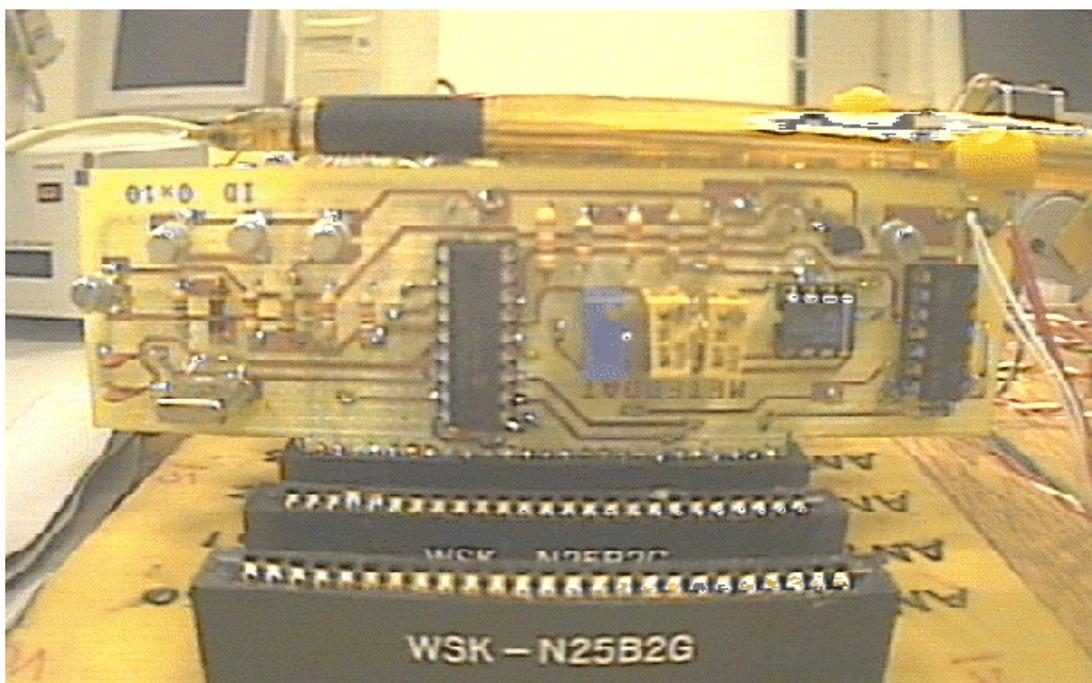
$$V_o = \frac{(5 - 1)V}{(130,8 - 84,6)\Omega} R_{sens} + 1V$$

De igual forma que en la tarjeta anterior se necesita un circuito de conmutación para desactivar la sonda de temperatura cuando no se realice medida alguna, puesto que 14mA de corriente sobre 12 V de alimentación suponen 0,17 W solamente en la polarización del sensor. El circuito de conmutación propuesto se basa también en transistores bipolares y es similar al utilizado en la tarjeta anterior:



En este caso, a diferencia de la anterior tarjeta, solamente se conmuta la tensión de 12V, con lo que se ahorra el transistor que conmuta la tensión de 5V.

A continuación se mostrará una imagen panorámica del prototipo terminado de esta tarjeta de adquisición, que se encuentra insertada en un slot “analógico” (que contiene una línea ANx de adquisición de datos analógicos).



3.7.3. MEDIDA DE HUMEDAD RELATIVA Y PLUVIOMETRÍA

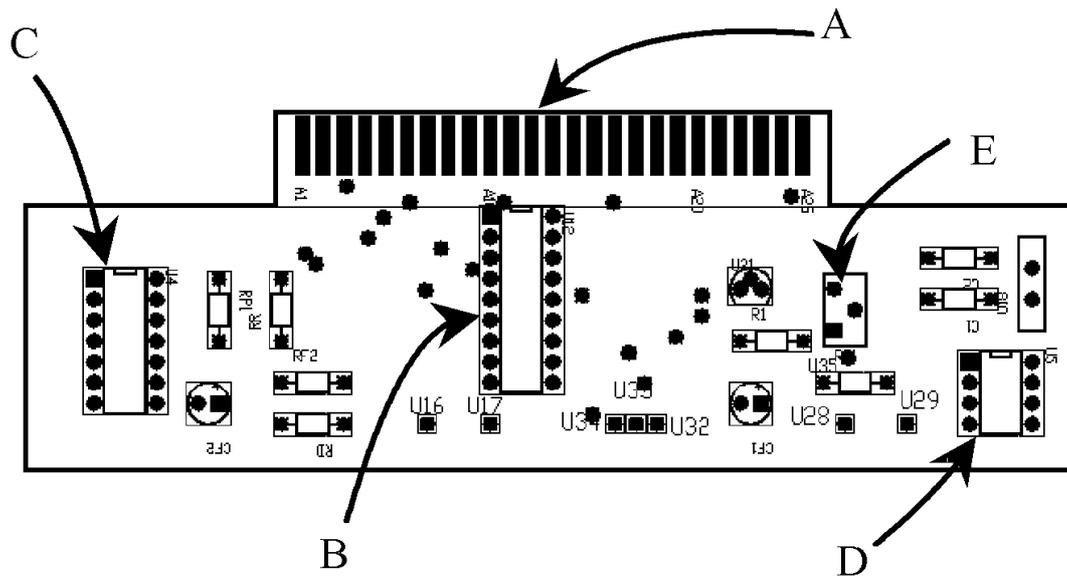
Esta tarjeta se encarga de realizar mediciones de la humedad relativa del aire y de la cantidad de lluvia por metro cuadrado que se precipita.

La medición de la humedad relativa se lleva a cabo mediante el sensor HIH3605 de la casa Honeywell mientras que la medida pluviométrica se realiza utilizando un embudo con un área predeterminada que concentra el “meteorito” precipitado. Posteriormente el caudal es recogido por un balancín, que al llenarse bascula el agua y da una medida que es recogida por la tarjeta de adquisición. De esta forma el caudal de agua se integra temporalmente para dar una medida de la cantidad de lluvia nieve o granizo caído por unidad de superficie.

La salida del circuito de acondicionamiento del sensor correspondiente al higrómetro se lleva directamente a la línea ANx de la tarjeta con el fin de que el módulo CPU se encargue de muestrearla, digitalizarla y almacenarla en su memoria local. Por tanto la medida de la humedad relativa es una medida “analógica”, como se ha descrito en apartados anteriores.

La medida del sensor pluviométrico corresponde sin embargo a una medida “digital”, ya que la tarjeta de adquisición se va a encargar de integrar temporalmente los pulsos provenientes conmutador conectado al balancín del sensor. La medida tomada estará disponible a través del bus de datos, en el registro de datos (dirección 0x04) de la tarjeta de adquisición. El registro de datos no se actualiza con una nueva medida hasta que ha terminado el tiempo de integración, manteniendo hasta entonces el dato tomado de la anterior medida.

A continuación se mostrará un diagrama esquemático de la tarjeta, detallando cada componente.



A.- Conector de 50 contactos para insertar la tarjeta en el bus asíncrono de 8 bits.

B.- Microcontrolador PIC16F84 funcionando con una frecuencia de reloj de 2MHz (el oscilador es de 8MHz), que se encarga de gestionar el acceso al bus, así como de integrar temporalmente los pulsos correspondientes al sensor del pluviómetro.

C.- 74xx33. 4 buffer con salida en colector abierto NOR, utilizado para gestionar las señales de arbitraje del bus asíncrono.

D.- CA358. Consiste en un integrado que contiene dos amplificadores operacionales. Se va a utilizar como parte del circuito de acondicionamiento del sensor del higrómetro.

E.- Potenciómetro de ajuste de Ganancia para el circuito de acondicionamiento del sensor de humedad relativa HIH3605.

La parte de naturaleza digital de la tarjeta (interface de comunicación con el bus asíncrono de 8 bits) es exactamente igual que las anteriores tarjetas.

En cuanto al sensor del balancín va a estar formado por un conmutador que se cierra cada vez que el balancín bascula el agua que ha recibido. Para evitar “rebotes” y por lo tanto detectar “falsos basculamientos” se utiliza un filtro “basa baja” formado por la resistencia Rf2 y el condensador Cf2 de forma que el condensador se descarga a través de la resistencia. Por lo tanto la constante de tiempo del filtro será:

$$Rf2=220\Omega$$

$$Cf2=0,1\mu F$$

$$T = Rf2 \times Cf2 = 22\mu seg$$

suficiente para evitar los rebotes del interruptor, que son de alta frecuencia. Una vez que el balancín retorna a su posición normal, el interruptor se abre, y entonces el condensador se comienza a cargar a través de la resistencia Rd con una constante de tiempo mayor:

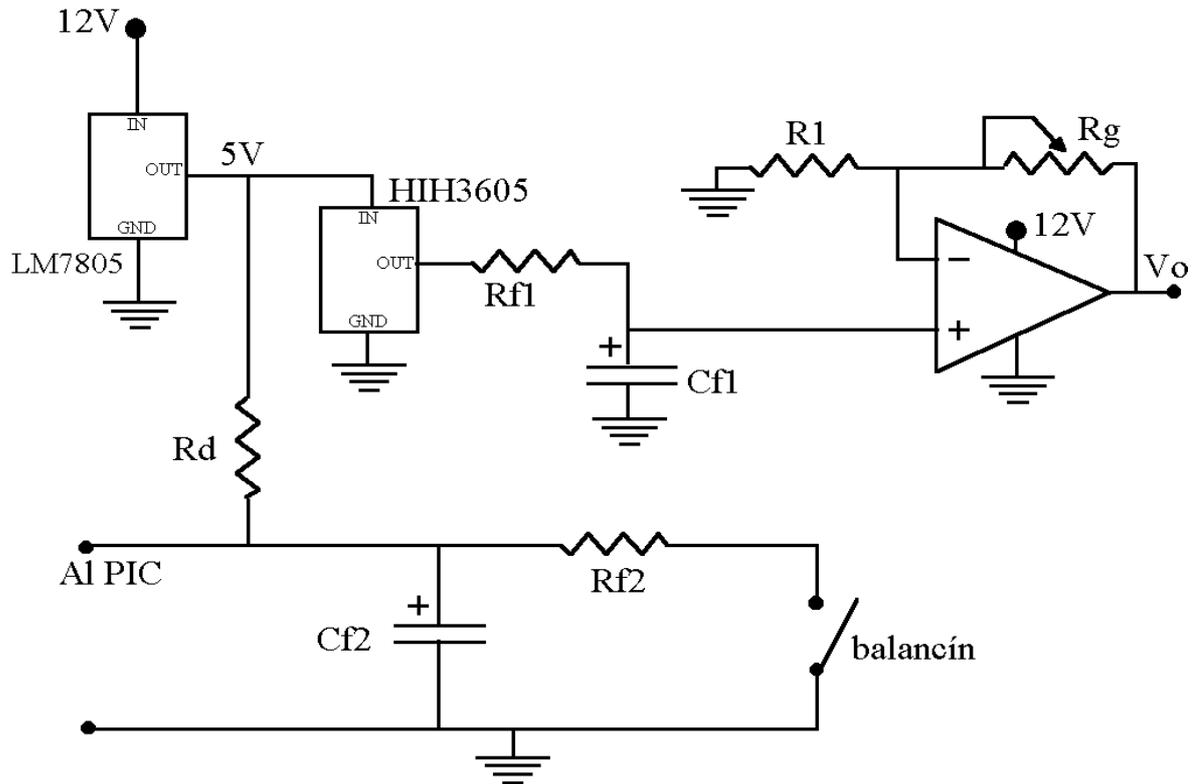
$$Rd=10K\Omega$$

$$T = Rd \times Cf2 = 1mseg$$

El hecho de que esta constante es unas 20 veces mayor es debido a que se puede filtrar con mayor eficacia el ruido procedente del sensor cuando está abierto, ya que la mayor parte del tiempo estará en este estado, y por tanto no existe el problema de que no se haya cargado completamente el condensador cuando se vuelve a cerrar el interruptor.

El microcontrolador que se utiliza para contar los pulsos del balancín es, como en las anteriores tarjetas, el PIC16F84A. Se cuentan los flancos ascendentes y descendentes, como en el caso del anemómetro de la primera tarjeta presentada. Por lo tanto se pueden contar de 1 a 127 basculamientos del balancín, ya que el acumulador es de 8 bits.

El circuito de acondicionamiento del sensor de humedad relativa y del conmutador del balancín del pluviómetro se muestran en la siguiente figura.



Si suponemos que un equipo comercial formado por el embudo que recoge la lluvia, y un balancín que bascula K veces por cada litro/m^2 , y que la máxima velocidad de “basculamiento” del balancín es S veces por minuto (K y S son datos del fabricante). Además el tiempo total durante el cual se integran pulsos es de 1 minuto, luego entonces el fondo de escala y la resolución que se obtiene es la siguiente:

$$FS = \frac{S \times 1 \text{ min}}{K}$$

$$\text{resolución} = \frac{FS}{\frac{256 \text{ pulsos}}{2 \text{ pulsos / basculamiento}}}$$

En cuanto a la medida de humedad relativa, a la salida del sensor HIH3605 también se le incorpora un filtro pasa baja, formado por la resistencia $Rf1$ y el condensador $Cf1$. Es necesario utilizar este filtro debido a que la salida del sensor HIH3605 es en alta impedancia, y el ruido se suma con facilidad a la línea que conecta el sensor con la tarjeta de adquisición. La constante de tiempo del filtro será entonces:

$$Rf1 = 100K\Omega$$

$$Cf1 = 0,01\mu F$$

$$T = Rf1 \times Cf1 = 1ms$$

El sensor HIH3605 presenta una salida lineal entre 0,8V (para cualquier temperatura) y 4V (para unos 16C), por lo que solamente es necesario un ajuste de ganancia para adaptar su salida al margen de variación de tensión de entrada del CAD (1 a 5V) del módulo CPU:

$$G = \frac{5}{4} = \frac{1}{0,8} = 1,25$$

Por lo que no es necesario hacer un ajuste de offset. El único problema que presenta este sensor es el error que presenta la medida con la temperatura. Como el máximo error se produce para humedades relativas próximas al fondo de escala (humedad del 100%), y este error no supera el 2% para las temperaturas habituales de funcionamiento, entonces

no hay necesidad de realizar un ajuste electrónico con la temperatura. Sin embargo, si la especificación de este error no es suficiente, se puede realizar una compensación por software con la temperatura medida mediante el sensor de temperatura visto en la tarjeta anterior, una vez descargadas las medidas en un ordenador personal.

El circuito de acondicionamiento formado por el amplificador operacional proporciona una ganancia ajustable por la resistencia R_g de la forma:

$$V_o = \left(\frac{R_g}{R_1} + 1 \right) V_{sensor}$$

Por lo que si $R_1 = 100K\Omega$: $G = 1,25 = \frac{R_g}{100K} + 1 \longrightarrow R_g = 25K\Omega$

La calibración de este sensor es sencilla, y simplemente consiste en medir la tensión que genera el sensor a la salida y posteriormente obtener esa tensión multiplicada por 1,25 a la salida del circuito de acondicionamiento. La función de transferencia teórica, una vez

realizada la calibración:

$$V_o = \frac{(5 - 1)V}{100\%} (\text{Hum. Relativa}\%) + 1V$$

Suponiendo que se realiza una calibración correcta, y que se ha corregido (por software, una vez descargados las muestras en un PC) el efecto de la temperatura sobre la medida de la humedad relativa, tendremos la siguiente resolución en la medida.

$$\text{resolución} = \frac{(100 - 0)\%}{2^{10}} = 0,1\%$$

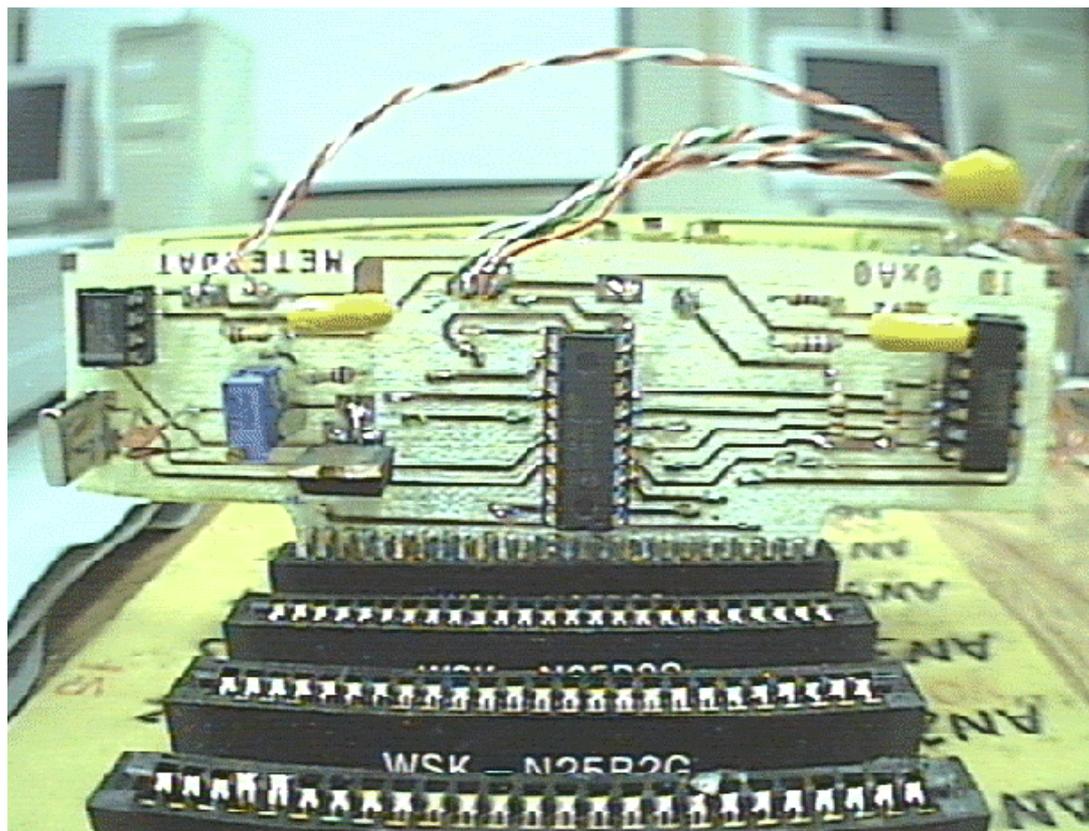
La cual es muy superior a la requerida. Para conseguir esta resolución es necesario que el error en la salida (V_o) cometido debido a las derivas temporales y de temperatura que presentan los amplificadores operacionales no superen la mitad del bit menos significativo del CAD que integra el módulo CPU.

$$\frac{1}{2} \text{LSB} = \frac{1}{2} \frac{(100 - 0)\%}{2^{10}} = 0,05\%$$

El amplificador operacional elegido es por tanto el CA358, como en la anterior tarjeta, teniendo en cuenta que el error cometido en la salida (V_o).

El circuito de detección de pulsos del pluviómetro no consume corriente en su funcionamiento estacionario, y el sensor H1H3605 apenas consume potencia (unos 200uA), por lo que no es necesario utilizar un circuito de conmutación de la tensión de alimentación como en las dos tarjetas analizadas anteriormente.

El prototipo de esta tarjeta se mostrará en detalle en la siguiente imagen. La tarjeta se encuentra insertada en un slot “analógico” (que contiene la línea ANx de adquisición de datos analógicos):



C.- 74xx33. 4 buffer con salida en colector abierto NOR, utilizado para gestionar las señales de arbitraje del bus asíncrono.

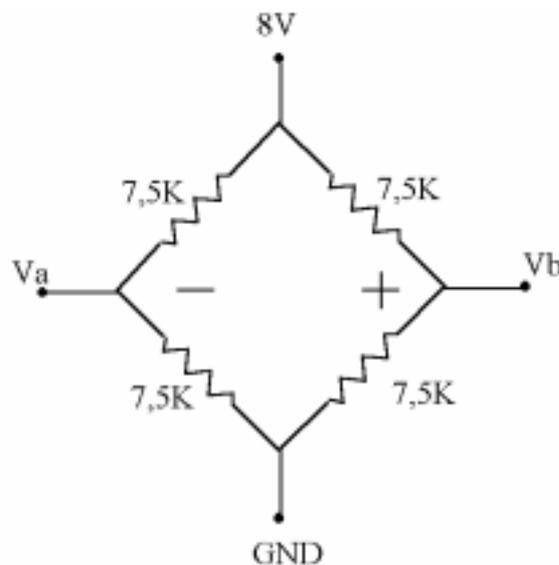
D.- CA358. Consiste en un integrado que contiene dos amplificadores operacionales. Se va a utilizar como parte del circuito de acondicionamiento del sensor de presión.

E.- Potenciómetro de ajuste de Ganancia para el circuito de acondicionamiento del sensor de presión.

F.- Potenciómetro de ajuste de Offset para el circuito de acondicionamiento del sensor de presión.

La parte digital es exactamente igual que en las tarjetas analizadas anteriormente, y consta del 74XX33 y del PIC16F84A.

Como ya se ha comentado el sensor es un puente de Wheastone de resistencia nominal de 7,5 K, y se utilizará una tensión de alimentación estabilizada de 8V, con lo que la corriente que lo atravesará será de $8 / 7,5K = 1,07mA$, suficientemente baja como para que no sea necesario utilizar un circuito de conmutación de la tensión de alimentación que permita desconectar el sensor cuando no se esté realizando medida alguna.



La salida del sensor es diferencial, como se ve en la figura anterior, y los niveles de continua de las tensiones Va y Vb se encuentran en torno a los 4V. Por lo tanto la

amplificación que deber realizar el circuito de acondicionamiento debe ser diferencial a fin de rechazar el nivel de continua de 4V.

