



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PLUVIOGRAFO  
DIGITAL

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :  
**MIGUEL ANGEL FRANCO SANCHEZ**

DIRECTOR: M. EN I. ROBERTO QUAAS WEPEN



MEXICO, D. F.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1994



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**A mis padres, Miguel y María Elena**

**A mi hermano, Oscar**

# ÍNDICE

I. INTRODUCCION .....	1
II. PLUVIÓMETROS .....	3
2.1 Pluviómetros no registradores .....	3
2.2 Pluviómetros registradores (pluviógrafos) .....	5
III. DESCRIPCIÓN DEL PLUVIÓGRAFO PD-1 .....	8
3.1 Características generales .....	8
3.2 Sistema captador .....	10
3.3 Registrador .....	10
3.3.1 Microcontrolador .....	17
3.3.2 Mapa de memoria del sistema y decodificación .....	19
3.3.3 Puertos de entrada/salida .....	23
3.3.4 Interrupción de tiempo real .....	24
3.3.5 Memorias .....	25
3.3.6 Módulo de despliegue .....	28
3.3.7 Interruptores .....	30
3.3.8 Reloj de tiempo real .....	30
3.3.9 Módulo de comunicación .....	31
3.3.10 Circuito restaurador y señal de RESET .....	32
3.3.11 Alimentación del sistema y control de encendido .....	33
3.4 Formato de almacenamiento de datos .....	35
IV. OPERACIÓN DEL SISTEMA .....	39
4.1 Modos de operación .....	39
4.1.1 Modo de visualización o despliegue .....	39
4.1.2 Modo de registro .....	40
4.2 Interruptores de control y módulo de despliegue .....	40
4.2.1 Interruptores de control .....	42
4.2.2 Módulo de despliegue .....	43
4.2.3 Menú de opciones .....	43
4.2.4 Monitor de eventos en tiempo real .....	46
4.3 Manejo del instrumento .....	47
4.3.1 Inicialización .....	47
4.3.2 Registro .....	50
4.3.3 Procedimiento de revisión y recuperación de datos .....	50

<b>V. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA .....</b>	<b>52</b>
5.1 Módulo I - Inicialización .....	54
5.2 Módulo II - Visualización .....	56
5.3 Módulo III - Registro .....	63
<b>VI. PROGRAMA UTRAD .....</b>	<b>66</b>
6.1 Estructura del programa .....	66
6.2 Recuperación de datos .....	69
6.3 Despliegue de información .....	69
6.4 Graficación de información .....	69
6.5 Monitor de eventos en tiempo real .....	71
6.6 Fin .....	73
<b>VII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>RECONOCIMIENTOS .....</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>78</b>
<b>APÉNDICE Especificaciones Técnicas del Pluviógrafo PD-1 .....</b>	<b>80</b>

# I. INTRODUCCIÓN

Desde hace mucho tiempo el hombre ha estado interesado en medir la precipitación. La referencia más antigua de la que se tiene conocimiento data del siglo IV A.C. en la India, en donde se llevaron a cabo las primeras mediciones cuantitativas de precipitación.

La importancia de medir la precipitación se debe a que estos datos son muy útiles para la agricultura, la meteorología o la hidrología, a fin de elaborar estadísticas acerca de la intensidad, duración y frecuencia de las lluvias. Con esta información se pueden establecer patrones de la precipitación en una determinada región. Por ejemplo, estos datos se pueden emplear durante el desarrollo de proyectos sobre uso del suelo. Ya que a los cultivos les favorece la humedad de ciertos lugares, resulta conveniente delimitar zonas climáticas que correspondan a regiones propicias para determinados cultivos.

Otro ejemplo del uso de los datos de la precipitación es en el diseño de presas, en donde se necesita conocer la variabilidad de la lluvia mes a mes a través de un período largo de tiempo. En este caso es importante el conocer dicha información, ya que de ello depende el diseño de la obra de seguridad y con esto, la viabilidad económica del proyecto.

El territorio de la República Mexicana es muy vasto. Debido a su extensión y a su ubicación geográfica, el país cuenta con una gran variedad de climas. Por lo anterior, es necesario contar con un red de instrumentos que permitan conocer las características pluviales del área donde se llevará a cabo alguna obra agrícola o hidrológica.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un prototipo de pluviógrafo digital autónomo y de bajo costo para la adquisición y almacenamiento de la información de precipitación. Los métodos para la interpretación de los datos pluviales quedan fuera del alcance de este trabajo, sin embargo, al final se dan algunas referencias de consulta sobre el tema.

En el capítulo II se exponen algunos aspectos generales sobre los instrumentos que se emplean para medir la precipitación, es decir, los pluviómetros. Se verán los diferentes tipos de medidores y sus características.

En el capítulo III se explica la forma en que se encuentra constituido el pluviógrafo digital PD-1 diseñado, se presentan los componentes electrónicos que lo integran, y se describen sus principales características.