El margen de tensiones diferenciales de salida del sensor para el margen de medida se muestran a continuación, suponiendo que la parte del sensor que contiene la presión de referencia se encuentra a 1 atmósfera (el sensor mide presiones diferenciales, luego hay que aislar una de las tomas de aire del sensor para tener una presión de referencia). La tensión de referencia será la presión ambiente a la que se ha sellado una de las cámaras de aire, y normalmente esa presión es desconocida por lo que el calibrado del offset debe realizarse mediante un barómetro que proporcione una presión de referencia real (el proceso de calibración se verá mas adelante).

$$(800 - 1013,32)mbar \times \frac{1atm}{1013,32mbar} \times \frac{14,69psi}{1atm} \times \frac{3,33mV}{1psi} \times \frac{8V}{10V} = -8,24mV$$

$$(1200 - 1013,32)mbar \times \frac{1atm}{1013,32mbar} \times \frac{14,69psi}{1atm} \times \frac{3,33mV}{1psi} \times \frac{8V}{10V} = 7,21mV$$

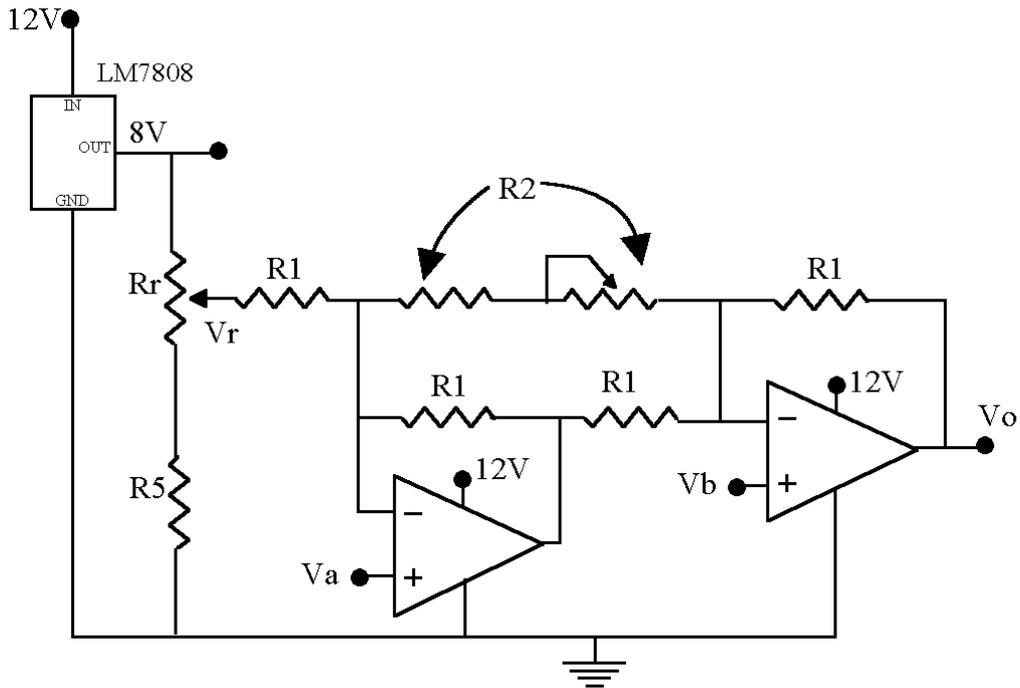
Con lo que el margen de tensiones diferenciales de salida del sensor será la siguiente:

$$\Delta Vd = 7,21mV - (-8,24mV) = 15,45mV$$

Y por lo tanto la ganancia que debe aportar el circuito de acondicionamiento:

$$G = \frac{(5 - 1)V}{15,45mV} = 258,90$$

Se ha implementado el circuito de acondicionamiento de la siguiente forma:



La función de transferencia del circuito es la siguiente:

$$V_o = 2 \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) (V_b - V_a) + V_r$$

Fijando $R_1 = 100K$, como la ganancia ya está fijada, se determinará la resistencia R_2 :

$$G = 258,90 = 2 \left(\frac{100K}{R_2} + 1 \right) \longrightarrow R_2 = 0,778\Omega$$

Con lo que R_2 se implementa mediante una resistencia de 470Ω y un potenciómetro de $1K$ en serie.

El circuito que proporciona la tensión de referencia ajustable V_r , está formado por la resistencia R_5 de $1K$ y el potenciómetro R_r de $10K\Omega$. A continuación se describirá una metodología de calibración del sensor en campo:

- 1°.- Cortocircuitar la salida del sensor.
- 2°.- Fijar mediante el potenciómetro R_r el offset a $1V$.
- 3°.- Quitar el puente realizado a la salida del sensor.
- 4°.- Medir la tensión diferencial V_d que presenta el sensor a la salida.

5°.- Variar el potenciómetro R2 hasta que V_o sea igual a la tensión de salida del sensor $\times 258,9 + 1V$.

6°.- Realizar un ajuste fino del offset mediante un barómetro de referencia que mida la presión atmosférica real, y posteriormente variar R_r hasta conseguir la tensión V_o teórica correspondiente a la presión real.

Una vez realizada esta calibración, la función de transferencia teórica del circuito de acondicionamiento será la siguiente:

$$V_o = \frac{(5 - 1)V}{(1200 - 800)mbar} (\text{PresiónAtmosférica}) + 1V$$

La resolución que se tiene en la medida viene dada, como ya se ha visto en capítulos anteriores por los 10 bits disponibles tras la conversión del CAD situado en el módulo CPU:

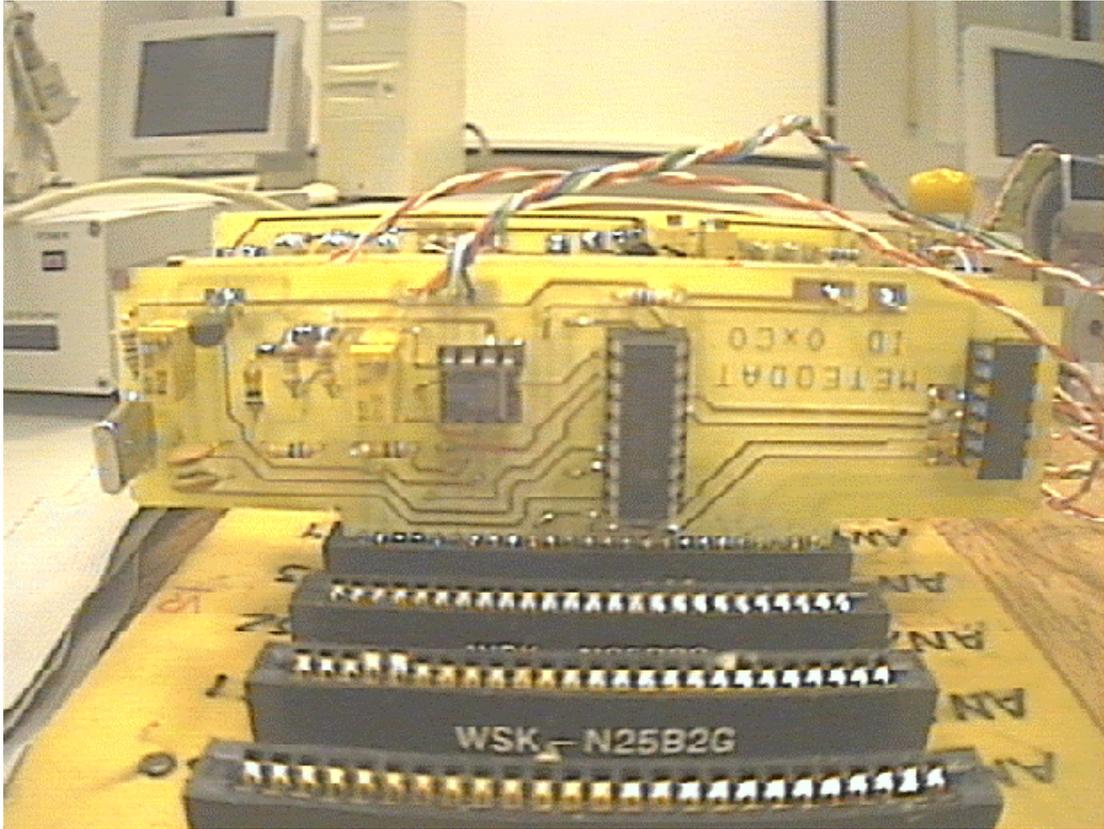
$$\text{resolución} = \frac{(1200 - 800)mbar}{2^{10}} = 0,39mbar$$

Que como se puede apreciar es muy superior a la requerida en las especificaciones.

En cuanto a la elección de los amplificadores operacionales se ha elegido el CA358, como en la anterior tarjeta, teniendo en cuenta que el error cometido en la salida (V_o) debido a la estabilidad temporal ni las derivas térmicas del operacional superen $\frac{1}{2}$ del bit menos significativo al realizar la conversión AD por el CAD incorporado en el módulo CPU:

$$\text{Error}_{(\text{max})} = \frac{1}{2} \text{LSB} = \frac{1}{2} \frac{(1200 - 800)mbar}{2^{10}} = 0,19C$$

Para finalizar la presentación de este prototipo de tarjeta de adquisición se mostrará a continuación una imagen panorámica de la misma, insertada en un slot analógico (es decir, que contiene la línea ANx de adquisición analógica).



4. Programación del Sistema

4.1. PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO CPU

El conjunto de acciones que lleva a cabo la tarjeta correspondiente al módulo CPU están secuenciadas por el microcontrolador PIC16F877, por lo que estas acciones se determinan en la ejecución del programa que se encuentra en la memoria del PIC. El código se ha programado en lenguaje ensamblador y ocupa unas 1600 palabras en la memoria de programa del microcontrolador (un 20% de su capacidad), por lo que aún queda gran cantidad de memoria para implementar futuras ampliaciones del sistema. El compilador utilizado es MPLAB V 2.5 proporcionado gratuitamente por la casa Microchip. A continuación se describirá el funcionamiento de este código, aunque para un estudio de mayor profundidad se adjunta el código comentado en el fichero "CPU.ASM".

En el caso del módulo CPU, el PIC16F877 funciona con una frecuencia de reloj de 16MHz, con lo que el tiempo de ejecución de cada instrucción (excepto las instrucciones de bifurcación que duran dos ciclos) es de $1/(4*16\text{MHz})$, con lo que la frecuencia de reloj efectiva es de 4 MHz.

El estado interno del sistema METEODAT lo determinan los registros de la memoria del timer/alarma PCF8583. Por lo tanto a continuación se explicará someramente el significado de cada uno de ellos, explicándose su utilización por el sistema a lo largo de este capítulo. Los registros con las direcciones 0x00 a 0x0F son propios del timer, y definen el funcionamiento de éste, mientras que los registros con direcciones 0x10 a 0x16 son registros programados que utiliza el PIC16F877 como registros de estado, punteros de direcciones...

CON_EST (dir 0x00). Es el registro de control general de funcionamiento del timer (ver datasheet). El valor por defecto de este registro en el sistema METEODAT es "00000100" con lo que se activa el modo reloj a 32768Hz, se permite la lectura de años y día de la semana y se activa la alarma. Cuando el timer provoca una interrupción el

PIC16F877 debe poner a 0 el bit 1 para que el timer pueda seguir pidiendo interrupciones.

cse (dir 0x01). Uno de los registros de la hora/fecha local. Es el contador de centésimas de segundo (de 0 a 99 en BCD).

Seg (dir 0x02). Uno de los registros de la hora/fecha local. Es el contador de segundos (de 0 a 59 en BCD).

Min (dir 0x03). Uno de los registros de la hora/fecha local. Es el contador de minutos (de 0 a 59 en BCD).

Hor (dir 0x04). Uno de los registros de la hora/fecha local. Es el contador de horas (de 0 a 23 en BCD).

Anno_dia (dir 0x05). Uno de los registros de la hora/fecha local. Es el contador de años (de 0 a 3, teniendo en cuenta que el 0 es año bisiesto) y de meses (1 a 12 en BCD).

Dsem_mes (dir 0x06). Uno de los registros de la hora/fecha local. Es el contador de días de la semana (0 a 6 donde domingo=0) y de meses (del 1 al 12 en BCD).

TEMP (dir 0x07). Es el registro contador. Va a contar los segundos o minutos u horas o días entre cada instante de muestreo de datos meteorológicos. Cuando TEMP llega a valer lo mismo que el registro A_TEMP se activa el bit 1 del registro CON_EST y el timer provoca una interrupción al PIC para que empiece a capturar datos. La activación de la cuenta y las unidades a contar están determinados por el siguiente registro.

CON_AL (dir 0x08). Registro control de alarma (ver datasheet). En el sistema METEODAT se utiliza para controlar la cuenta del registro TEMP y las unidades de cuenta (cuando CON_AL vale 11000xxx donde xxx especifica las unidades a contar). Este registro también se utiliza para configurar el timer para que provoque una interrupción en una fecha concreta (cuando CON_AL vale 10110000), que se programa en los siguientes 6 registros. Cuando estos 6 registros coinciden bit a bit (excepto los campos de día de la semana y año), se provoca la interrupción indicando al PIC16F877 que debe iniciar la cuenta mediante el registro TEMP para la adquisición de datos meteorológicos.

A_cse (dir 0x09). Registro de alarma del contador de centésimas de segundo.

A_seg (dir 0x0A). Registro de alarma del contador de segundos.

A_min (dir 0x0B). Registro de alarma del contador de minutos.

A_hor (dir 0x0C). Registro de alarma del contador de horas.

A_dia (dir 0x0D). Registro de alarma del contador de días.

A_mes (dir 0x0E). Registro de alarma del contador de meses.

A_TEMP (dir 0x0F). Registro de alarma del temporizador.

ESTADO (dir 0x10). Registro de estado interno del sistema METEODAT. Sólo se implementa el bit 1, y como se explicará mas adelante si esta a “1” indica que se ha programado el timer para que inicie la cuenta (mediante el registro TEMP) para adquirir datos, en una fecha concreta. Si vale “0” indica que actualmente se está contando mediante el registro TEMP el intervalo de tiempo entre dos adquisiciones de datos.

CON_AL_BACK (dir 0x11). Es un registro imagen de backup del registro CON_AL. El PIC16F877 copia este registro en el registro CON_AL cuando recibe una interrupción del timer y el bit ESTADO<1> está a “1”. Por lo tanto en ese momento el timer empezará a contar el tiempo entre dos adquisiciones de datos utilizando el registro TEMP (ya que el registro CON_AL_BACK ha sido programado previamente por el PC con el valor “11000xxx”).

DIR_1 (dir 0x12). Parte alta del puntero lineal de 24 bits que apunta a la memoria EEPROM. Se utiliza para realizar acceso a la memoria para guardar los datos meteorológicos adquiridos. Como este acceso es secuencial en direcciones crecientes, este puntero siempre apunta a 1 + la dirección del último dato guardado.

DIR_2 (dir 0x13). Parte media del puntero de 24 bits.

DIR_3 (dir 0x14). Parte baja del puntero de 24 bits.

OP_1 (dir 0x15). Registro de mapa de operación de la medida “analógica” de las tarjetas de adquisición de datos. Si el bit n° x de este registro está a “1” indica que la tarjeta que hay insertada en el slot x (si es que hay una tarjeta insertada) realiza medidas “analógicas”. Este registro, junto con el siguiente, es utilizado por el PIC16F877 cada vez que se realiza una captura de datos para realizar una captura “analógica” o no sobre una tarjeta en concreto.

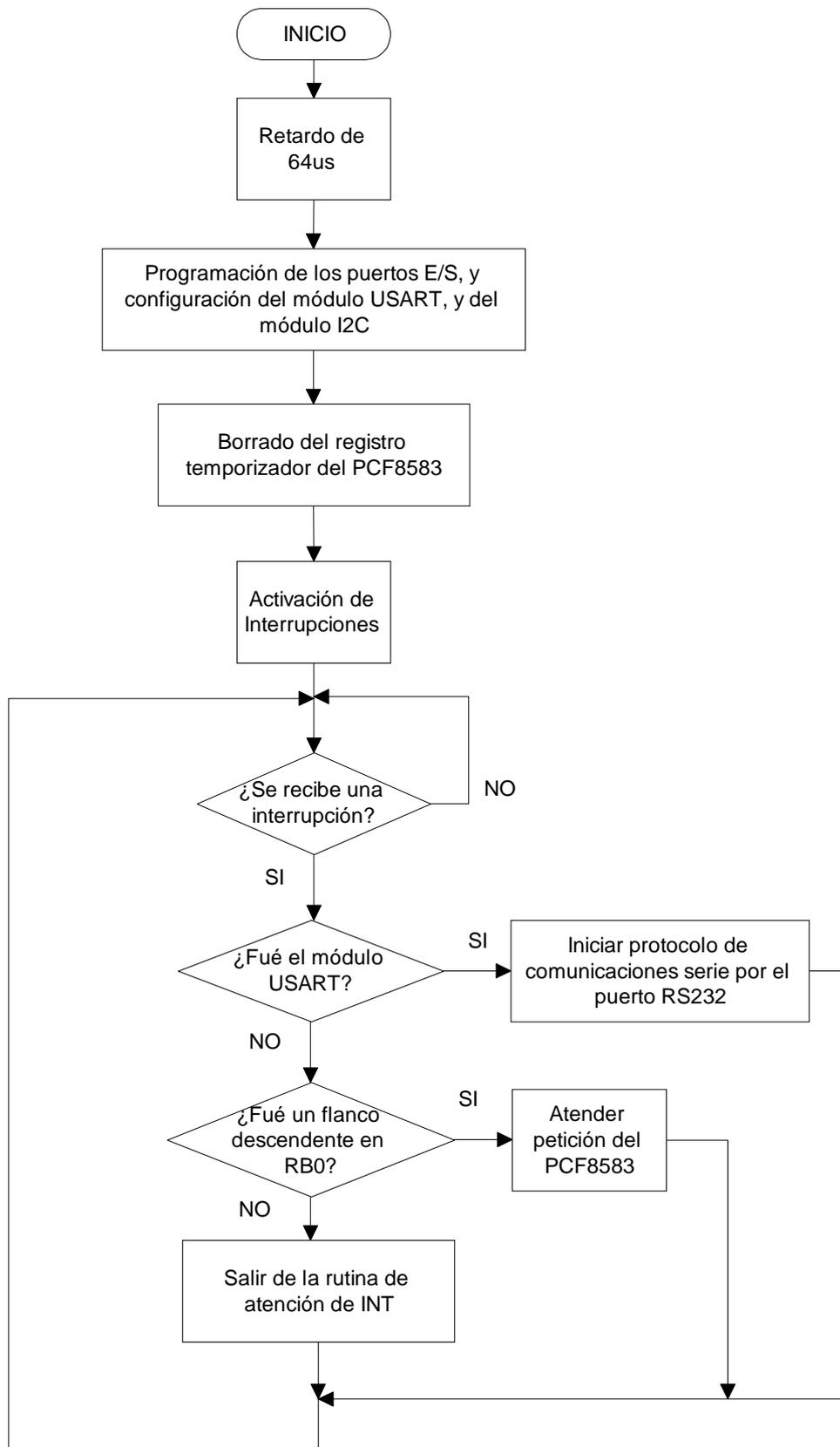
OP_2 (dir 0x16). Este registro equivale al anterior salvo que indica que tarjetas pueden realizar medidas del tipo “digital”.

Como muestra la figura siguiente, el PIC está constantemente a la espera de una interrupción por flanco descendente en el puerto RB0/INT. Una interrupción de este tipo puede ser debida a la recepción de un byte a través del puerto serie de la USART, o a la activación de la señal *INT del temporizador-alarma PCF8583 (aunque las tarjetas de adquisición de datos también pueden pedir interrupciones a través de la línea *INT del bus asíncrono de 8 bits, no se implementa esta posibilidad).

En el primer caso se comienza a ejecutar el protocolo de comunicaciones serie (que se analizará unas páginas mas adelante) con un ordenador personal que se conecta al módulo CPU a través de un puerto RS232. Si se acepta la conexión, se desactiva el temporizador, ya que podría intentar provocar una interrupción para empezar a adquirir datos, que en realidad no se ejecutaría ya que actualmente se esta ejecutando la rutina de interrupción y por lo tanto las interrupciones están inhabilitadas. A continuación continúa ejecutándose el protocolo de comunicaciones.

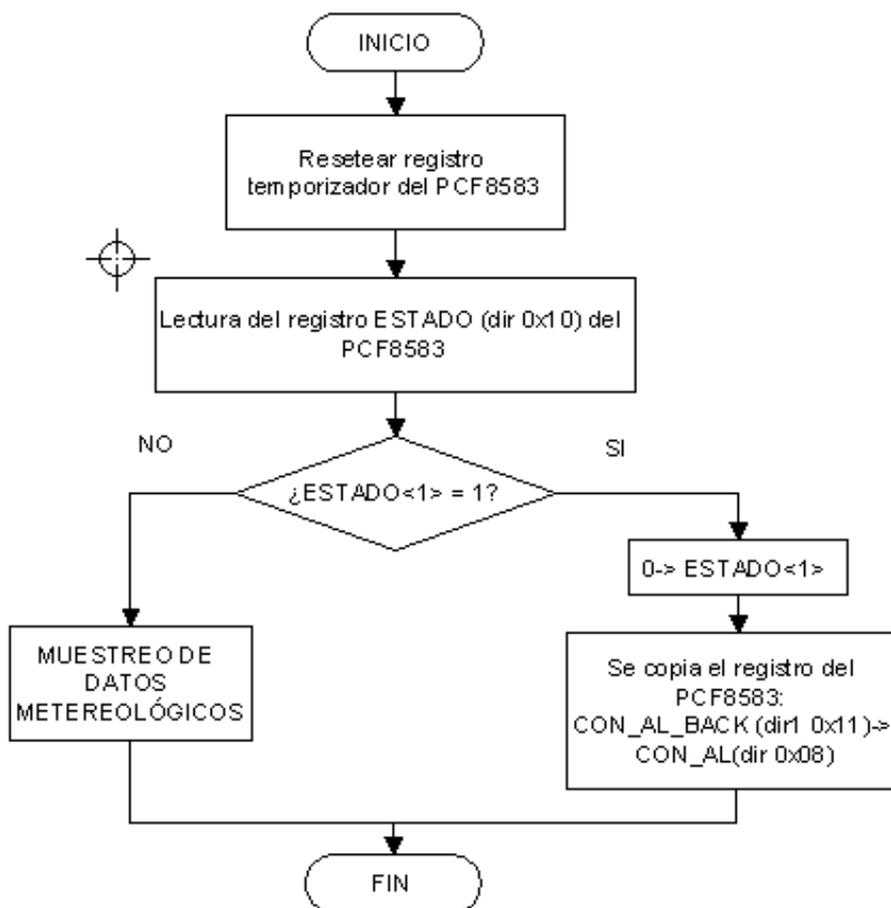
En el segundo caso la interrupción significa que el PCF8583 “avisa” al PIC de que debe comenzar a realizar una secuencia de captura de datos metereológicos.

En ambos casos una vez terminada la adquisición de datos o la comunicación con el PC se termina la rutina de atención de la interrupción.



A continuación, en la siguiente figura se describe como se atiende la interrupción procedente del PCF8583. Lo primero que se hace es resetear el registro temporizador (dir 0x07). Como se puede ver existe el registro ESTADO en la dirección 0x10 del timer, que no es un registro dedicado a las operaciones que realiza éste, sino un registro definido por programación. El PC mediante el protocolo de comunicaciones a activado/desactivado previamente el bit ESTADO<1> para indicar al PIC si debe realizar una de las dos posibles operaciones, cuando posteriormente el PCF8585 active la interrupción.

La primera de estas dos posibles operaciones ocurre cuando ESTADO<1>=0. En este caso el temporizador del timer (dir 0x07), que se ha estado incrementándose continuamente (contando segundos, minutos, horas o días), a alcanzado el valor contenido en el registro de alarma del temporizador (dir 0x0F), indicando que ha pasado el instante de tiempo indicado en el registro de alarma del temporizador y por lo tanto debe empezar una secuencia de almacenamiento en memoria EEPROM de los datos meteorológicos que proporcionan las tarjetas de adquisición.



El segundo caso ocurre cuando ESTADO<1>=1. Esta interrupción ocurre cuando los registros del timer de fecha y hora (dir 0x01 a 0x06) coinciden bit a bit con los registros de alarma (dir 0x09 a 0x0E). De esta forma, la interrupción ocurrirá en una fecha concreta previamente programada por el PC a través del puerto serie.

Ahora se está indicando que no se debe iniciar un muestreo de datos, sino que se debe programar el registro de control de alarma (dir 0x18) mediante un registro backup (dir 0x11) que previamente ha introducido el PC mediante la comunicación serie a través del puerto RS232. De esta forma se activa el temporizador del timer y en ese momento empieza a contar la unidad de tiempo prefijada por el PC para que cuando posteriormente el registro temporizador (dir 0x07) coincida con el registro alarma del temporizador (dir 0x0F) se produzca una nueva interrupción y nos encontremos en el primer caso.

En resumen, lo que se hace es comenzar el proceso repetitivo de “Esperar espacio de tiempo prefijado y Adquirir datos Meteorológicos”, comience en una fecha concreta que previamente el usuario a prefijado a través del PC.

A continuación en las dos figuras siguientes se muestra en detalle el proceso mencionado anteriormente “MUESTREO DE DATOS METEREOLÓGICOS”. Todo comienza con la activación de un LED que indica al usuario cuando la estación meteorológica METEODAT está ocupada muestreando datos meteorológicos. La activación se lleva a cabo mediante la línea de propósito general ACT del bus de 8 bits ya descrito en capítulos anteriores.

Inmediatamente después se activan los sensores de las tarjetas a poniendo a “1” el bit POW del registro REG_CS (dir 0x03) de cada tarjeta de adquisición.

Posteriormente se leen los 6 registros de fecha y hora del timer y se guardan en la memoria EEPROM para registrar el instante de inicio de la adquisición de datos.

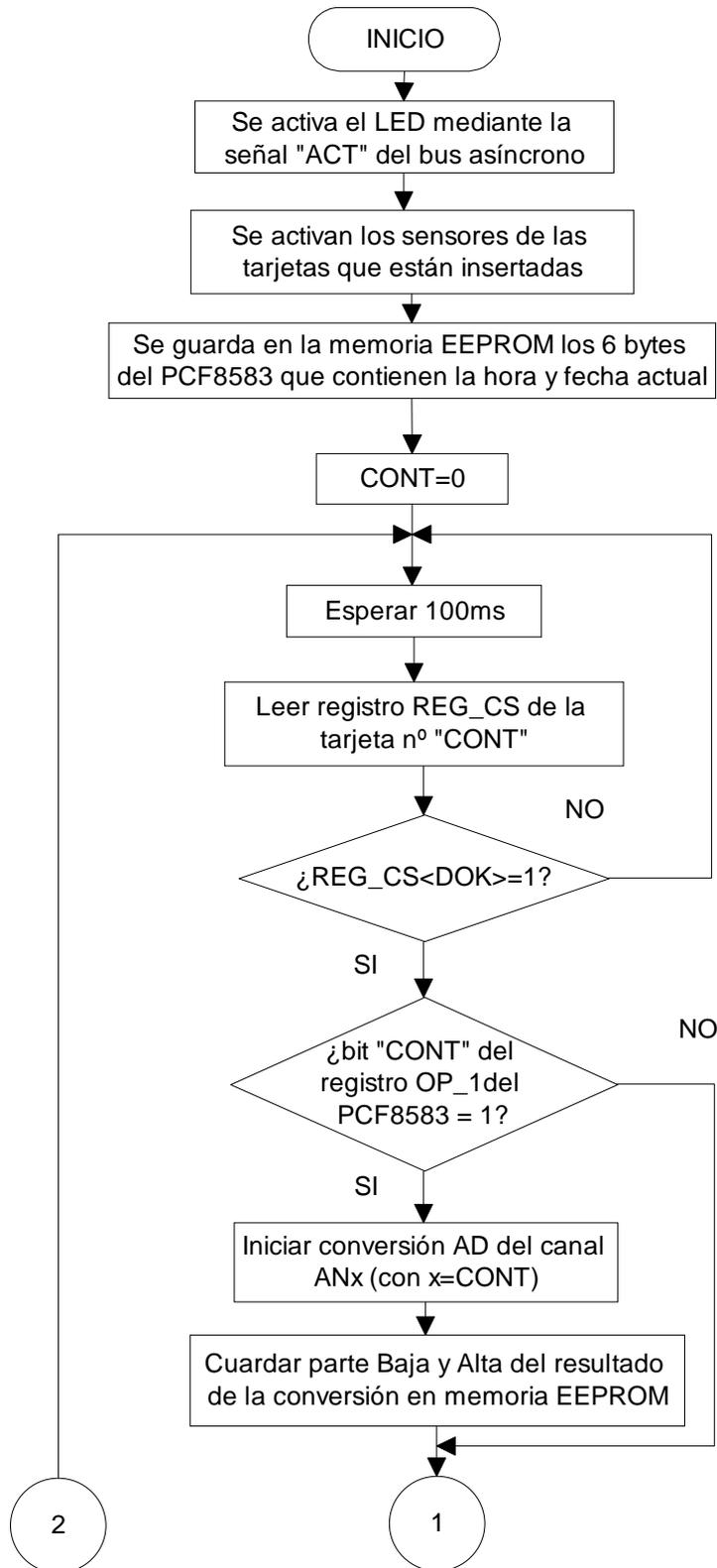
A continuación se inicializa un contador “CONT” (que va a indicar la tarjeta de adquisición que se está tratando) y se entra en un bucle de espera en el que se va a realizar un “polling” sobre el bit REG_CS<DOK> de la tarjeta en cuestión hasta que valga “1”, indicando que los datos meteorológicos que adquiere la tarjeta están disponibles para que el PIC pueda almacenarlos.

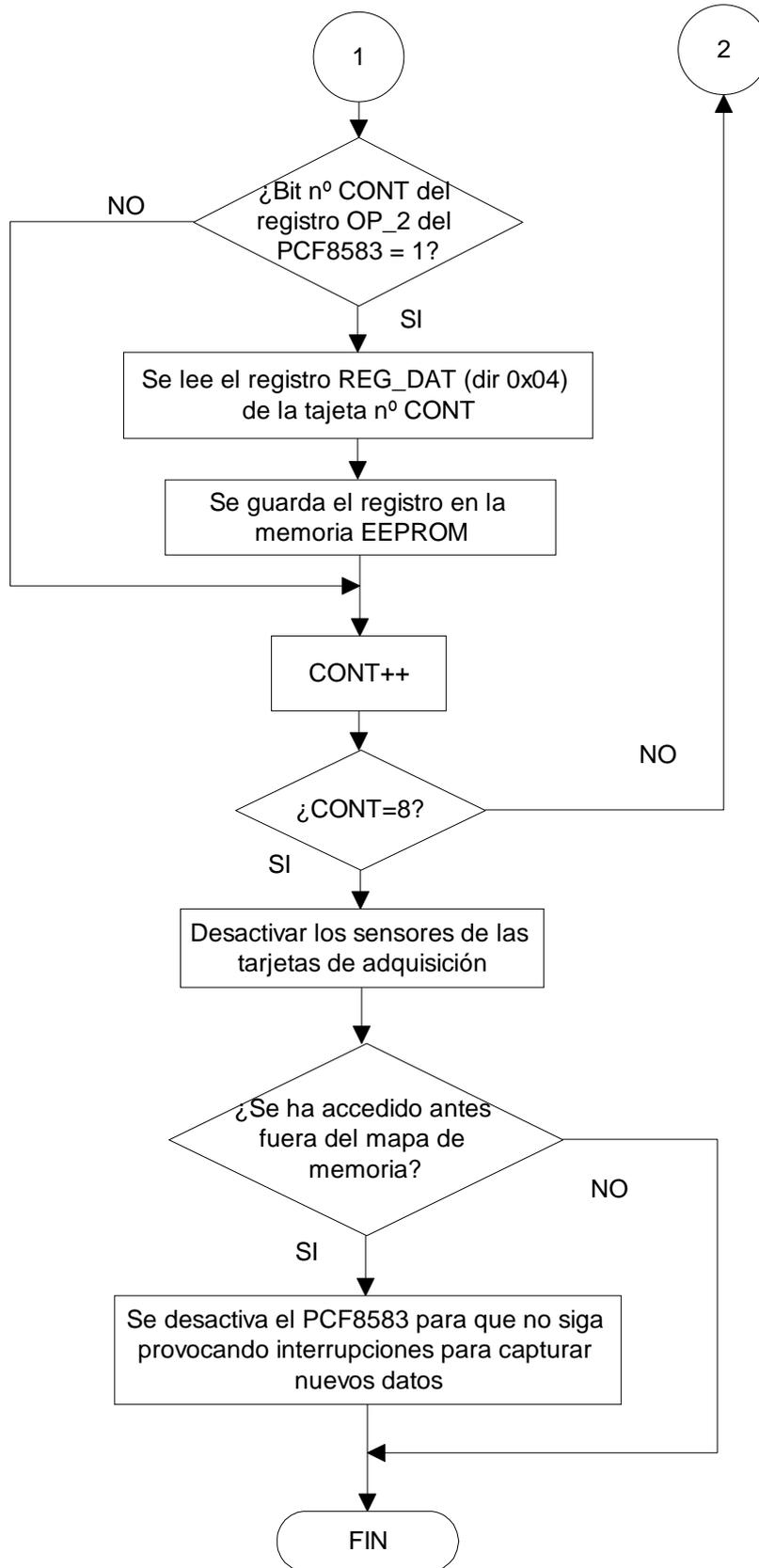
Existen dos registros en memoria del timer (programados por el PC a través del puerto RS232) que se utilizan para que el sistema METEODAT pueda saber que tipo de medida realiza cada tarjeta. El primero es OP_1 (dir 0x15), que indica que tarjeta proporciona un dato “analógico” accesible por el módulo CPU a través de la línea ANx del bus de datos de 8 bits (si el bit X de OP_1 está a “1” indica que la tarjeta insertada en el slot X del bus de 8 bits proporciona datos del tipo “analógico”). El segundo es OP_2 (dir 0x16) e indica que tarjeta proporciona un dato “digital”, accesible por el módulo CPU a través del registro REG_DAT (dir 0x04) de la tarjeta de adquisición.

De esta forma si el bit “CONT” OP_1 está a “1” (ver el siguiente diagrama) entonces se realiza la captura “analógica”. Para ello se comienza digitalizando la tensión de la línea ANx (donde x=CONT) y se almacena el resultado en memoria EEPROM. Como el resultado de la digitalización es de 10 bits se necesitan guardar en memoria 2 bytes.

A continuación se va a realizar la medida “digital” de la tarjeta si el bit “CONT” de OP_2 está a “1”. Como ya se ha descrito en capítulos anteriores, esta medida consiste en la lectura y almacenamiento en memoria del registro REG_DAT (dir 0x04) de la tarjeta en cuestión.

Por último se comprueba si en los últimos accesos anteriores a la memoria EEPROM se ha accedido fuera del mapa de memoria (a la memoria se accede secuencialmente, guardando los datos e incrementando un puntero), se desactiva el timer para que no siga provocando interrupciones, con lo que una vez llena la memoria termina la adquisición de datos.





No se detallará en este apartado como el módulo CPU gestiona el acceso al bus asíncrono de 8 bits, para implementar la comunicación con las tarjetas de adquisición, por considerar que el apartado de la gestión del bus ha quedado suficientemente definida en el capítulo “EL BUS DEL SISTEMA”, y en el código fuente comentado contenido en el CD-ROM adjunto a esta memoria.

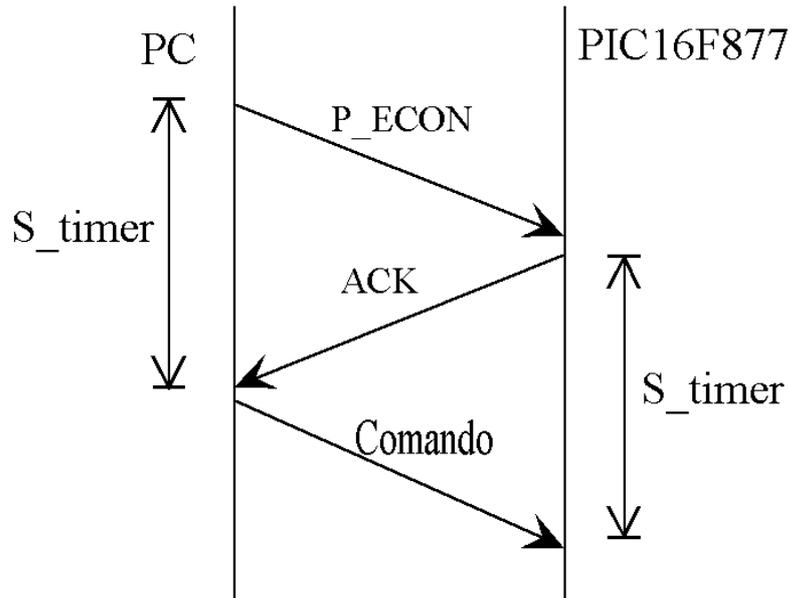
4.1.1. PROTOCOLO DE COMUNICACIONES SERIE

Se ha implementado un protocolo de comunicaciones del estilo del conocido estándar HDLC, para poder comunicar el módulo CPU del sistema METEODAT con un ordenador PC conectado a éste mediante un interface serie RS232C. El modo de transmisión se ha fijado en 8 bits sin bit de paridad y velocidad serie de transmisión de 57 K baudios.

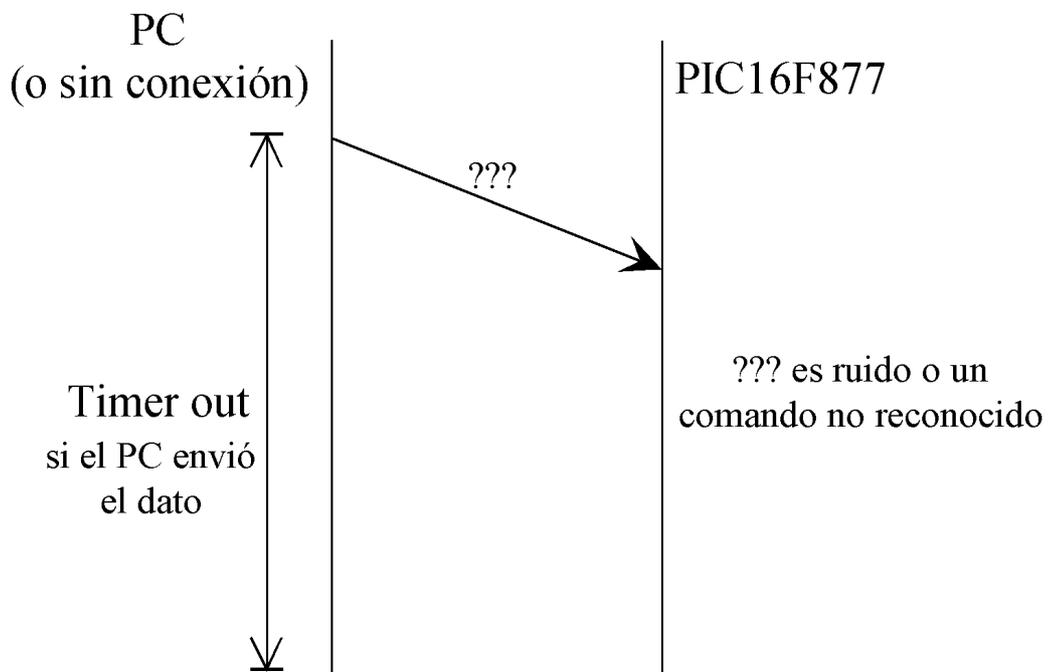
La comunicación siempre la iniciará el PC, que actuará a modo de “cliente”, mientras que el módulo CPU actuará como “servidor”, atendiendo las peticiones que realice el PC. La transferencia será semi-duplex, con lo que se permite la transferencia de información en los dos sentidos pero no al mismo tiempo. La unidad de transferencia será el byte (trama), y se distinguen entre tramas de datos y tramas de control.

Se ha adoptado este modelo cliente-servidor para simplificar la ampliación hacia un sistema gestionado remotamente, donde los bytes que se envían y reciben mediante el puerto RS232 se convertirían en tramas que serían enviadas y recibidas por un subsistema de comunicaciones en red. Por ejemplo la estación meteorológica podría ser gobernada por un ordenador personal a través de la línea telefónica gracias a una tarjeta-módem que se instalaría en una ranura del bus asíncrono de 8 bits del sistema METEODAT.

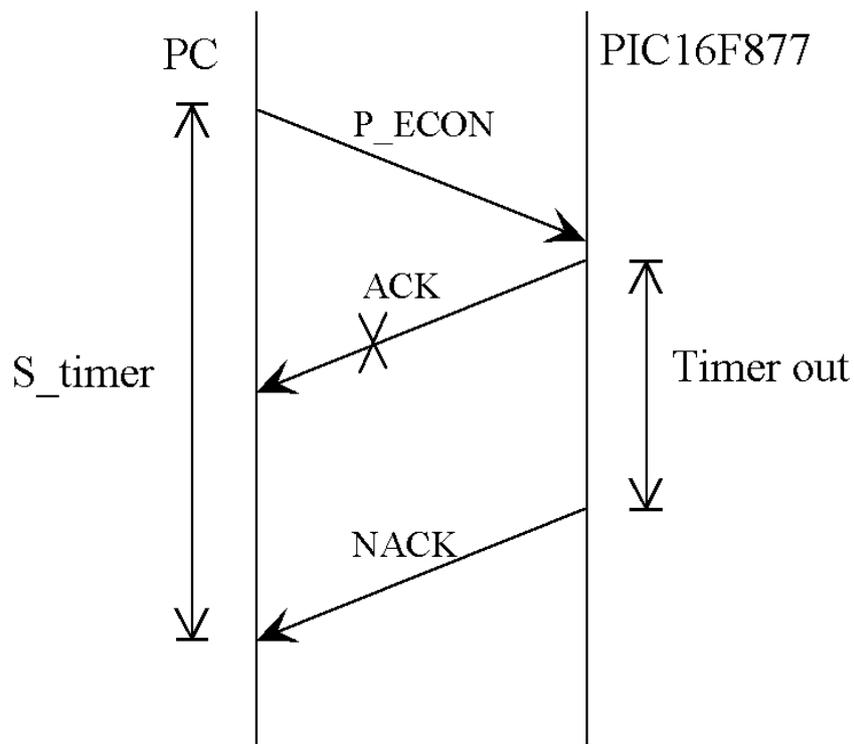
Cualquier petición comienza con una petición de conexión por parte del ordenador personal (PC). La trama de establecimiento de conexión es P_ECON, y una vez enviada el PC activa un temporizador. El PIC16F877 recibe la trama, la identifica y entonces envía una trama de reconocimiento (ACK) y activa su temporizador. Cuando la trama llega al PC, éste envía el comando que debe atender el PIC. Este proceso se muestra en el siguiente cronograma.



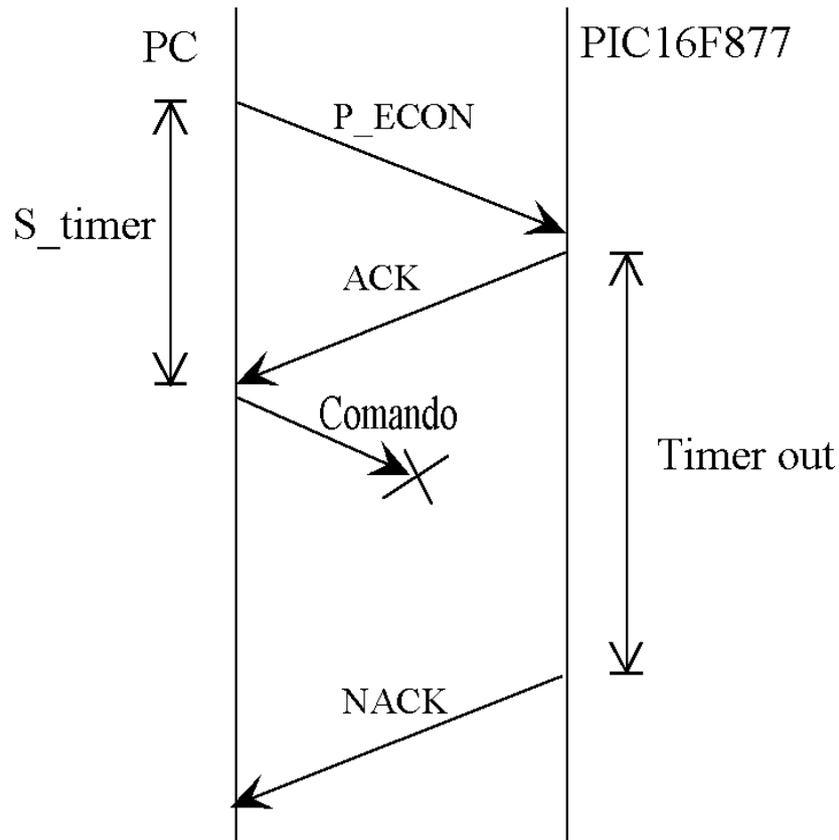
En el caso de que el byte de establecimiento de conexión (P_ECON) se corrompa por la línea o simplemente se genere un byte espureo, la conexión no se establecerá, rechazándose cualquier comunicación posterior. Esta es una forma de rechazar el ruido en la línea, que podría ser interpretado por el receptor RS232 del PIC16F877 como la llegada de un byte. Esto ocurriría por ejemplo al conectar o desconectar el conector DB9 del puerto serie del módulo CPU).



También podría darse el caso de que una vez enviada la petición de establecimiento de conexión, se perdiera o se corrompa la trama de asentimiento del PIC. En ese caso el temporizador del PC vence y el PC rechaza la conexión (ver la figura siguiente). Como entonces el PC no envía la trama que indica el comando a realizar, el contador del PIC también vence, y por tanto también rechaza la conexión, indicándolo mediante el envío de una trama de no asentimiento NACK.

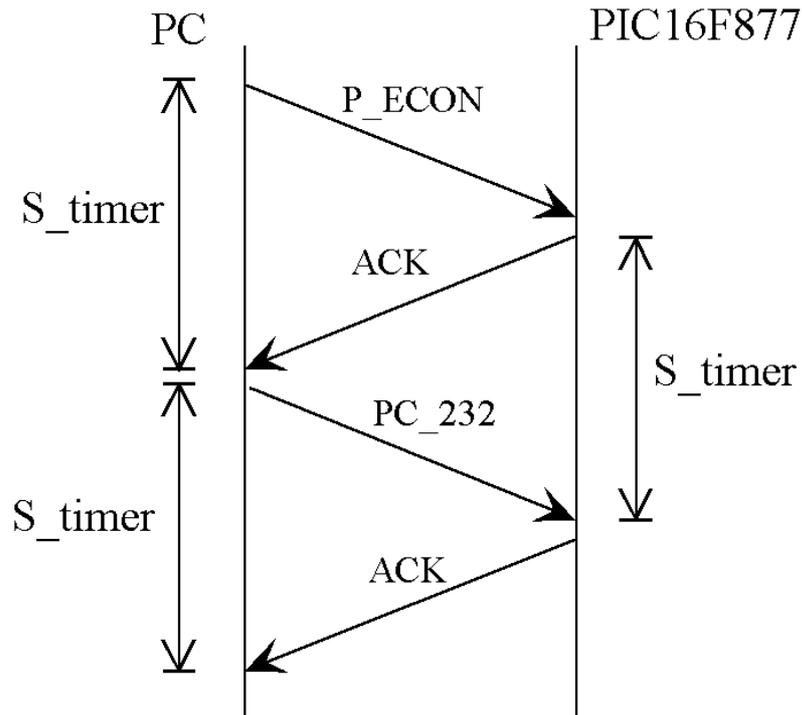


Ocurre algo parecido si una vez establecida la conexión, la trama de comando se pierde en cuyo caso vencería el temporizador del PIC y rechaza la conexión enviando NACK, que indicaría al PC que debe iniciar de nuevo el protocolo de establecimiento de la conexión. Si el comando no se corrompe, pero no es identificado por el PIC, éste envía inmediatamente la trama NACK con idénticas consecuencias que en el caso anterior:

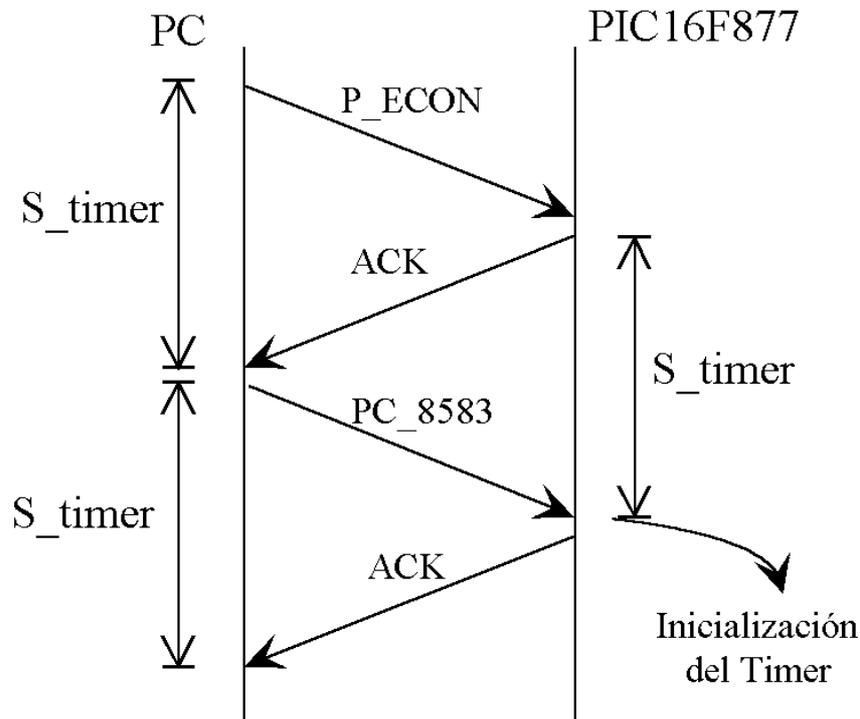


A continuación se pasarán a describir los diferentes comandos que se han implementado en el protocolo. Como se trata de un protocolo escalable, se pueden ampliar a cuantos comandos se deseen simplemente actualizando el programa residente en la memoria de programa del PIC16F877 y el programa cliente residente en el PC.

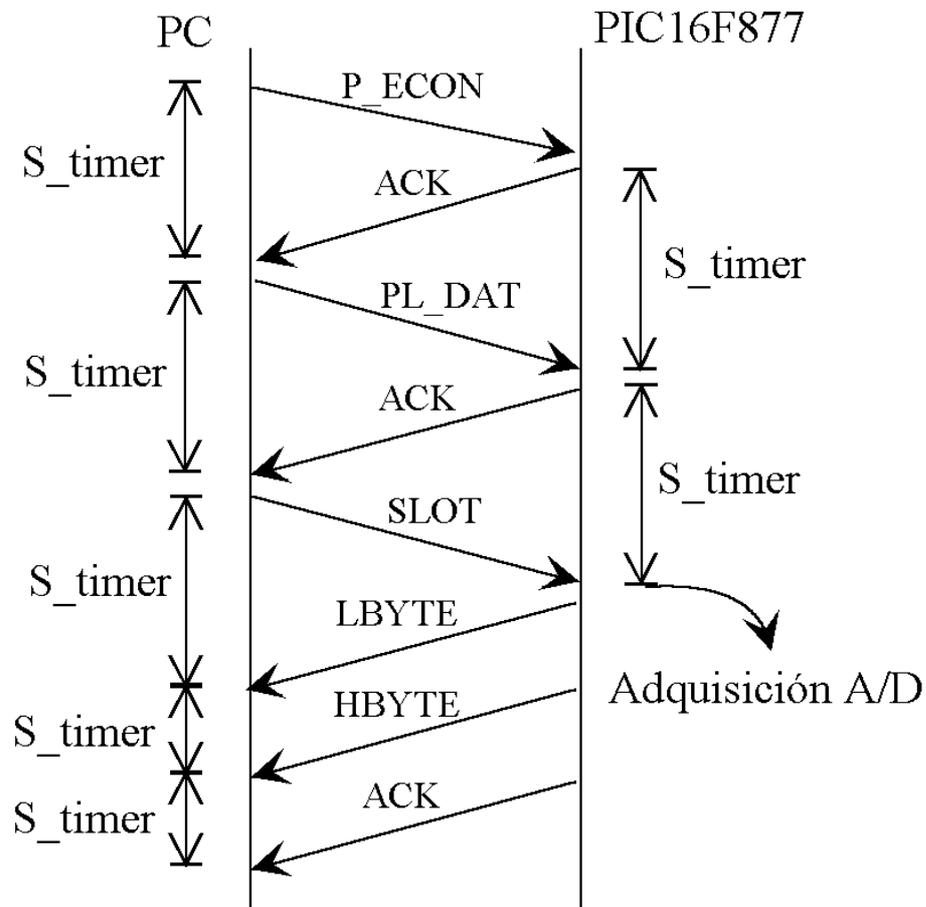
PC_232. Este comando el PC se encarga de testear el correcto funcionamiento de la conexión (por ejemplo si el cable que conecta el PC y el módulo CPU del sistema METEODAT funciona correctamente) y del protocolo de comunicaciones. El funcionamiento es similar al del comando “ping” de los sistemas “UNIX”. Para ello una vez enviada la trama PC_232, el PC solamente espera el asentimiento del PIC. Como se ha visto anteriormente, cada vez que el PC o el PIC esperan una trama, se inicia un contador con el fin de que si se pierde la trama no se queden bloqueados esperándola y si el temporizador vence se provoca la desconexión por ambas partes (como se va a ver en los siguientes comandos, esto se generaliza en el protocolo de comunicación en la transferencia de tramas de datos y de control). A continuación se muestra el cronograma correspondiente al comando PC_232.



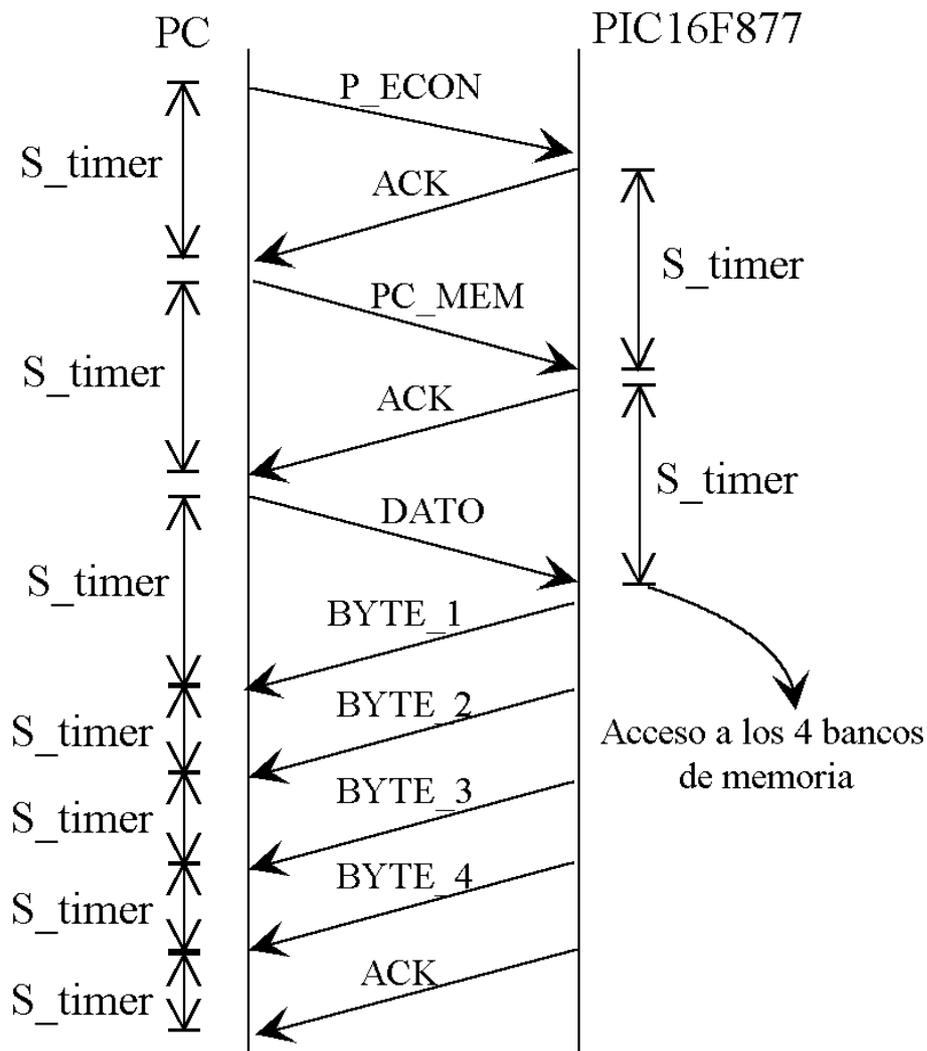
PC_8583. El siguiente comando se utiliza cuando el PC ordena al PIC16F877 que inicialice el timer/alarma PC8583 con sus valores por defecto (se desactiva la interrupción que provoca la alarma del timer, que indica al PIC el momento de captura de datos meteorológicos y se resetea el temporizador que provoca la interrupción en el PIC que indica el intervalo entre las capturas de datos):



PL_DAT. Comando que indica al PIC que debe realizar una conversión AD de la tensión que contiene la línea analógica ANx de una tarjeta de adquisición de datos meteorológicas. Este comando sólo tiene utilidad en la fase de desarrollo de las tarjetas de adquisición para depurar el hardware, y no tiene utilidad en el modo de producción del sistema METEODAT. Como se puede apreciar en el siguiente cronograma, la adquisición analógica comienza cuando el PC le indica al PIC sobre que tarjeta se debe realizar la adquisición mediante el dato SLOT. Posteriormente el PIC envía la parte baja y la parte alta de los 10 bits del dato digitalizado. Como solamente existen 6 slots con línea analógica ANx (AN0 a AN5), SLOT debe estar comprendido entre 0 y 5. La comunicación termina con el envío de la trama ACK por parte del PIC para indicar que el protocolo termina correctamente.



PC_MEM. Comando que se utiliza para chequear los 4 bancos de memoria serie EEPROM que se encuentran en el módulo CPU. Para ello el PC envía un dato que corresponde con un byte que luego el PIC16F877 va a escribir en la dirección 0x0000 de cada banco de memoria. Inmediatamente después de cada escritura el PIC lee el dato de la dirección 0x0000 del correspondiente banco y lo envía al PC para que pueda comprobar que la escritura se ha realizado (BYTE_1, BYTE_2, BYTE_3, BYTE_4). Finalmente la transferencia termina correctamente si el PC recibe la trama ACK.



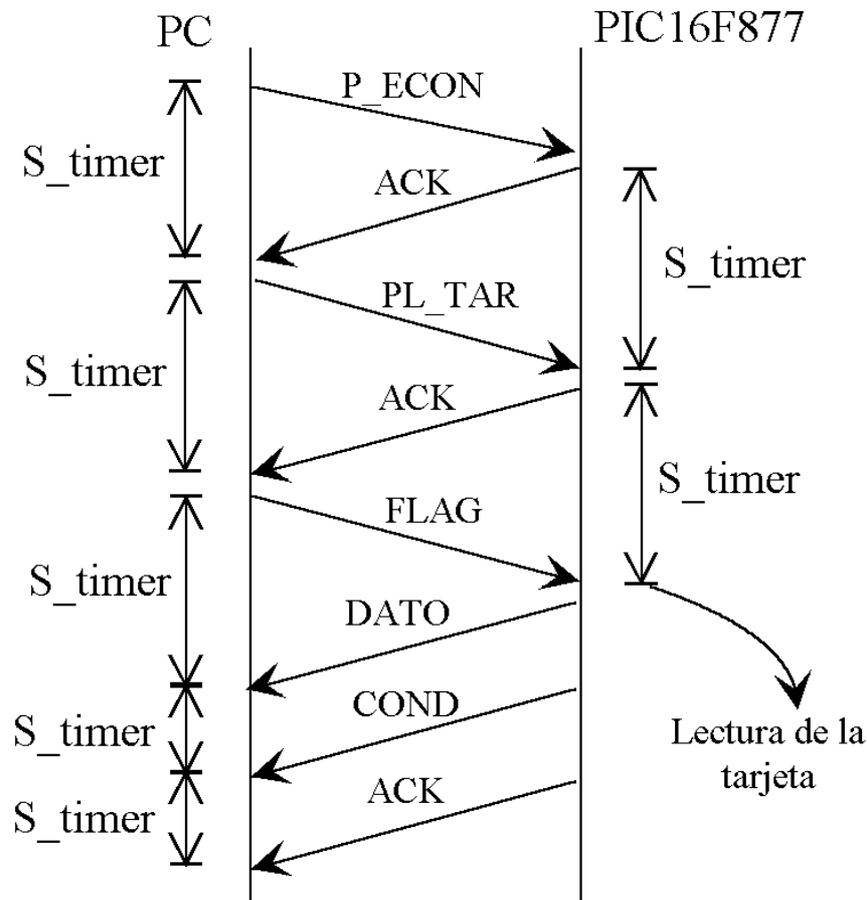
PL_TAR. Se utiliza cuando el PC necesita leer un byte del bus asíncrono de 8 bits del sistema METEODAT. Para ello el PC envía una trama denominada FLAG que contiene:

- . FLAG<2..0> Estos 3 bits contienen en código binario el slot (del 0 al 7) al que se va a acceder.
- . FLAG<3> Es una copia del bit D/*A del bus, por lo que si vale “1” el byte que se está leyendo debe ser interpretado como un dato, mientras que si vale “0” debe ser interpretado como una dirección (del registro de la tarjeta al que está apuntando).

Posteriormente el PIC16F877 realiza el acceso al bus, y envía el dato que se ha leído (si la lectura a sido exitosa) y un código de condición (COND) que indica el resultado de la lectura:

- . Si vale 0 el acceso se ha realizado con éxito.
- . Si vale 1 el acceso ha sido incorrecto debido a que no hay tarjeta alguna en el slot.
- . Si vale 2 el acceso ha sido incorrecto porque el módulo de gestión del bus de la tarjeta insertada funciona incorrectamente.

Finalmente, la transferencia termina con el asentimiento del PIC enviando ACK:



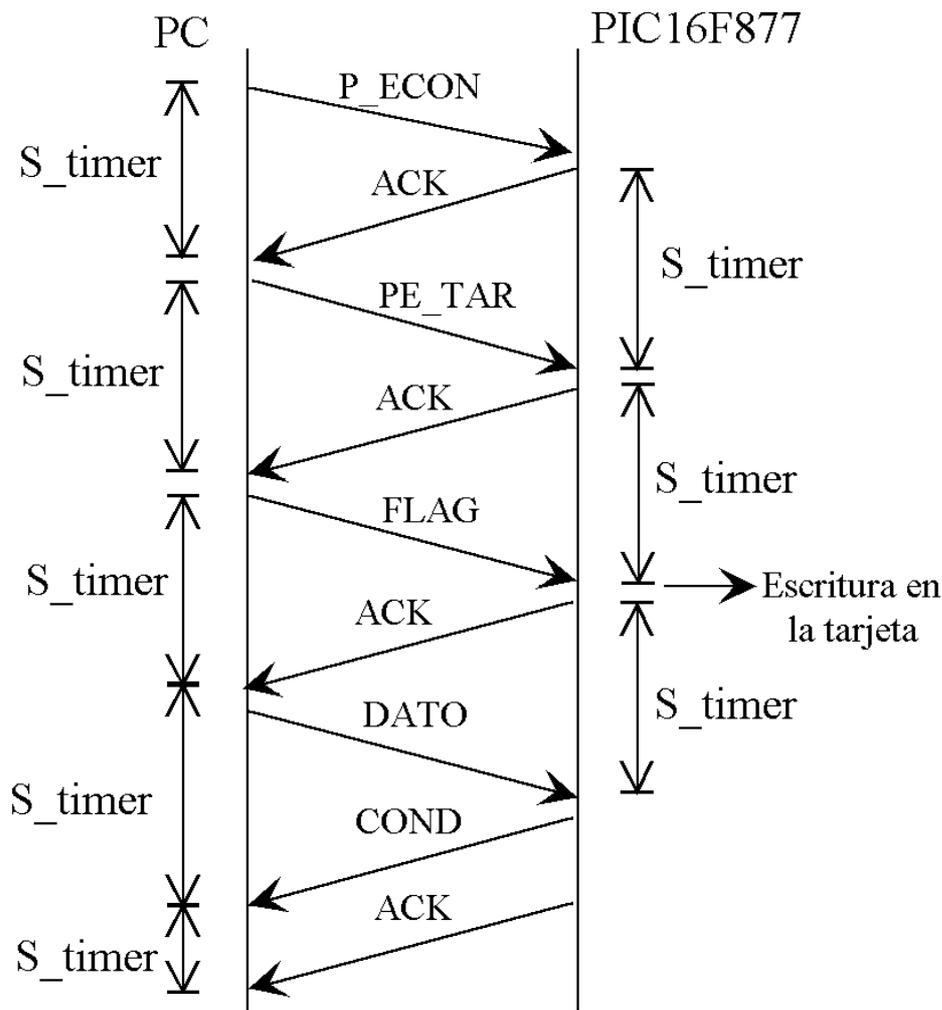
PE_TAR. Es el comando complementario al anterior, ya que realiza la escritura de un byte del bus asíncrono de 8 bits del sistema METEODAT. Para ello el PC envía una trama denominada FLAG que contiene:

- . FLAG<2..0> Estos 3 bits contienen en código binario el slot (del 0 al 7) al que se va a acceder.
- . FLAG<3> Es una copia del bit D/*A del bus, por lo que si vale “1” el byte que se está escribiendo debe ser interpretado como un dato por la tarjeta, mientras que si vale “0” debe ser interpretado como una dirección (del registro de la tarjeta al que está apuntando).

Posteriormente el PC envía el byte a escribir y acto seguido el PIC16F877 realiza el acceso al bus, y envía un código de condición (COND) que indica el resultado de la escritura:

- . Si vale 0 el acceso se ha realizado con éxito.
- . Si vale 1 el acceso ha sido incorrecto debido a que no hay tarjeta alguna en el slot.
- . Si vale 2 el acceso ha sido incorrecto porque el módulo de gestión del bus de la tarjeta insertada funciona incorrectamente.

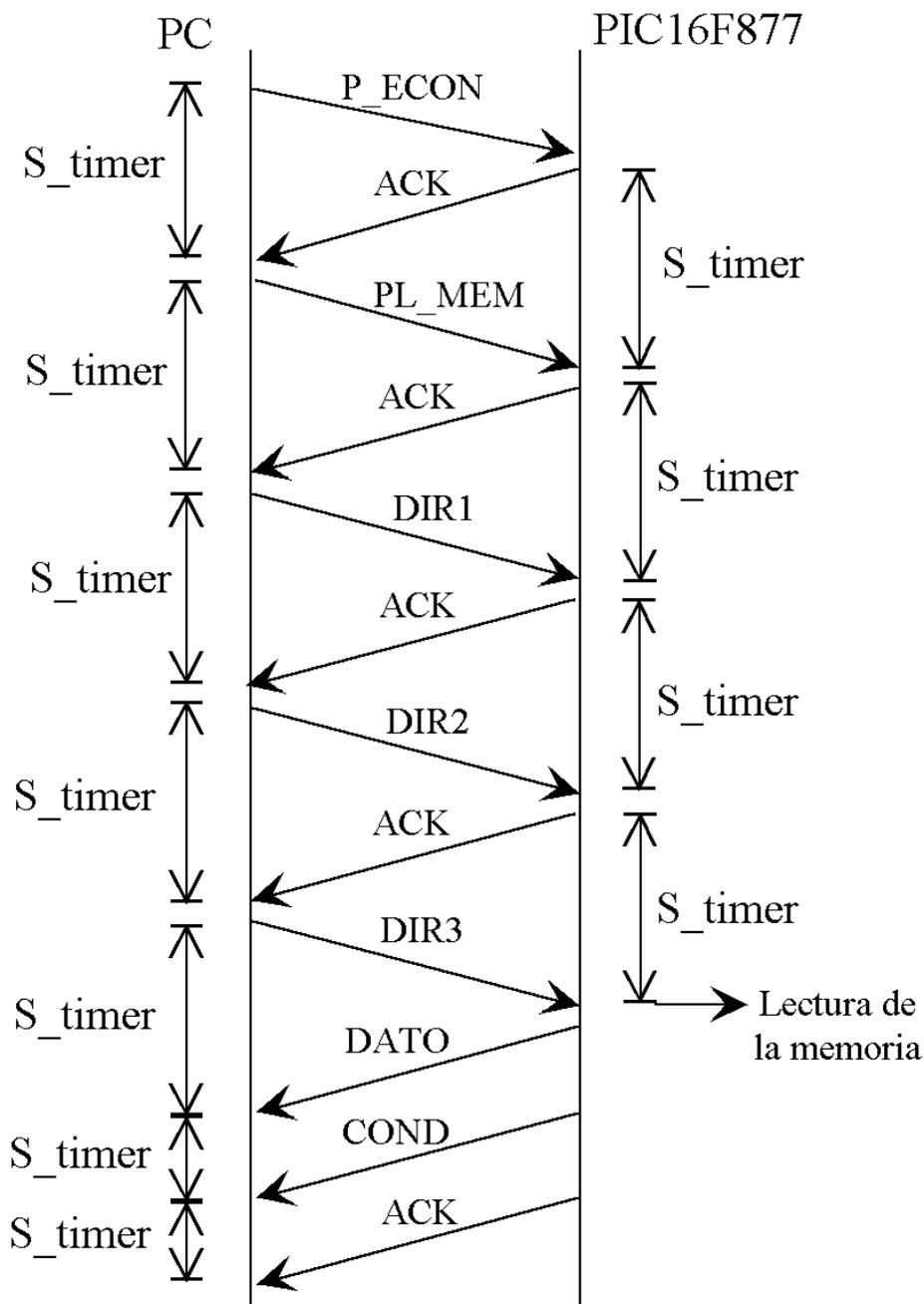
Finalmente, la transferencia termina con el asentimiento del PIC enviando ACK. Tanto el comando PL_TAR, como el PE_TAR, son utilizados para que el PC pueda identificar la tarjeta que esta insertada en cada slot mediante la lectura de su byte de identificación.



PL_MEM. Realiza una lectura de la memoria serie EEPROM del módulo CPU. Para ello el PC envía una dirección lineal de 24 bits (DIR1 es el byte alto y DIR3 es el byte bajo) y el PIC16F877 hace la conversión de memoria para acceder a uno de los 4 bancos de memoria, basándose en el mapa de memoria que está descrito en su memoria de programa. Acto seguido el PIC realiza la lectura, envía el dato leído al PC y también envía un código de condición (COND).

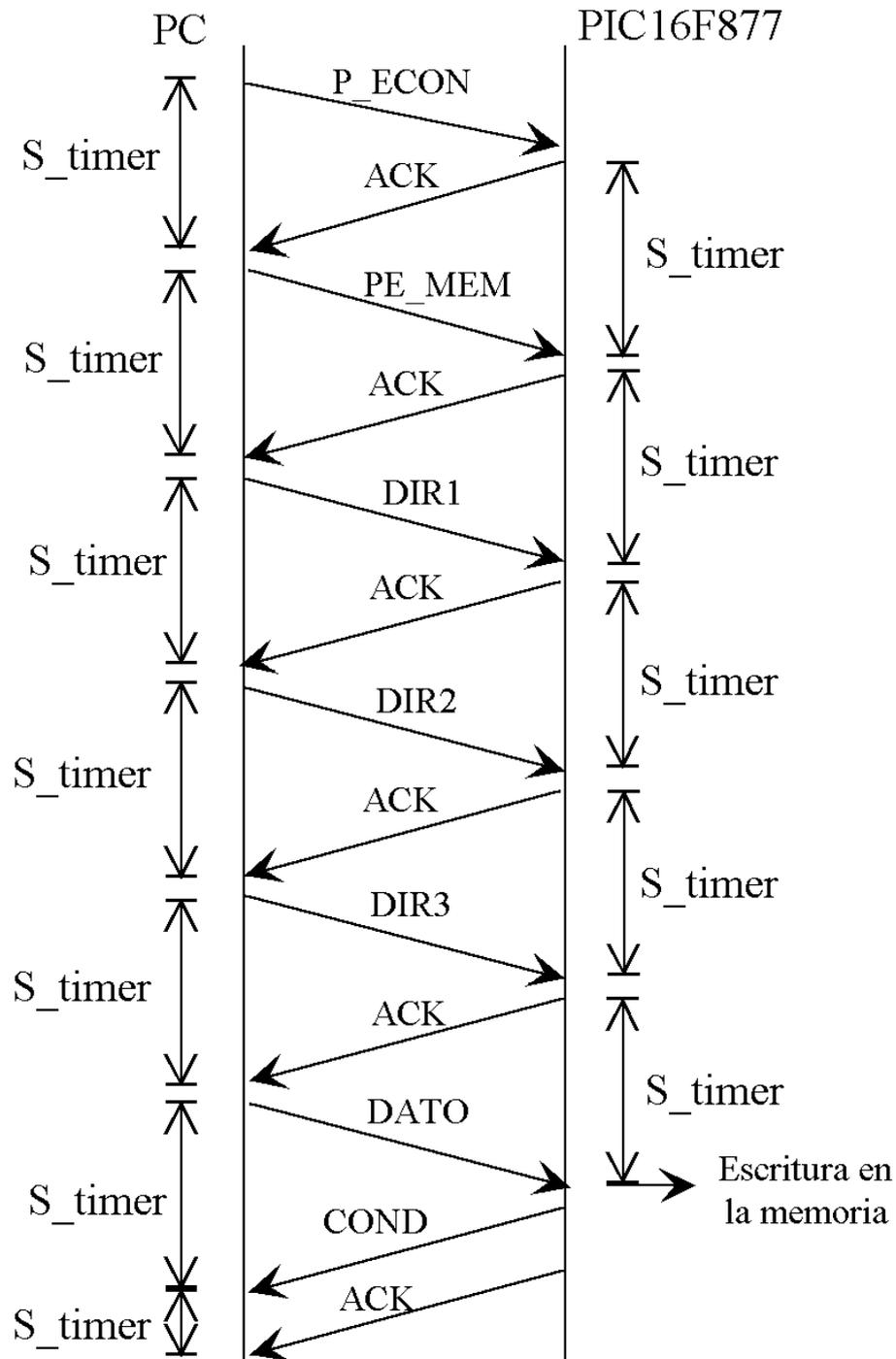
COND vale 0 si se ha realizado la lectura en el mapa de memoria (no se verifica si el protocolo de lectura a través del bus I2C ha sido correcto, por lo que antes de realizar la lectura sería conveniente asegurarse de que las memorias insertadas en los 4 bancos funcionan correctamente mediante el comando PC_MEM descrito anteriormente)

COND vale 1 si se ha realizado la lectura fuera del mapa de memoria, con lo que la lectura es incorrecta.

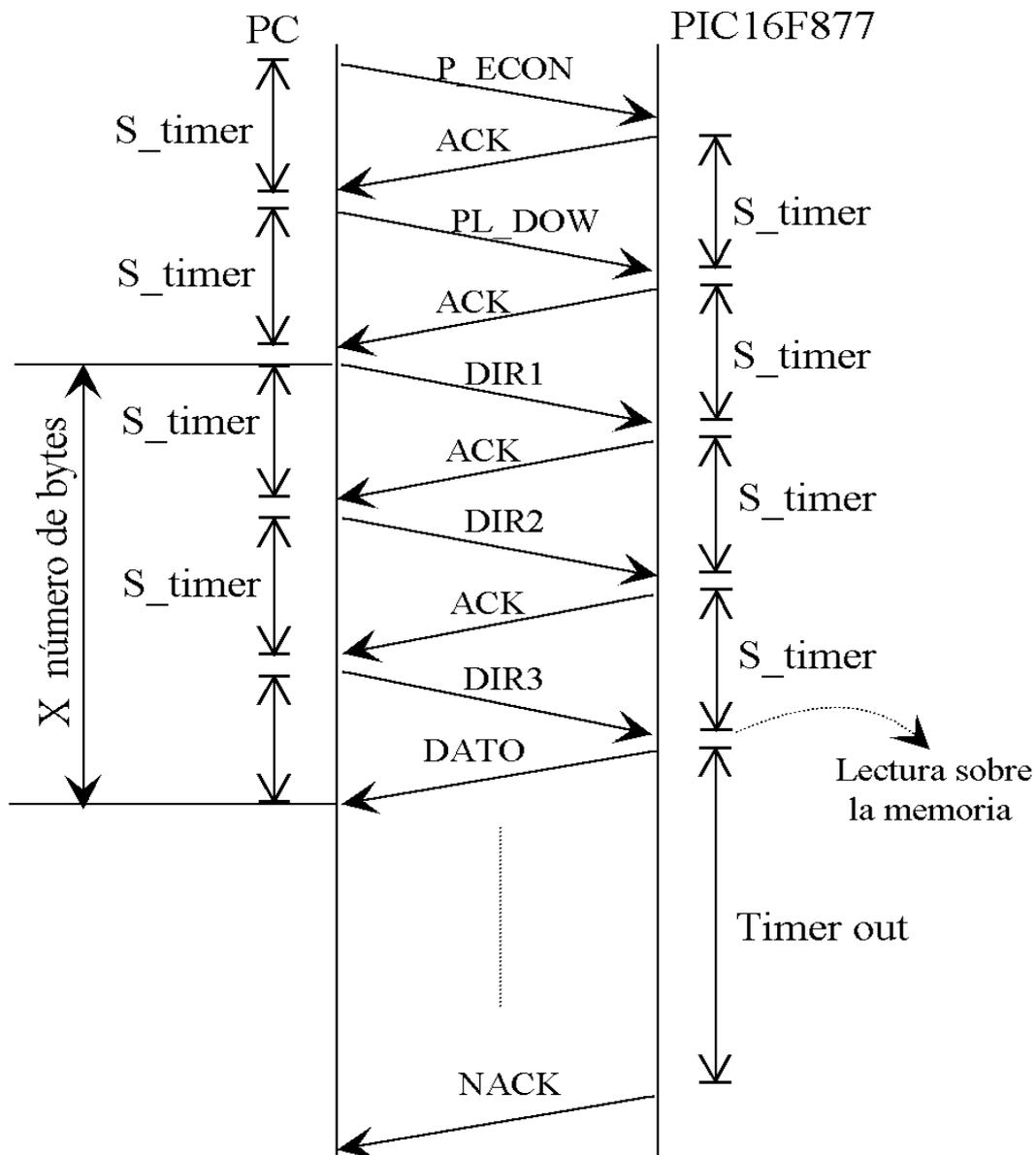


PE_MEM. Realiza la función complementaria a la anterior, una escritura en la memoria serie EEPROM del módulo CPU. Para ello el PC envía una dirección lineal de 24 bits (DIR1 es el byte alto y DIR3 es el byte bajo) y el dato a escribir en la memoria. El PIC16F877 hace entonces la conversión de memoria para acceder a uno de los 4 bancos de memoria, basándose en el mapa de memoria que está descrito en su memoria de programa. Acto seguido el PIC realiza la escritura, y envía un código de condición (COND): Si COND vale 0 si se ha realizado la escritura en el mapa de memoria (no se verifica si el protocolo de escritura a través del bus I2C ha sido correcto, por lo que

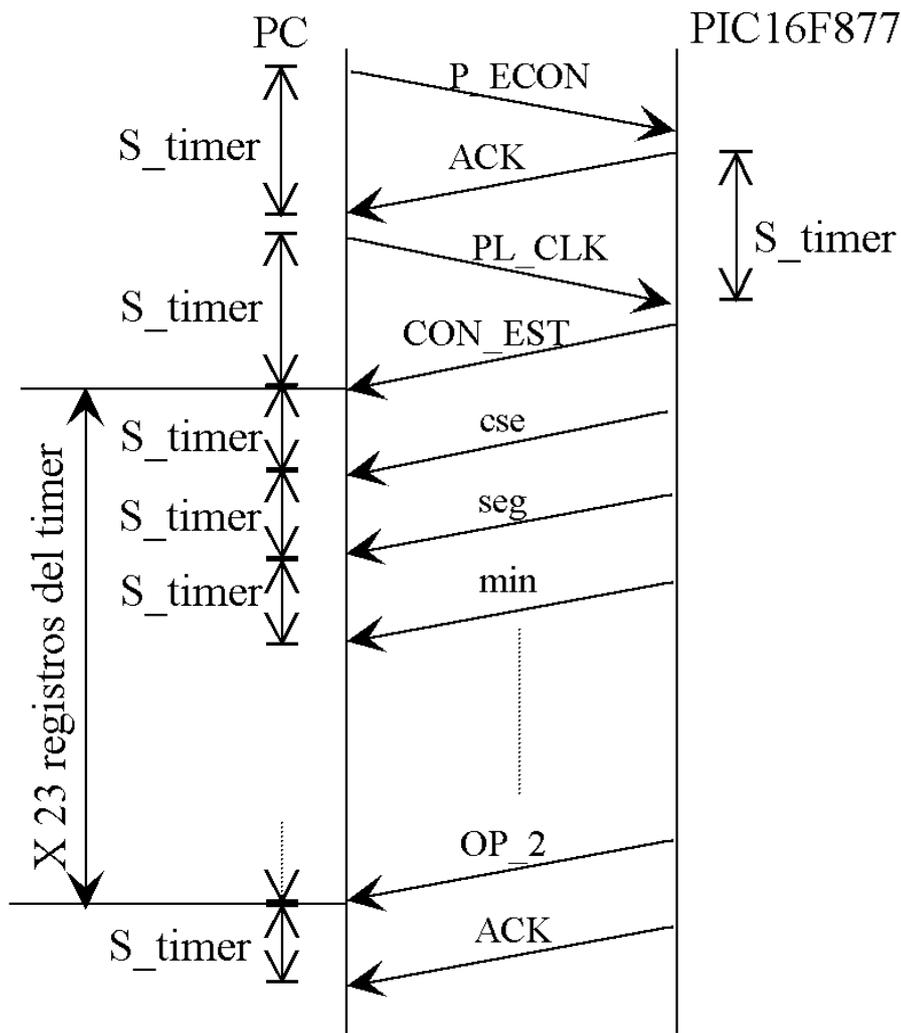
antes de realizar la escritura sería conveniente asegurarse de que las memorias insertadas en los 4 bancos funcionan correctamente mediante el comando PC_MEM descrito anteriormente). COND vale 1 si se ha realizado la escritura fuera del mapa de memoria, con lo que la lectura es incorrecta. Tanto PE_MEM como PL_MEM no se usan en el modo de producción del sistema METEODAT, sino que se usan para depurar el hardware durante el desarrollo del sistema.



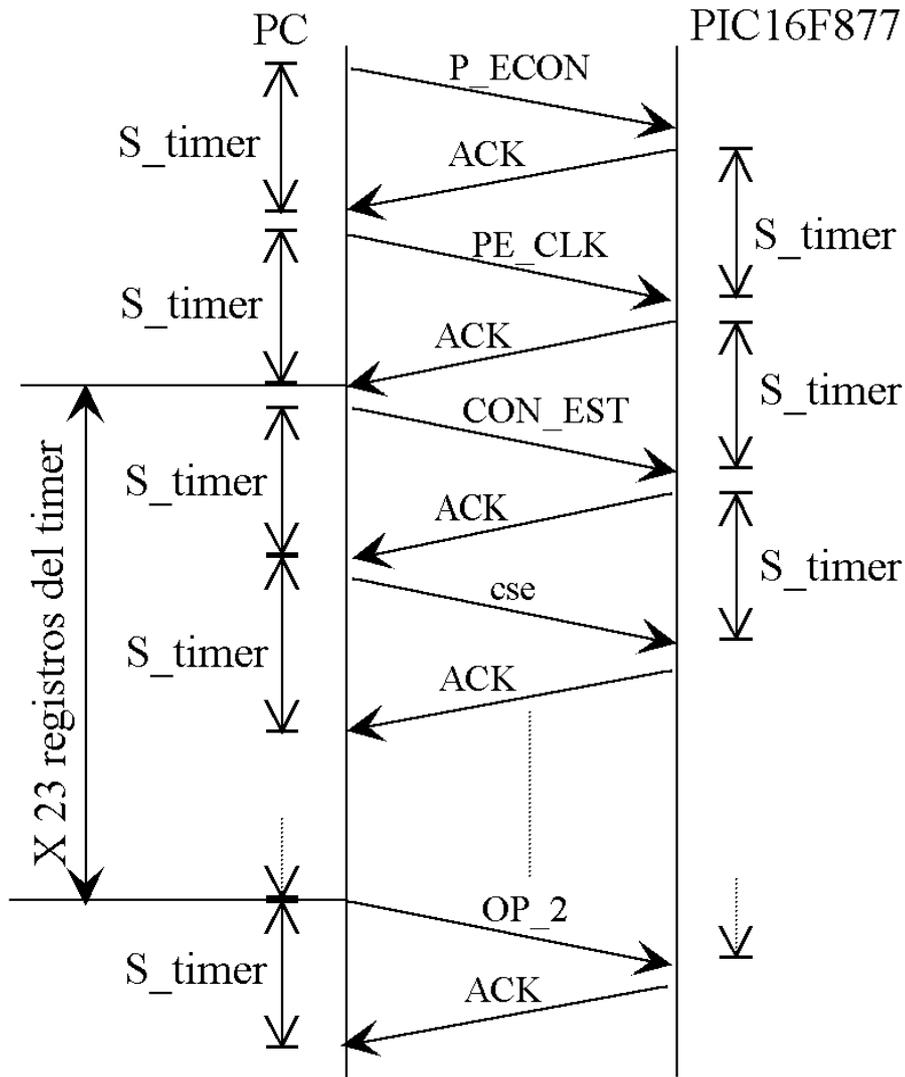
PL_DOW. Consiste en un comando de lectura de la memoria serie EEPROM del sistema CPU. Se utiliza para realizar un volcado de la memoria hacia el PC con el fin de almacenar en un fichero los datos meteorológicos que se han tomado. Para realizar esta tarea se podría haber utilizado el comando PL_MEM, pero su protocolo resulta una demasiado lento debido a que hay que establecer la conexión para realizar una sola lectura, y enviar la palabra de condición. En este caso se establece una única conexión y se reciben una cantidad de datos variables, cerrando la conexión por iniciativa del PC cuando este no envía la siguiente dirección del próximo dato a leer, y deja que el temporizador del PIC venza. En ese momento el PIC envía una trama de no asentimiento NACK y termina la conexión.



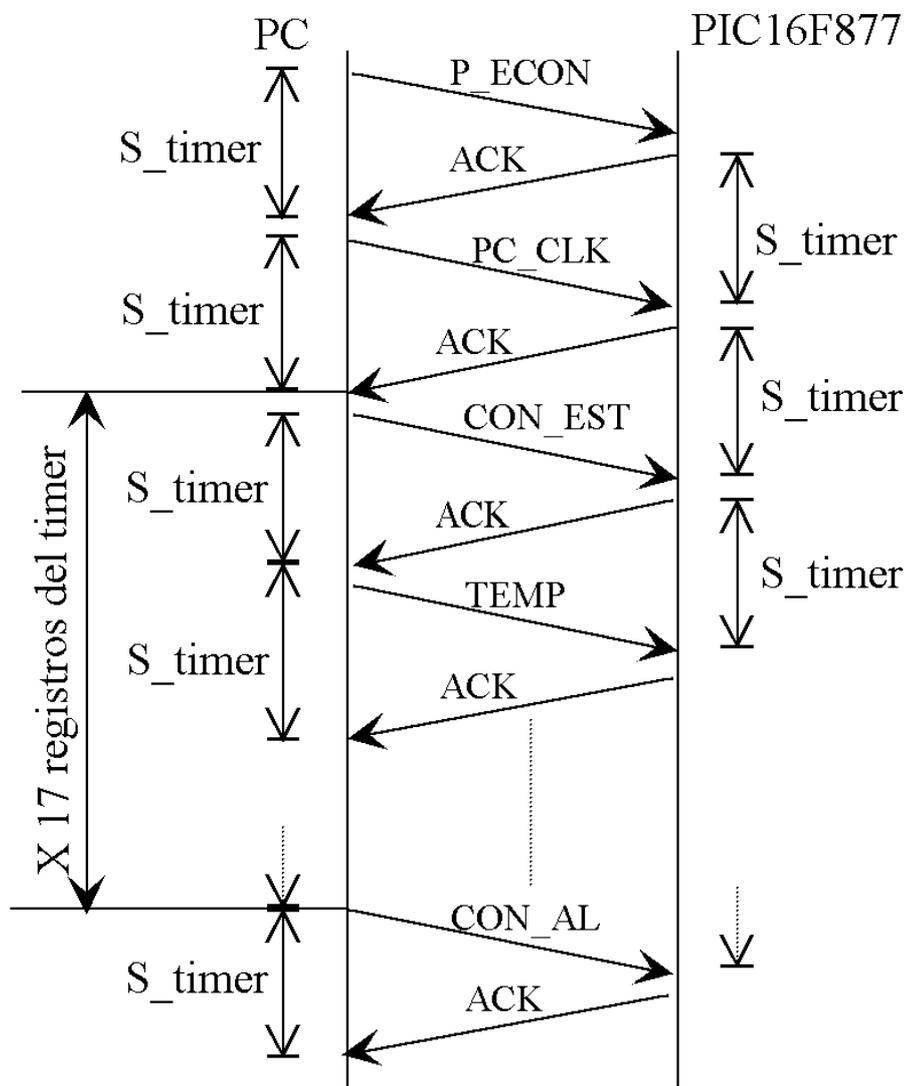
PL_CLK. Este comando realiza una serie de lecturas sobre la memoria de 256 bytes del timer PCF8583 hasta leer los 23 primeros bytes, donde se encuentran los registros propios de control del timer, los registros de programación de la alarma, los registros de la hora y la fecha local, y los registros que se utilizan para controlar el estado del módulo CPU. Los datos se descargarán al PC donde pueden ser usados por ejemplo para mostrar la hora local del módulo CPU.



PE_CLK. Es el comando complementario al anterior, escribiendo los datos que envía el PC sobre los 23 primeros bytes de la memoria de 256 bytes del timer PCF8583. Con esta función el PC puede por ejemplo poner el PCF8583 en hora.



PC_CLK. Es un comando parecido a PE_CLK con la diferencia que no escribe en los registros que contienen la fecha y la hora local. PC_CLK se usa para modificar los registros de control que contiene la memoria del timer PCF8583, para programar los registros de control alarma, o para programar una fecha en la alarma. No se usa PE_CLK para estos menesteres debido a que este comando, al modificar los registros de fecha y hora, podría desfasar la fecha y hora correcta del timer si la operación de configuración dura mas de una centésima de segundo, que es la cantidad de tiempo más pequeña que maneja el timer.

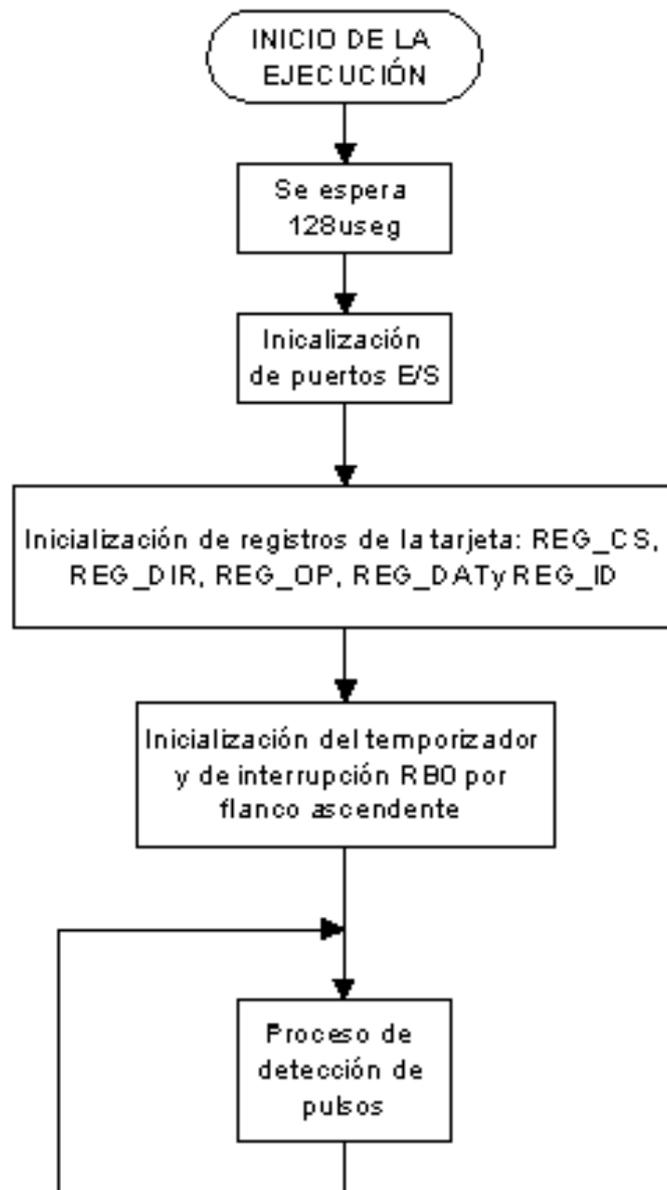


4.2. PROGRAMACIÓN DE LAS TARJETAS DE ADQUISICIÓN

Las tareas que debe realizar cada tarjeta de adquisición de datos están supervisadas por un microcontrolador PIC16F84A. Estas tareas son las siguientes:

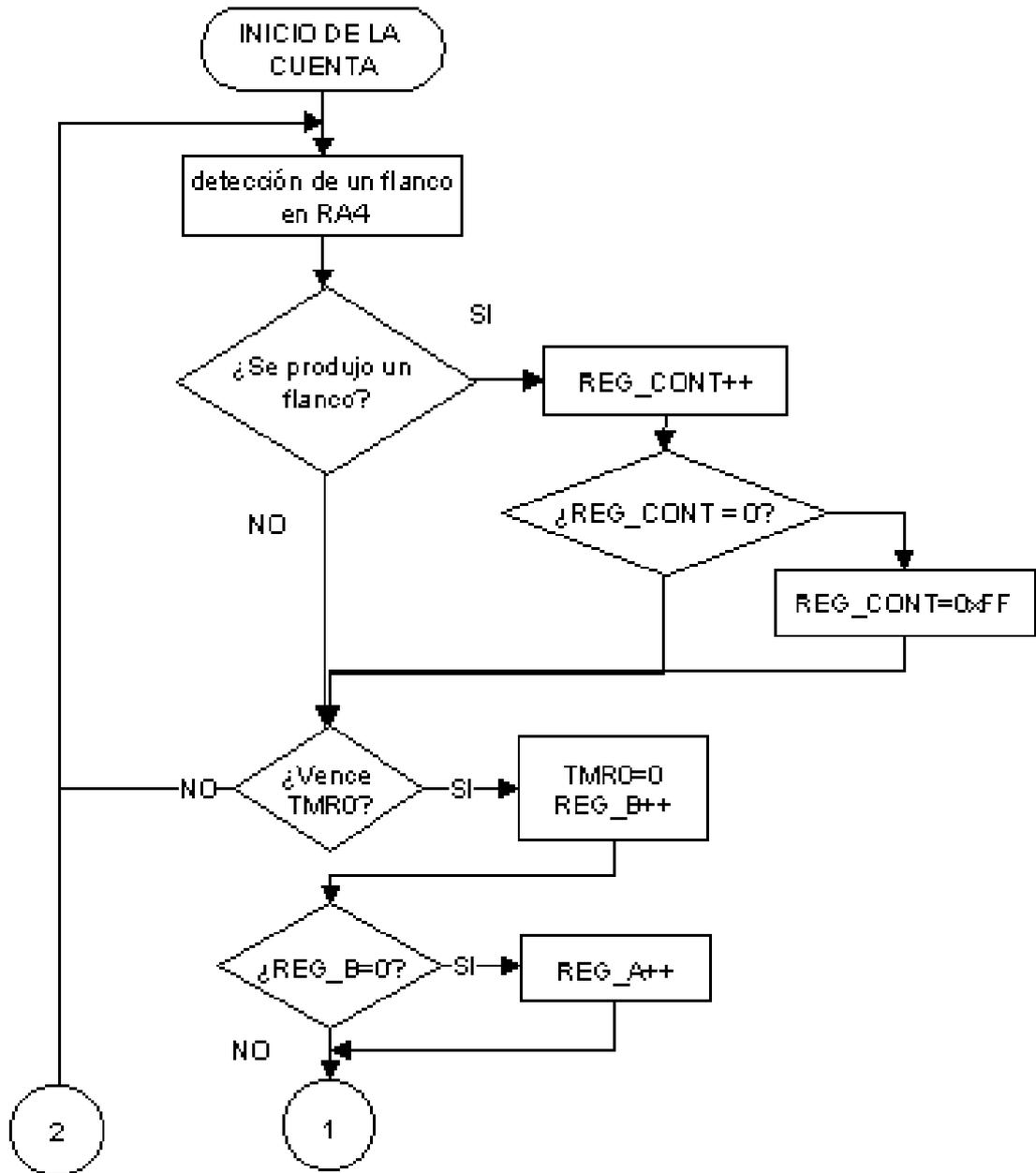
- Aceptar y llevar las acciones que solicita el módulo CPU través de accesos al bus asíncrono de 8 bits a los registros de la tarjeta.
- Gestionar los accesos al bus asíncrono de 8 bits (gestionar las señales de control del bus).
- En las tarjetas que realicen medidas “digitales” el PIC de la tarjeta debe integrar temporalmente los impulsos que recibe del sensor en cuestión.

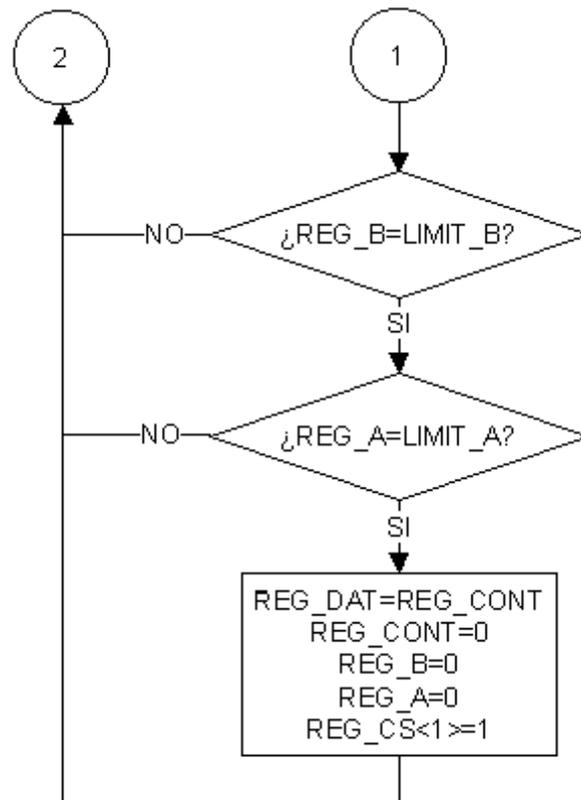
Como se puede apreciar en el siguiente diagrama, se comienza la ejecución esperando un instante de tiempo de $128\mu\text{s}$ para dar tiempo a las señales del bus a que se estabilicen, ya que si se pasa a configurar las interrupciones antes de tiempo, el PIC podría detectar un flanco ascendente en RB0 debido a la subida de la tensión de la señal *SELx del bus y considerar que se está realizando un acceso al bus cuando en realidad no ha ocurrido.



El programa continúa inicializando los registros de la tarjeta a los que puede acceder posteriormente el PIC16F877 del módulo CPU a través del bus asíncrono de 8 bits. Posteriormente se configura la interrupción por flanco ascendente de RB0. Cuando se detecte un flanco en RB0 se considera que se está realizando un acceso a los registros de la tarjeta, por lo que la rutina de atención de la interrupción gestionará las señales del bus para garantizar un acceso correcto al registro al que se accede (ver código fuente comentado y el apartado correspondiente a la tarjeta “Veleta y Anemómetro”).

También se configura entonces el temporizador que va a contar los pulsos provenientes del sensor “digital”. En este momento empieza la cuenta, y por tanto se empieza a integrar temporalmente los pulsos provenientes del sensor. El proceso de cuenta se muestra a continuación:





Una vez empezada la cuenta se comprueba si hay un flanco ascendente o descendente en el puerto de entrada RA4. Para ello se realizan dos muestreos seguidos del puerto y si en los dos hay un cambio respecto a los dos valores leídos anteriormente (que se guardan en dos variables), el flanco es detectado. Se realizan dos muestreos con el fin de rechazar el ruido y los posibles rebotes producidos por un sensor “digital”. Si se produjo el flanco se incrementa una variable interna contadora (REG_CONT) que se encarga de integrar los pulsos que llegan. Se comprueba si esta variable satura para dejarla en su valor de saturación (y que no empiece de nuevo en 0).

Posteriormente se comprueba si vence el registro contador TMR0. Si ha vencido, se resetea y se incrementa el siguiente contador (REG_B). Si éste también satura se incrementará el siguiente (REG_A).

Finalmente se comprueba si el tiempo de integración ha terminado comparando los valores de los contadores REG_A, REG_B con sus respectivos límites LIMIT_A y LIMIT_B, que establecen el tiempo de integración y su valor se fijan como una constante en el programa del PIC dependiendo del sensor digital que está usando la tarjeta.

Si los contadores han vencido, se vuelca el registro contador al registro REG_DAT del mapa de registros de E/S de la tarjeta, para que el Módulo CPU pueda leer la medida a través del bus de 8 bits. Posteriormente se resetean los contadores y se pone el bit REG_CS<1> a “1” para que el Módulo CPU pueda saber si byte contenido en REG_DAT corresponde a la medida actual.

No se detallará en este apartado como las tarjetas de adquisición gestionan el acceso que inicia el módulo CPU al bus asíncrono de 8 bits, por considerar que el apartado de la gestión del bus ha quedado suficientemente definida en el capítulo “EL BUS DEL SISTEMA”, y en el código fuente comentado contenido en el CD-ROM adjunto a esta memoria.

4.3. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

CLIENTE

Se entiende por sistema cliente el programa que se ejecuta en un ordenador personal tipo PC que a través de un enlace mediante un puerto serie tipo RS232C se comunica con el módulo CPU del sistema METEODAT (o sea, con el PIC16F877) para indicarle las operaciones que debe realizar. De esta forma el programa residente en el PIC actúa como un “servidor”, como ya se ha explicado en el anterior apartado.

El cliente se ha implementado en un programa creado para el sistema operativo MSDOS y consta de dos ficheros: “METEODAT.EXE” y “METEODAT.INI”. El primero de ellos es el programa ejecutable y el segundo es una base de datos en formato de texto en la que se guardan las características de todas las tarjetas de adquisición de datos existentes (byte de identificación, cadena de texto identificativa, tipo de medida que realiza la tarjeta y rangos de medida). El código fuente “METEODAT.CPP” está programado para el lenguaje C++, en concreto bajo el entorno de programación Borland C++ V3.1. Todos estos ficheros se encuentran en el CD-ROM adjunto a esta memoria.

El programa cliente posee un interface con el usuario que le permite aprovechar las diferentes posibilidades que ofrece el sistema METEODAT. Las opciones permitidas por lo tanto por el sistema prácticamente coinciden con los comandos del protocolo que se han descrito anteriormente.

Se distinguen entre opciones básicas de usuario, que permiten utilizar el sistema para adquirir datos meteorológicos y guardarlos en un fichero, y las opciones de depuración o avanzadas, que se utilizan a la hora de testear el correcto funcionamiento del hardware y durante la depuración de los prototipos de las placas de adquisición de datos.

Las opciones básicas que permite el sistema cliente se muestran a continuación:

1.- Chequear la conexión RS232. Que se puede implementar utilizando directamente el comando PC_232 visto anteriormente en el protocolo de comunicaciones.

2.- Chequear el bus de las tarjetas. Es una opción que detecta las tarjetas de adquisición que hay insertadas en el bus asíncrono de 8 bits, leyendo la Identificación de cada tarjeta (mediante los comandos PL_TAR y PE_TAR), y determinando mediante el fichero METEODAT.INI que tipo de medidas realiza cada tarjeta. Además mostrará por pantalla una cadena de texto identificativa de la tarjeta para que el usuario pueda reconocer la tarjeta insertada sin intervención ninguna por parte del usuario y sin que se tenga que modificar ningún jumper, ni insertar las tarjetas de adquisición en un orden predeterminado en los slots del bus.

Si la tarjeta "X" realiza medidas del tipo "analógico" pondrá a "1" el bit "X" del registro OP_1 de la memoria del PCF8583 y si no realiza este tipo de medidas lo pondrá a "0". Y si la tarjeta "X" realiza medidas del tipo "digital" pondrá a "1" el bit "X" del registro OP_2 de la memoria del PCF8583. De esta forma el PIC16F877 puede conocer (leyendo OP_1 y OP_2) que tipo de medida realiza cada tarjeta a la hora de muestrear datos.

Para programar los registros OP_1 y OP_2 el programa cliente utiliza los comandos del protocolo PL_CLK y PC_CLK (primero se hace una lectura de los registros del timer mediante PL_CLK y los guarda en una estructura dedicada a tal efecto, modifica los registros OP_1 y OP_1 y por último guarda toda la estructura en memoria del timer, excepto los 6 registros de fecha y hora, utilizando el comando PC_CLK).

3.- Chequear bancos de memoria. Se utiliza ante la sospecha de que un chip de memoria serie (o el bus I2C que le une al PIC16F877 del módulo CPU) no funciona correctamente. El usuario introduce un byte que se escribirá en la dirección 0x00 de cada banco de memoria y recibe posteriormente el valor leído en la dirección 0x00 de cada uno de los 4 chips de memoria EEPROM (existan o no). Para implementar esta opción se utiliza el comando PC_MEM.

4.- Ver hora local. Muestra la hora y fecha que mantiene el reloj de tiempo real del PC. También muestra la hora y fecha que contiene el timer PCF8583 en los 6 registros que

utiliza a tal efecto (de la dirección 0x01 a la dirección 0x06 de la memoria del timer). El programa pide al usuario el último año múltiplo de 4, ya que el timer codifica el año en dos bits, para tener en cuenta hasta 4 años (el 0 lo interpreta como un año bisiesto). El valor introducido por el usuario se sumará al valor entre 0 y 3 del timer para obtener el año correcto. Como el año 2000 no es bisiesto ya que es múltiplo de 400, el sistema METEODAT sufriría una especie de “efecto 2000”, que obviamente no debe preocuparnos. Para leer la hora y fecha del timer se utiliza el comando del protocolo PL_CLK.

5.- Cambiar hora PC. Se utiliza para actualizar la hora y fecha local del PC. No requiere por lo tanto comunicación alguna con el módulo CPU.

6.- Cambiar hora PCF8583. Es la opción complementaria a la anterior, ya que el usuario utiliza esta opción para poner en hora el reloj local del sistema METEODAT. El usuario introduce la fecha y hora y el programa cliente hace las conversiones pertinentes para pasarlos al formato que utiliza el timer (a los 6 registros de fecha y hora de su memoria local). Para llevar a cabo esta acción el cliente utiliza los comandos PL_CLK y PE_CLK (primero se hace una lectura de los registros del timer mediante PL_CLK y los guarda en una estructura dedicada a tal efecto, actualiza los 6 registros de fecha y hora de la estructura y por último guarda toda la estructura en la memoria del timer utilizando el comando PC_CLK).

7.- Sincronizar hora con la del PC. Esta opción es parecida a la anterior, pero no se requiere que el usuario introduzca la hora para introducirla en el timer, ya que se obtiene de la hora almacenada en el reloj de tiempo real del PC.

8.- Capturar datos meteorológicos. El usuario utiliza esta opción cuando quiere que la estación comience a muestrear y almacenar datos analógicos. Para ello se debe configurar el timer PCF8583 del módulo CPU para que “avise” al PIC16F877 mediante una interrupción de que debe comenzar a muestrear datos.

Para ello se pide al usuario el tipo de unidad de tiempo a contar entre dos muestreos (segundos, minutos, horas o días). Luego se le pide el número de unidades que deben

pasar entre dos muestreos. Posteriormente hay que introducir en que momento debe producirse el primer muestreo después de que el timer inicie la cuenta (cantidad que debe restarse al número de unidades anterior para obtener el tiempo que pasará hasta que se produzca el primer muestreo de datos). Posteriormente el programa pregunta al usuario si desea que la cuenta del timer comience o por el contrario si prefiere que se empiece a capturar datos en una fecha concreta.

En el primer caso el usuario a terminado la configuración del timer y la estación comenzará a capturar datos cuando el registro “temporizador” (dir 0x07) del timer sea igual que el registro “temporizador de alarma” (dir 0x0F).

En el segundo caso, el usuario introducirá una fecha y una hora que el programa escribirá en los registros de alarma (dir 0x09 a 0x0E), terminando la configuración del timer por parte del usuario. Cuando estos registros coincidan bit a bit con los 6 registros de fecha y hora (dir 0x01 a dir 0x06) comenzará la adquisición de datos en la fecha programada.

Para realizar todas estas opciones se utilizan los comandos del protocolo PL_CLK y PC_CLK (primero se hace una lectura de los registros del timer mediante PL_CLK y los guarda en una estructura dedicada a tal efecto, actualiza los registros de la estructura mencionados y por último guarda toda la estructura en la memoria del timer utilizando el comando PC_CLK).

9.- Descargar datos meteorológicos. Cuando el usuario selecciona esta opción los datos de la memoria EEPROM serie del módulo CPU se descargan en un fichero en el PC. Todo comienza cuando el programa pide al usuario el nombre del fichero. El programa lo crea e inmediatamente realiza una identificación de las tarjetas de adquisición al estilo del punto 2.-, solo que no se actualizan los registros OP_1 y OP_2 del timer. También se leen los registros del timer mediante el comando PL_CLK, para que mediante la lectura de los registros OP_1 y OP_2 se pueda conocer que tipo de medidas de cada tarjeta se han almacenado en la memoria.

Con estos datos se almacena en el fichero de datos una cabecera en la que se indica la tarjeta que está insertada (mediante la cadena de texto identificativa contenida en el fichero METEODAT.INI) y que columna de datos corresponde a cada sensor. Los datos serán escalados al rango indicado en el fichero METEODAT.INI, en el que está

almacenado el rango máximo y mínimo de la medida correspondiente a cada sensor de cada tarjeta. Por ejemplo, en el caso de la medida de la temperatura, en el fichero .INI se almacena el rango inferior y superior -40 y 80 , por lo que el dato de temperatura almacenado en la memoria, que se representa como un número entero entre 0 y 1023 se escala al rango de -40 y 80 y se guarda en la columna que le corresponde en el fichero de datos.

Las columnas de datos se almacenan en el siguiente orden:

Los datos de cada tarjeta (una o dos columnas según se haga una medida “analógica” y/o una medida “digital”) se almacenan de izquierda a derecha según el número de slot que ocupe dicha tarjeta en el bus de datos. Por ejemplo las columnas de datos correspondientes a la tarjeta que está en el slot 1 están a la izquierda de los datos de la tarjeta insertada en el slot 2.

Dentro de cada tarjeta, si adquiere los dos tipos de medidas, a la izquierda se almacena la medida “analógica” y a su derecha la medida “digital”.

En el fichero no se almacena toda la memoria del mapa de memoria (almacenado en el PIC16F877), ya que si el sistema ha capturado pocas medidas el usuario tendría que esperar un tiempo innecesario. Por lo tanto se vuelca la memoria hasta la última dirección que se ha accedido para guardar datos meteorológicos en la memoria EEPROM. Esta dirección de 24 bits está formada por los registros del timer DIR_1 (parte alta), DIR_2 y DIR_3 (parte baja), que corresponden con las direcciones del timer 0x18, 0x19 y 0x20 respectivamente.

Para realizar la transferencia de la descarga de los datos de la memoria del módulo CPU se utiliza el comando PL_DOW del protocolo de comunicaciones.

10.- Resetear valores del sistema. Se utiliza para borrar todas variables internas que describen el estado del módulo METEODAT. Estas variables se encuentran en la memoria del timer PCF8583, por lo que el sistema se resetea borrando todos los registros del timer que se utilizan. Solamente se debe recurrir a esta opción ante un hipotético mal funcionamiento de la estación meteorológica.

Las opciones de depuración o avanzadas son las siguientes:

11.- Leer registros del PCF8583. El desarrollador del sistema utiliza esta opción para conocer el estado interno del sistema METEODAT (y depurar el software del microcontrolador), ya que todas las variables que definen ese estado, además de los registros de hora y fecha, se encuentran en la memoria del timer. Se utiliza el comando PL_CLK del protocolo para llevar a cabo esta opción.

12.- Leer de la memoria. Mediante esta opción el desarrollador puede leer cualquier posición de la memoria EEPROM del módulo CPU, previa introducción de una dirección de 24 bits (Ver el comando PL_MEM del apartado dedicado al protocolo de comunicaciones serie).

13.- Escribir en la memoria. Es la opción complementaria a la anterior y el desarrollador puede escribir un byte en la memoria EEPROM, previa introducción de una dirección de 24 bits (Ver el comando PE_MEM del apartado dedicado al protocolo de comunicaciones serie).

14.- Leer registro de una tarjeta. El desarrollador puede depurar el software y hardware de las tarjetas de adquisición de datos al permitirse mediante esta opción la lectura de un registro cualquiera del mapa de registros de una tarjeta insertada en un slot del bus. Para ello se utiliza el comando PL_TAR del protocolo de comunicaciones serie.

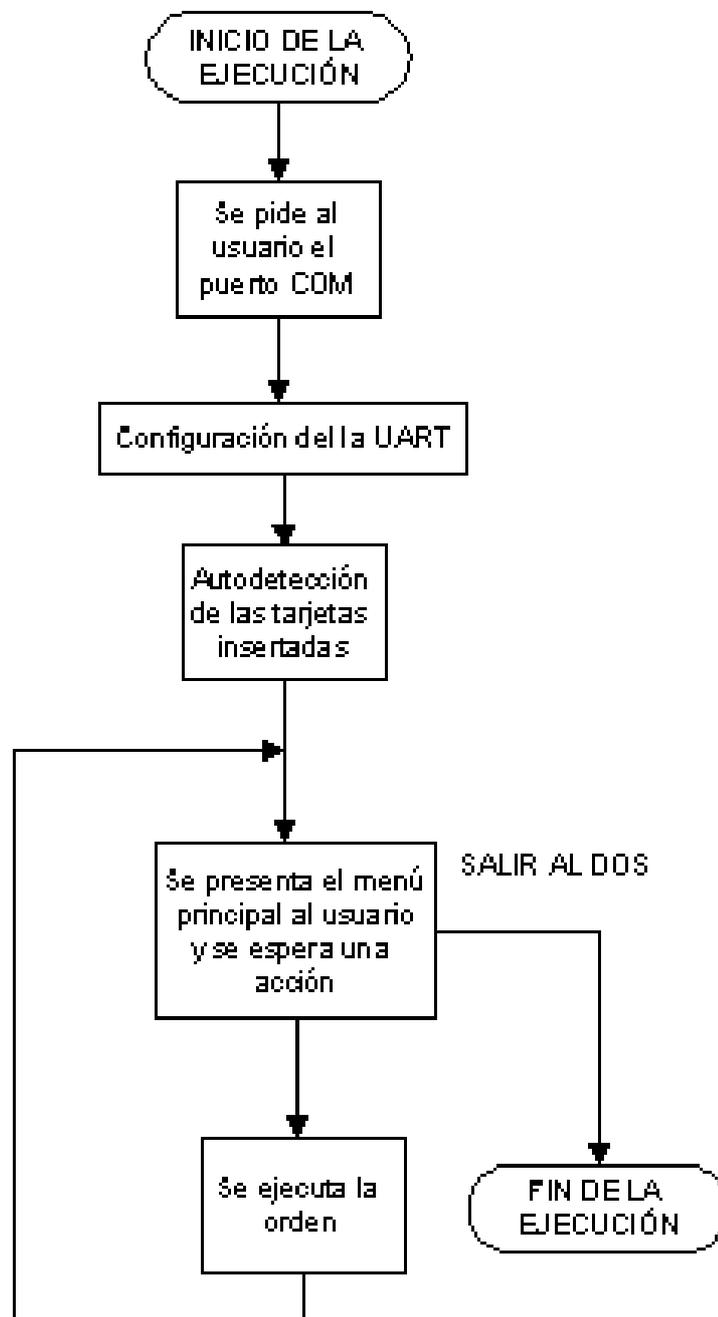
15.- Escribir Registro e la tarjeta. Es la opción complementaria a la anterior y el desarrollador puede leer cualquier registro de una la tarjeta de adquisición insertada en el bus de datos (ver comando PE_TAR del bus de datos).

16.- Muestrear canales analógicos. Esta opción realiza un bucle en el que se muestran por pantalla en tiempo real las 6 tensiones digitalizadas presentes en las líneas analógicas AN0 a AN5. De esta forma el desarrollador de tarjetas de adquisición puede realizar los ajustes necesarios en la salida analógica ANx de la tarjeta sin necesidad de sacarla del bus.

A continuación se mostrará la secuencia de acciones que lleva a cabo el programa desde su ejecución. Lo primero que se hace es pedir el puerto serie que se va a utilizar para la comunicación serie entre el PC y el módulo CPU. Hay cuatro puertos disponibles: COM1, COM2, COM3 y COM4.

El modelo de USAR recomendado para la comunicación con el sistema METEODAT es el 16550, ya que posee una cola FIFO que evita el solapamiento de bytes cuando el módulo CPU envía una ráfaga de información (esta sobreescritura es más que probable ya que la velocidad del puerto serie es alta, 57Kbit/seg), ya que permite almacenar los bytes que van llegando temporalmente mientras se van leyendo los primeros que han llegado. Otros modelos más antiguos, como el 8250 y el 16450, no poseen esta FIFO implementada en hardware, por lo que no se pueden utilizar en este tipo de aplicación. Afortunadamente estas versiones ya no se encuentran en los ordenadores modernos.

A continuación se va a realizar un chequeo de las tarjetas que hay insertadas en el bus, mostrándoselas por pantalla al usuario y configurando los registros OP_1 y OP_2 de la memoria del timer. Por último se espera la introducción de una de las 16 órdenes mostradas anteriormente.



5. Anexos

5.1. PRESUPUESTO, MATERIALES

Pag.	Nombre	Unidades	Codigo RS	Precio Unitario (pts)	Precio Total (pts)	
205	Conector de 50 pines	9		400	3600	3600
	XTAL-SC 32768 Hz	1		200	200	3800
	XTAL-AT 8MHz	4		200	800	4600
	X-TAL- AT 16 MHz	1		200	200	4800
	condensadores Electrolíticos	5		26	130	4930
	PIC 16F84A	4		1020	4080	9010
	74LS33	4		110	440	9450
643	CA358	5	810-194	118	590	10040
	Potenciometros Alargados	4		105	420	10460
	Potenciometros de 1k y 10k y 100k	6		75	450	10910
	Resistencias de 1/4 W	26		8	208	11118
	Espadines	30		5	150	11268
909/239	Jampers	6		5	30	11298
792	7805	2	298-8514	96	192	11490
	7808	3		100	300	11790
	7812	1		80	80	11870
	2N2907	4		80	320	12190
565	2N222A	7	295-028	72	504	12694
	PIC16F877	1		2500	2500	15194
	Conmutadores Integrados	3		200	600	15794
	Placa Cto Impreso Doble Cara	2		850	1700	17494

	Bateria Recargable 3.6v/60mA	1		540	540	18034
	Diodo 1N4007	1		40	40	18074
	74LS138	1		115	115	18189
747	MAX232	1	655-290	422	422	18611
	Memorias Serie(24XX256)	4		1000	4000	22611
906	Zocalos DIP de 14 pines	4	197-2653	20	80	22691
906	Zocalos DIP de 8 pines	10	197-2647	20	200	22891
906	Zocalos DIP de 18 pines	4	197-2675	20	80	22971
906	Zocalos DIP de 16 pines	2	197-2669	20	40	23011
221	Conector DB9	1	472837	231	231	23242
	Pulsador NormalyOFF	1		250	250	23492
Total en Pesetas						23492

5.1.1 Coste de diseño

<i>Mano de obra (2 Ingenieros durante 1 mes)</i>	<u>833333 Ptas</u>
<i>Material</i>	<u>23492 Ptas</u>
<i>IVA 16%</i>	<u>137092 Ptas</u>
TOTAL	<u>993917 Ptas</u>

5.1.2 Presupuesto de comercialización

Coste de componentes (Descuento del 20 % “al por mayor”) _ 18793 Ptas

Coste de Ingeniería _____ 150000 Ptas

Coste total por unidad _____ 168793 Ptas

Beneficio recomendado (50%) _____ 84396 Ptas

PVP Unitario _____ 253189 Ptas

5.2. CONTROL NUMÉRICO

Una vez generado el Layout a doble cara en el OrCAD, los ficheros que nos interesan son:

PLACA.BCT	--> Fichero GERBER de la cara de soldadura.
PLACA.TOP	--> Fichero GERBER de la cara de componentes.
THROUGH-HOLE.TAP	--> Fichero EXCELLON de los taladros.

PROCESAMIENTO:

1º Cargamos los ficheros en cuestión

Los ficheros GERBER los reconoce y carga automáticamente.

El Fichero EXCELLON pregunta por el formato, que pueden averiguar el propio programa (Hint by program)-->INCHES, 2.4

2º si hace falta de la vuelta (mirror) a los taladros

Edit --> Add fixing holes (Vertical fixing holes)

RightButton --> Select Layer (*.TAP)

RightButton --> Mirror over Fixing Holes

File --> Save as (DRILL FILE)

Guardar la herramienta si Placa *.TXT

PLACA.NCD <-- Fichero que lee DRILLPRO.EXE

3º Damos la vuelta a las caras de soldadura y hallamos los contornos

Edit --> Add fixing holes (Vertical fixing holes)

RightButton --> Select Layer (*.BOT)

RightButton --> Mirror over Fixing Holes

File --> Create Milling Data (OPC por defecto)

¿Chequea Milling Data?--> si

File --> Save Milling Data

PLACABOT.PLT <-- Fichero Que lee ROUTEPRO.EXE

4º hallamos contornos para los puntos de la lata de componentes

RightButton --> Salect Layer

File --> Create Milling Data (OPC por defecto)

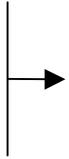
¿chequear? --> si

File --> Save Milling Data

PLACATOP.PLT

Finalmente:

PLACA.NCD
PLACABOT.PLT
PLACATOP.PLT
PLACA.TXT



nos que servían que para la
máquina que de CNC

Si queremos eliminar que todo el que cobre que sobra que, haremos:

- elegimos que la capa
RB --> Select Layer --> *.BOT
- Encuadramos el diseño dentro de un rectángulo
Barra de herramientas --> Add Rectangle
- RB --> Fill With Prilling Lines
y seleccionados la zona o zonas a rellenar
- El resto igual.

Valores Aconsejables para la maquina de CNC:

- Tolerancia → 0,025 mm
- Output → 0,025 mm

5.3. PRUEBAS DEL SISTEMA

Se ha tratado de comprobar la viabilidad práctica del sistema mediante la realización práctica de una maqueta en la que se han situado los diversos sensores que utilizan las cuatro tarjetas de adquisición desarrolladas para la toma de datos meteorológicos durante el intervalo de tiempo comprendido entre las 13:29:00 del 11-6-2001 hasta las 9:44:00 del 14-6-2001. El periodo entre muestreos sucesivos se ha elegido en 2 minutos (T_s), de forma que la memoria EEPROM se llenará en 2,8 días y el sistema METEODAT dejará de tomar muestras. El intervalo de tiempo (en minutos) en el que el sistema estará tomando muestras es el siguiente:

$$T(\text{min}) = \frac{N \times T_s}{\text{bytes_almacenados_por_cada_muestreo}}$$

En el caso de tener insertadas en el bus de datos las 4 tarjetas de adquisición analizadas, el tiempo que puede estar almacenando muestras será:

$$T(\text{min}) = \frac{N \times T_s}{6_{\text{fecha}} + 1_{\text{pluviómetro}} + 1_{\text{anemómetro}} + 2_{\text{termómetro}} + 2_{\text{higrómetro}} + 2_{\text{barómetro}}}$$

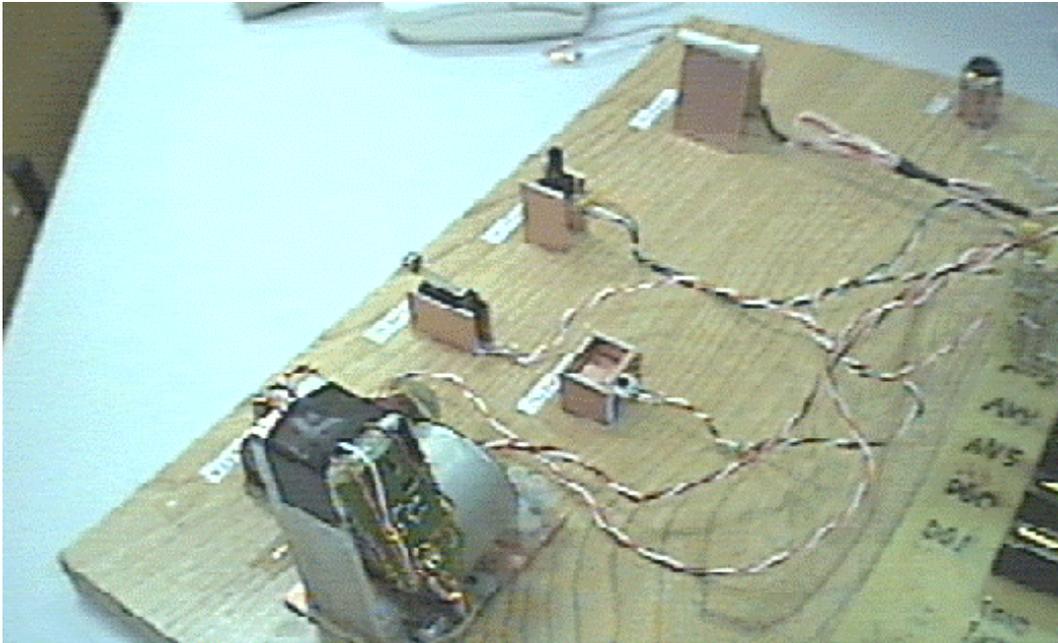
Donde N es el número de bytes de la memoria serie EEPROM donde se almacenan las muestras, y T_s es el tiempo entre dos secuencias de captura de datos meteorológicos (en minutos).

Durante las pruebas se ha emplazado el sistema al lado de una ventana abierta, ya que el prototipo no dispone de protección alguna como para situarlo en la intemperie. En concreto se ha situado en el laboratorio nº 24 del departamento de Electrónica de la Escuela.

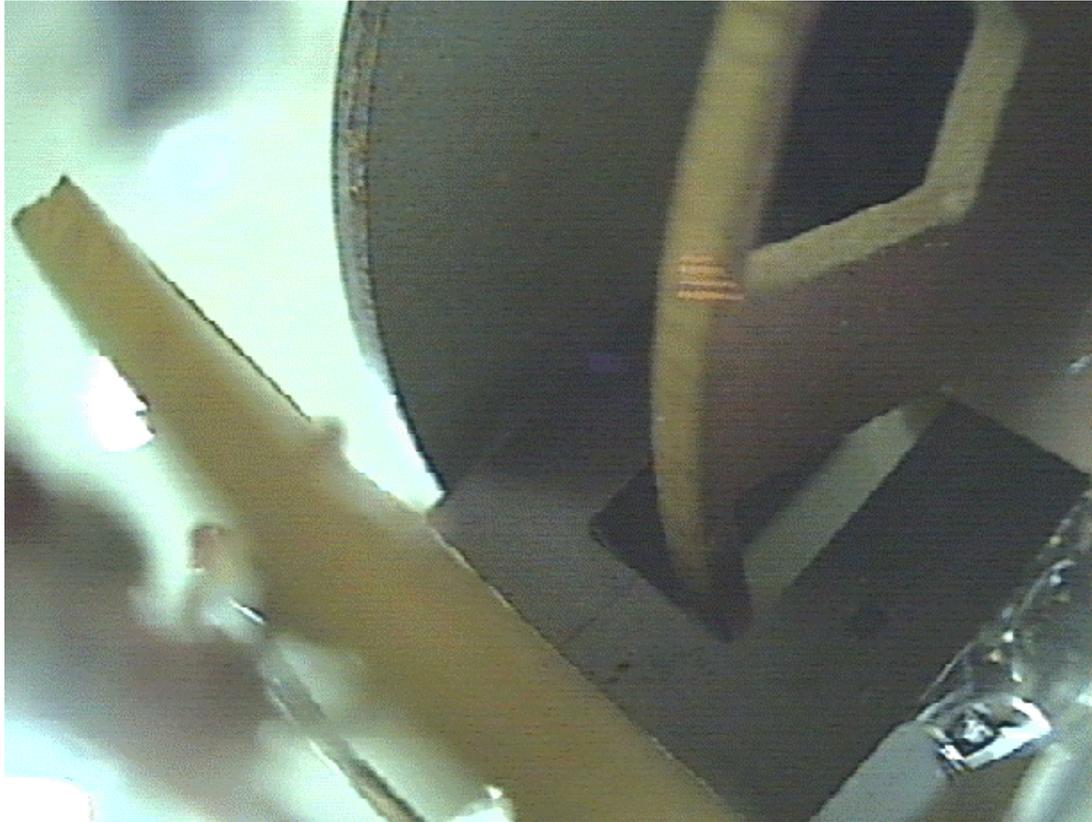
Se han tenido en cuenta las medidas realizadas por tres sensores: El sensor de temperatura (Pt100), el sensor de humedad (HIH3605) y el sensor de presión resistivo en configuración de puente de Wheastone. Se han obviado el resto de medidas por

la imposibilidad material de realizarlas (no disponemos de un pluviómetro comercial de balancín para conectarlo al conmutador que actúa como sensor, como tampoco disponemos del cuerpo móvil de un anemómetro para conectarlo al sistema de encoder óptico realizado para simular la velocidad del viento y tampoco se dispone de la parte móvil de una veleta para fijarla de forma solidaria al eje del potenciómetro que mide la velocidad del viento).

La disposición de los sensores sobre el soporte del prototipo se muestra en la siguiente imagen:



Para poder simular la medida de la velocidad del viento, se ha creado un dispositivo formado por un motor de corriente continua de 6V, cuyo eje hace girar un encoder diferencial que se va a interponer entre la luz infrarroja emitida por el diodo LED del sensor y su fototransistor. Variando la tensión de alimentación y/o un pequeño freno de fricción que posee el dispositivo, se puede simular una velocidad de viento variable y comprobar los resultados obtenidos en el fichero de datos que posteriormente se descargue al PC. A continuación se muestra en detalle el acoplamiento entre el encoder y el optoacoplador que constituye el sensor del anemómetro.



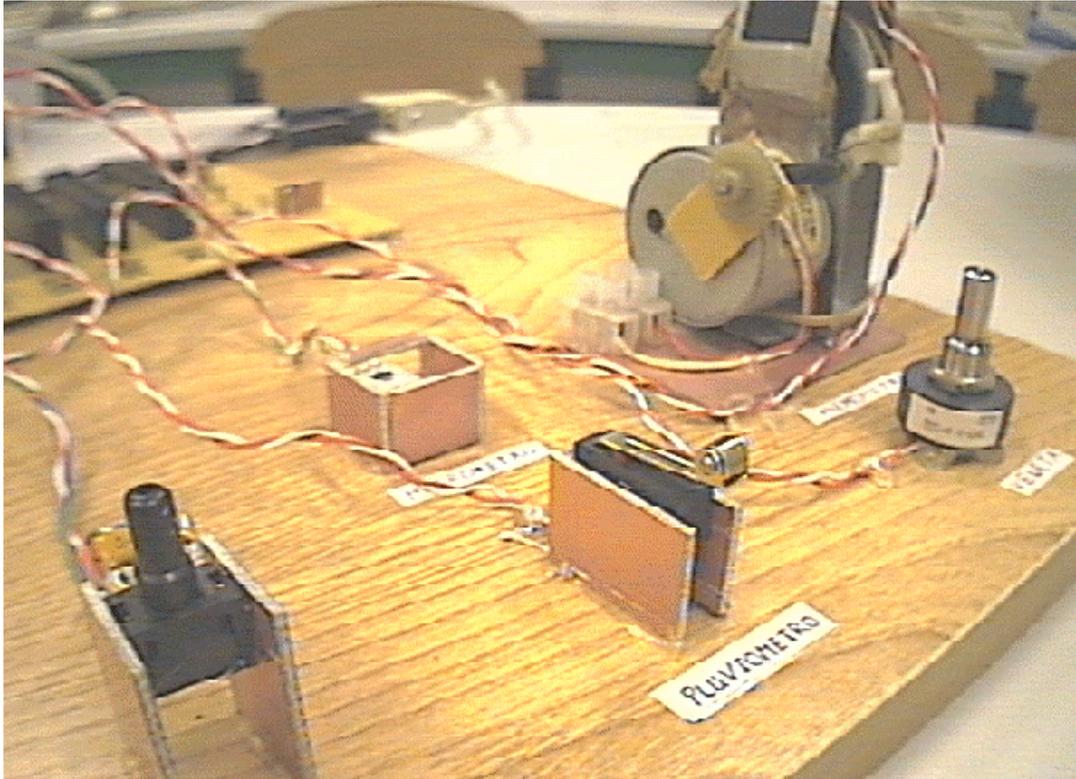
El sensor de temperatura (Pt100) se ha tratado de aislar del soporte del prototipo y así evitar errores en la medida debidos a que este soporte se encuentre a distinta temperatura que la ambiental, por lo que se ha optado por suspenderlo en el aire mediante dos soportes:



También se han tomado precauciones con el higrómetro que como se trata de un sensor delicado, se evita un posible daño mecánico mediante varios elementos protectores situados a su alrededor. Además también se encuentra suspendido mediante una estructura para evitar los errores producidos debido a una temperatura diferente de la ambiental del soporte del prototipo:



Por último se muestra la disposición del sensor pluviométrico que se ha implementado mediante un interruptor “final de carrera” para poder simular el basculamiento del balancín del sensor, manualmente. También se accionará manualmente el sensor de la veleta (el potenciómetro de la derecha de la imagen). En la parte inferior a la izquierda se muestra el emplazamiento del sensor de presión. Se le ha tapado mediante cola térmica el orificio de presión de referencia (no se ve en la fotografía por situarse en la parte inferior del sensor) y tomará la presión ambiental a través del conducto superior:



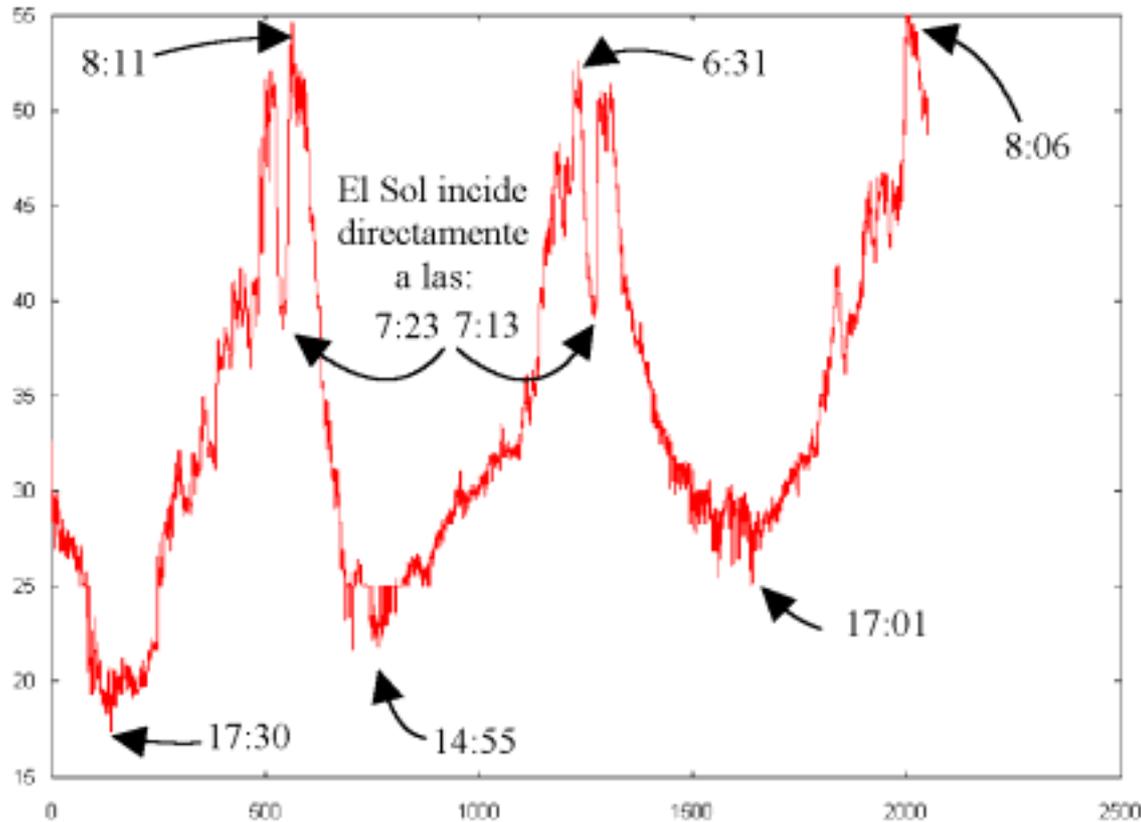
Los datos recogidos se encuentran en el fichero “PRUEBA.TXT” del CD-ROM adjunto a esta memoria.

En primer lugar se muestran en el siguiente gráfico, los datos tomados durante los 2,8 días correspondientes a la humedad relativa (en unidades de %). Las muestras se han tomado durante días soleados, por lo que se puede apreciar que la humedad desciende hasta mínimos locales hacia la mitad de la tarde, más o menos cuando la temperatura es máxima.

Los máximos de humedad se dan sin embargo a primera hora de la mañana cuando el Sol empieza a aparecer sobre el horizonte y la condensación de agua es máxima. En la cercanía de esos máximos se puede apreciar sin embargo la existencia de mínimos locales, que son debidos a la incidencia directa de la radiación solar sobre el sensor de humedad, calentándolo y provocando un descenso de la humedad.

En realidad estos datos son validos a nivel de test del sistema (indican que el sistema METEODAT funciona correctamente), pero no tienen ninguna validez a la hora de

medir con precisión los parámetros atmosféricos, ya que las medidas estarán sesgadas debido a la incorrecta situación de la estación metereológica. Esto es así debido a que una estación metereológica debe estar a la intemperie (y no al lado de una ventana en un laboratorio), en un sitio despejado y alejado de edificios y vegetación arborescente para que las medidas de los datos atmosféricos sean fiables.



La siguiente medida que será analizada será la medida de la temperatura. En la figura de a continuación se muestra el historial de los datos de temperatura que se han tomado (en grados Centígrados). Los máximos de temperatura corresponden con las horas de la mitad de la tarde, como ya se pudo predecir mediante la anterior gráfica, mientras que las temperaturas mínimas se dan a primera hora de la mañana.

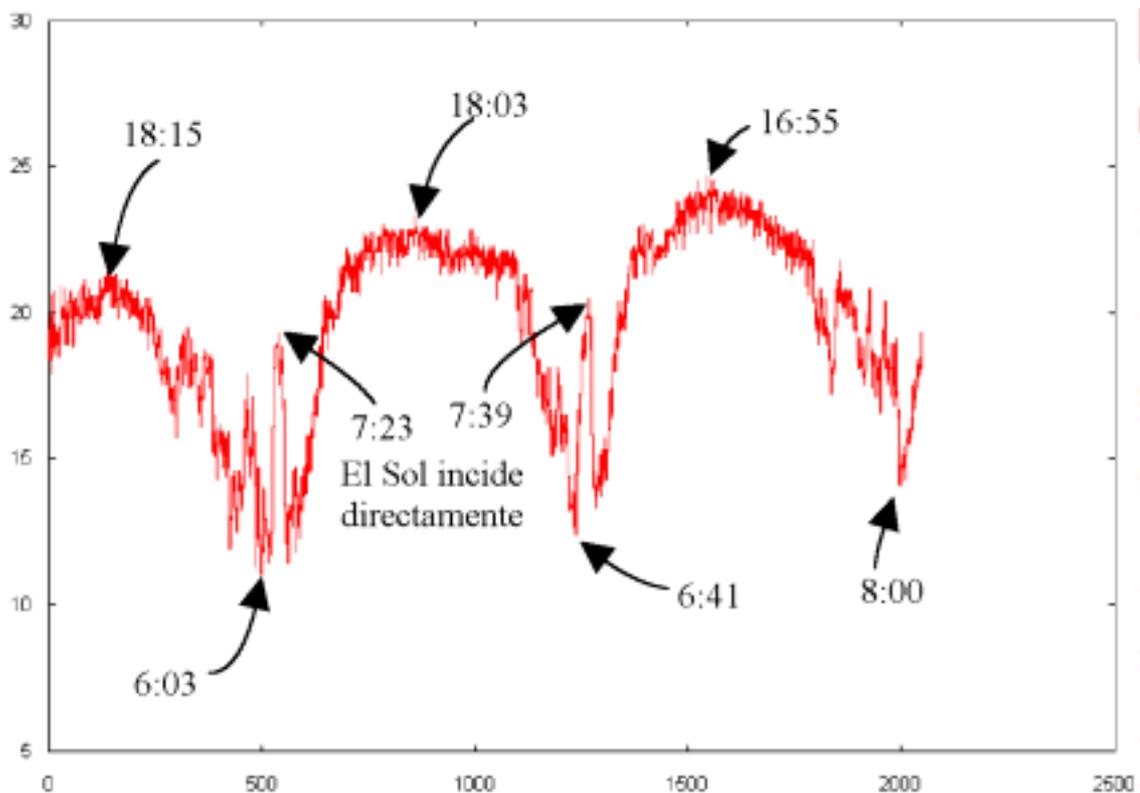
Como en el anterior caso se aprecia que durante un instante de tiempo durante el mínimo de temperatura se produce un ascenso rápido de temperatura que vuelve a descender rápidamente instantes después. Este máximo se debe a la incidencia directa del Sol sobre el sensor de temperatura, al igual que ocurría con el sensor de humedad.

En esta gráfica se aprecia la existencia de ruido que produce un error en la medida de aproximadamente $\pm 0,7C$. Este error es debido a la existencia de ruido en las primeras etapas del amplificador. Una forma de evitar este ruido sería filtrar los datos mediante un filtro FIR pasa baja, realizado mediante software por el programa que recoge los datos en un PC, con una función de transferencia del estilo:

$$y[n] = a * y[n-1] + b * y[n] + a * y[n+1]$$

Donde a y b se eligen para especificar el polo del filtro. Aunque la función de transferencia podría ser de orden mayor y por lo tanto más alcance de una muestra por encima y por debajo del valor "n" actual.

Otra forma sería implementar filtros hardware en el circuito de acondicionamiento de cada sensor. Dentro de unas líneas se darán una serie de recomendaciones hardware con el fin de evitar este ruido.

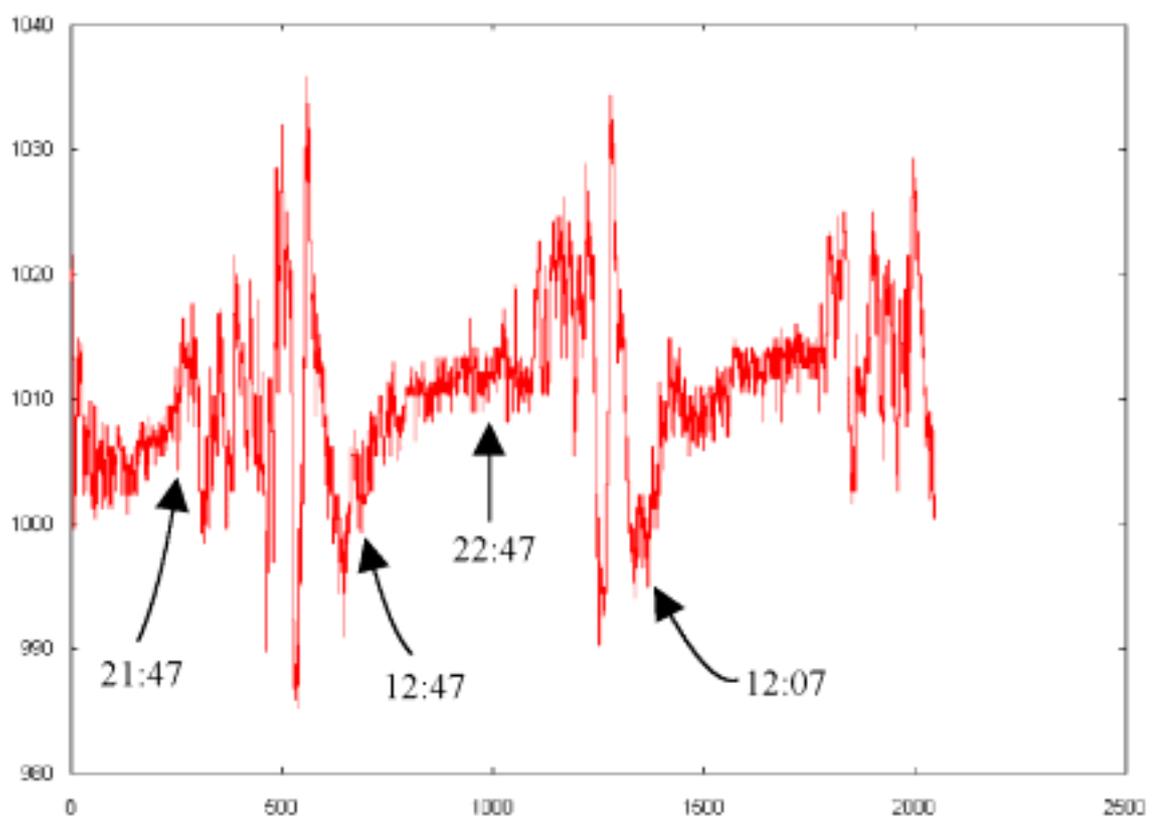


La última medida que se va a analizar es la medida de la presión atmosférica, que se muestra en la figura siguiente. Se puede apreciar la existencia de mucho ruido, aunque en este caso no tiene nada que ver el ruido eléctrico. Durante la noche y la mañana

el ruido aparente es inaceptable. Esto es debido a una cuestión de emplazamiento del prototipo, ya que se encuentra en una ventana de una zona del edificio que actúa como un embudo para el viento cuando sopla en una determinada dirección, creando perturbaciones en la medida de presión obtenida.

Este hecho queda constatado debido al buen funcionamiento que se tiene para el intervalo de tiempo desde el mediodía hasta las primeras horas de la noche (aunque también hay perturbaciones debidas al viento).

Se puede apreciar que la presión atmosférica aumenta durante la tarde, a medida que aumenta la temperatura diurna hasta alcanzar el máximo entre las 19:00 y las 21:00.



La eliminación del ruido mediante hardware, que presenta la medida de temperatura se puede llevar a cabo acotando el ancho de banda del ruido a una frecuencia próxima al ancho de banda donde se encuentran las componentes en frecuencia propias de la aplicación en concreto, a fin de aumentar la relación señal ruido.

En el caso de la medición de la temperatura mediante este prototipo no se toman este tipo de precauciones y una forma de corregirlo en un dispositivo comercial sería la implementación de un filtro pasa baja en las etapas de amplificación donde la señal es más pequeña. Por ello se colocará un condensador de 100KpF en paralelo con la resistencia correspondiente a la Pt100, de forma que la constante de tiempo obtenida por la asociación en paralelo de la resistencia del sensor y el mencionado condensador será:

$$T = R \times C = 100\Omega \times 100KpF = 10\mu seg$$

Aunque la constante de tiempo podría ser mayor utilizando un condensador mayor, ya que el ancho de banda de las señales con las que se está trabajando está proximo a 0Hz, se ha elegido el valor de compromiso de 100KpF debido a que el sensor se está conmutando alimentandose con una corriente constante, e inmediatamente después se está realizando una medida, con lo que un valor grande de C podría provocar que el condensador no se cargue completamente a tiempo con la tensión que teóricamente debe tener el sensor, y por lo tanto falsee la medida realizada.

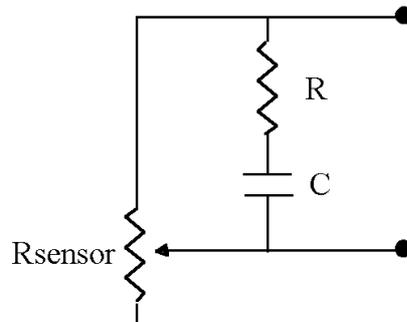
En el caso de la medida de presión también se puede acoplar un filtro al sensor fácilmente sin necesidad de rediseñar las tarjetas de circuito impreso. En el sensor de presión la impedancia (resistencia al fin y al cabo) vista entro el terminal V+ y el Terminal V- y masa es de 7,5KΩ, con lo que si se insertan dos condensadores de 100KpF, uno entre el terminal V- y el terminal GND del sensor y otro entre el terminal V+ y el terminal GND, se tendrá una constante de tiempo de:

$$T = R \times C = 7,5K\Omega \times 100KpF = 0,75mseg$$

Que es bastante mayor al caso anterior, ya que este sensor no se conmuta y por lo tanto no hay restricciones en el tiempo de subida de la tensión de salida del sensor.

Por último, aunque esta medida no se representa, también debería acotarse el ruido que presenta el sensor de dirección del viento, ya que es también un sensor resistivo. A diferencia de los casos anteriores, ahora además del condensador se inserta una

resistencia en serie para que la constante de tiempo del filtro no dependa demasiado de la impedancia del sensor (recordar que el sensor es un potenciómetro de 1K). De forma que ahora el esquema del sensor es el siguiente:



Otra forma adicional de reducir el ruido de medida consiste en introducir dos condensadores (de $1\mu\text{F}$ cada uno) entre cada terminal de tensión de referencia de entrada al CAD del PIC16F877 del módulo CPU y masa. De esta forma se rechaza el ruido que se suma en tensión sobre las tensiones de referencia, y que afecta directamente a la muestra digitalizada (el error ΔV de la tensión de referencia repercute en la medida ya que aparece multiplicado por ésta en el dato digitalizado).

5.3.1. CONSUMOS

Durante el desarrollo del sistema METEODAT se ha tratado de utilizar elementos de bajo consumo ya que la energía eléctrica disponible para la alimentación del sistema puede ser limitada puesto que el sistema de alimentación podría consistir en una serie de baterías cuya duración debe ser maximizada, o podría estar formado por un sistema fotovoltaico cuya carga esté también limitada. Los consumos obtenidos durante las pruebas del sistema son los siguientes:

Sobre la fuente de alimentación de 5V:

- Consumo estacionario = 47 mA
- Consumo puntual durante la adquisición de datos meteorológicos = 90 mA

Sobre la fuente de alimentación de 12V:

- Consumo estacionario = 14 mA
- Consumo puntual durante la adquisición de datos meteorológicos = 75 mA

Como los consumos durante la adquisición de datos se dan durante alrededor de 0,5 segundos cada varios minutos (según el tiempo que el usuario haya programado), no se tomarán en cuenta para el cálculo de la potencia total consumida.

La potencia media consumida por este prototipo:

$$P_m = 12V \times 14mA + 5V \times 47mA = 0,17W + 0,23W = 0,40W$$

Se puede apreciar que la fuente de corriente consume una potencia respetable. Esto es debido a la lógica utilizada. El 74LS138 del módulo CPU y los 74LS33 (uno por cada tarjeta de adquisición), aunque son de lógica de bajo consumo, son dispositivos bipolares y consumen una potencia relativamente grande. Por ejemplo cada 74LS33 consume unos 9mA por tarjeta de adquisición y eso que sólo se utilizan dos de sus 4 puertas NOR.

Por lo tanto, en una versión comercial del sistema METEODAT se recomienda utilizar lógica CMOS en vez de la anterior lógica bipolar. Por ejemplo, una versión 74HC33 consumiría aproximadamente 1mA en estado estacionario, con lo que el nuevo consumo estimado del sistema sería el siguiente:

$$P_m = 12V \times 14mA + 5V \times (47mA + 4tarjetas(1mA - 9mA)) = 0,17W + 0,075W = 0,24W$$

Por lo que el consumo medio estimado mediante una versión comercial del prototipo sería de:

0,25W

5.4. MANUAL DE USUARIO

Para facilitar el trabajo del posible usuario final con el sistema METEODAT se ha desarrollado una sencilla guía de uso del sistema, incluyendo las operaciones más comunes que se pueden realizar con él. El sistema desarrollado consiste en realidad en un prototipo, luego la forma de utilización del sistema puede diferir ligeramente respecto a una versión comercial del mismo.

Se describirá por tanto el funcionamiento del sistema, desde el montaje mismo del sistema METEODAT en el “cuerpo” de la estación metereológica:

Paso 1. Fijar la placa base del sistema dentro del alojamiento hermético de la estación metereológica.

Paso 2. Inserción de la tarjeta CPU en el slot CPU del sistema (ver sección del módulo CPU).

Paso 3. Inserción de las tarjetas de adquisición de datos en los slots 0 al 5. Si alguna tarjeta no realiza medida analógica puede insertarse en los slots 6 y/o 7 (ver sección de cada tarjeta de adquisición desarrollada).

Paso 4. Emplazar los sensores en sus correspondientes posiciones de la estación metereológica y conectar sus conexiones en las bornas de la tarjeta de adquisición que les corresponda.

Paso 5. Alimentar el sistema METEODAT. Aplicar los 5V y 12V de continua en las bornas de alimentación de la placa base del sistema.

Paso 6. Conectar el cable de comunicaciones del sistema entre el puerto del RS232 del sistema METEODAT y un puerto serie “COM” de un ordenador personal.

Paso 7. Ejecutar el programa “cliente” METEODAT.EXE en el ordenador personal.

Paso 8. Introducir el puerto al que se ha conectado el cable de comunicaciones (COM 1,2,3 ó 4). A continuación se detectan las tarjetas insertadas en el sistema METEODAT, se muestran por pantalla y se configura el sistema para que pueda reconocerlas durante la adquisición de datos. A continuación se muestra un menú que representa las opciones

que se pueden realizar mediante el programa cliente. En este momento si la estación estaba realizando un proceso de captura de datos, **se detiene**.

Paso 9. A partir de este momento el usuario puede desear realizar varias opciones (Solamente las “OPCIONES COMUNES” son necesarias). Se detallará el proceso de inicialización del sistema para comenzar a capturar datos. Primero se debe poner el reloj del sistema METEODAT en hora, para que pueda registrar la hora/fecha a la que realiza las capturas meteorológicas. Puede realizarse de dos formas:

- Copiando los valores de fecha y hora del ordenador al sistema METEODAT (opción 7). Para ello el reloj en tiempo real del PC debe estar en hora y si no se puede poner en hora mediante la opción 5 del menú principal.
- Introduciendo la hora y fecha directamente en el sistema METEODAT (opción 6).

Para mostrar la hora y fecha local del PC y del sistema METEODAT se puede utilizar la opción 4.

Paso 10. A continuación se introducirá la opción 8 “Capturar datos meteorológicos”.

El programa pedirá al usuario las unidades a contar entre dos capturas meteorológicas.

A continuación se pedirán el número de unidades a contar.

Posteriormente se preguntará el instante de inicio de la primera captura (normalmente empezará en 0).

El programa pedirá entonces si sobrescribe los datos guardados en anteriores capturas (empieza a guardar datos en la dirección 0x000000 de la memoria del módulo CPU) o si empieza a capturar datos desde la última captura realizada anteriormente (desde la última dirección de la memoria accedida para guardar datos).

Por último el usuario debe decidir si la cuenta de tiempo para capturar datos debe empezar en ese momento o si la cuenta debe empezar en una fecha determinada. En el segundo caso el usuario debe introducir la fecha de comienzo de la cuenta.

Paso 11. Una vez programado el sistema METEODAT para capturar datos, se sale del programa (opción 0), se desconecta el cable serie de los puertos RS232 y se cierra la puerta de acceso al sistema.

Paso 12. Cuando la memoria se llene de datos o cuando el usuario lo crea oportuno, volverá al emplazamiento de la estación meteorológica automática a recoger los datos que ésta ha adquirido durante un determinado espacio de tiempo (ver capítulo de

Pruebas para conocer el tiempo que tarda la memoria en llenarse de datos. Si la memoria se llena de datos la estación deja de capturar muestras metereológicas).

Para recoger los datos el usuario debe conectar el cable de comunicaciones a los puertos RS232 del PC y de la estación metereológica. Posteriormente el usuario ejecutará el programa METEODAT.EXE (ver Paso 8).

Para descargar los datos en un fichero el usuario seleccionará la opción 9 del menú principal e introducirá el nombre de un fichero. En ese momento se iniciará la descarga de datos de la memoria del sistema METEODAT al fichero de datos. Los datos capturados serán escalados a los rangos que contiene el fichero METEODAT.INI.

Posteriormente ese fichero de datos (formato texto) puede ser representado gráficamente por programas como GNUPLOT (contenido en el CDROM adjunto a esta memoria; ver capítulo de pruebas).

Menú principal del programa cliente que se ejecuta en el PC:

```
***** Sistema Abierto de adquisición de datos METEODAT *****
***** OPCIONES COMUNES *****
Chequear Comunicación RS232C          ->1
Chequear el Bus de las Tarjetas       ->2
Chequear Bancos de Memoria           ->3
Ver Hora Local                        ->4
Cambiar Hora PC                       ->5
Cambiar Hora PCF8583                  ->6
Sincronizar hora con la del PC        ->7
Capturar datos metereológicos        ->8
Descargar datos metereológicos        ->9
Resetear valores del sistema !!!      ->10

***** OPCIONES DE DEPURACION Y CALIBRACION *****
Leer registros del PCF8583            ->11
Leer de la Memoria                   ->12
Escribir en Memoria                  ->13
Leer Registro de una Tarjeta          ->14
Escribir Registro de una Tarjeta      ->15
Muestrar Canales Analógicos          ->16

Salir al DOS                          ->0
```

5.5. BIBLIOGRAFÍA

- “PC INTERNO 5” Michael TISCHER y Bruno JENNRICH. Computec-Marcombo-Data Becker, 1998
- “Microelectrónica” Millman, Grabel. Addison-Wesley 1993
- Normativa vigente sobre estaciones meteorológicas automáticas, homologadas por el I.N.M. (Versión de 1996)
- www.microchip.com
- www.questlink.com
- www.fairchild.com
- www.phillips.com
- www.honeywell.com
- www.amidata.com
- www.farnell.com

5.6. CD-ROM ADJUNTO: CONTENIDO

Junto a la memoria de este proyecto se han incluido los siguientes contenidos en soporte óptico:

"X:\Entorno de Desarrollo". Contiene las herramientas software utilizadas durante la realización del proyecto (excepto el compilador Borland C++ V3.1).

"X:\Datasheets". Hojas de características de los componentes utilizados en el sistema METEODAT. Se incluye además el directorio "\MODEM" donde se muestra un integrado que podría utilizarse para dotar al sistema METEODAT de la posibilidad de realizar medidas remotas a través de un MODEM.

"X:\Software". Código fuente, METEODAT.EXE y módulos .HEX de programación del PIC16F877 del módulo CPU y de los PIC16F877 de las 4 tarjetas de adquisición desarrolladas.

"X:\Control Numérico". Ficheros generados para su utilización en el sistema "CNT", que se utiliza para la realización de las placas PCB.

"X:\Proyecto". Documento de la memoria, generada para el proyecto.

"X:\Prueba". Fichero descargado de la memoria del sistema METEODAT, que contiene 2048 muestras de ejemplo, tomadas durante casi 3 días en intervalos de 2 minutos. Utilizar el programa GNUPLOT del directorio "Entorno de Desarrollo" para poder visualizar las muestras de forma gráfica.

"X:\DISEÑO". Este directorio contiene todos los ficheros generados de las tarjetas de adquisición de datos meteorológicos y del módulo CPU. Contiene los diseños para OrCAD Capture 9.1 y los layouts para el programa OrCAD Layout 9.1. Se incluye también el layout del "encoder" diferencial utilizado en el prototipo simulador del anemómetro utilizado durante las pruebas experimentales del sistema METEODAT.

5.7. ESQUEMAS