El capítulo IV trata acerca del funcionamiento y manejo del pluviógrafo en sus diferentes modos de operación: la adquisición y el almacenamiento de datos en una memoria de estado sólido, y la revisión y modificación de los datos del instrumento.

El programa desarrollado para controlar las diferentes tareas que efectúa el pluviógrafo digital se describe en el capítulo V así como las rutinas de programación en forma general.

En el capítulo VI se hace una descripción muy general del programa formulado para una computadora personal, con el fin de establecer comunicación entre el pluviógrafo y la computadora, vía puerto serie, y poder transferir a un archivo la información acumulada en la memoria.

Se incluye un apéndice en el que se presentan las especificaciones técnicas del instrumento desarrollado.

## II. PLUVIÓMETROS

Generalmente la precipitación se mide en términos de la altura del espejo de agua que se acumula sobre una superficie horizontal si la precipitación permaneciera en el lugar en donde cae, es decir, que no sufriera evaporación ni filtración. Esto nos llevaría a suponer que cualquier recipiente abierto con paredes verticales podría utilizarse para medir la lluvia. Sin embargo, para que todas las mediciones realizadas de esta forma sean comparables, el tamaño, la forma y la manera en que se exponen dichos recipientes deben ser similares, ya que en los resultados influyen factores como el viento y las salpicaduras que se producen en los alrededores. En el sistema métrico, la precipitación se mide en milímetros y décimas de milímetro.

Los instrumentos para medir la altura o profundidad de precipitación se denominan pluviómetros, los cuales se clasifican en dos grupos: no registradores y registradores.

### 2.1 PLUVIÓMETROS NO REGISTRADORES

Con los pluviómetros no registradores se mide la altura de la precipitación acumulada durante un cierto intervalo que puede variar de acuerdo con las necesidades del usuario, pero usualmente es diario. Existen diversos tipos de pluviómetros no registradores aunque todos emplean el mismo principio: constan de un tubo colector cilíndrico con un embudo en su parte superior, el cual recibe el agua de la lluvia y la conduce a un recipiente en donde se almacena para su posterior medición. Ésta puede realizarse, dependiendo del tipo de instrumento, vertiendo el contenido del recipiente en una probeta de vidrio graduada, o introduciendo una varilla graduada para medir la altura del espejo de agua.

En la figura 2.1 se muestran 3 tipos de pluviómetros no registradores, las mediciones en (a) y (b) se hacen con la probeta, mientras que en (c) con la varilla de inmersión.



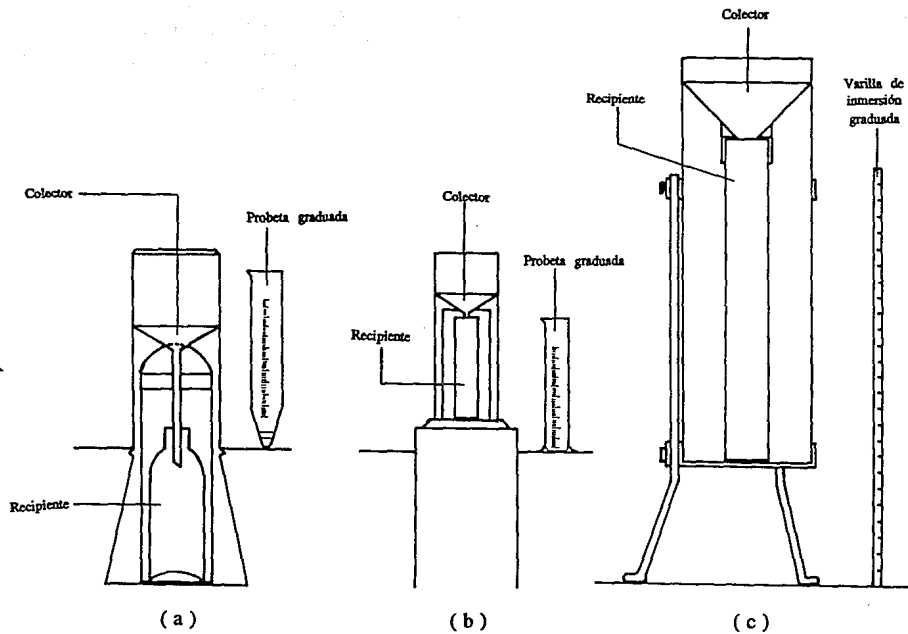


Figura 2.1 Pluviómetros no registradores

Los pluviómetros no registradores dan información de la lluvia diaria. Con ellos se deducen los totales y medidas regionales mensuales y anuales.

## **2.2 PLUVIÓMETROS REGISTRADORES (PLUVIÓGRAFOS)**

Los pluviómetros registradores proporcionan, además de la cantidad de precipitación, información acerca de la intensidad con que cae la lluvia durante un determinado lapso, ya que se registra también el tiempo en que ocurre. Dado que registran la precipitación se les nombra comúnmente pluviógrafos. En general, los pluviógrafos operan con alguno de los siguientes tres principios: de peso, por flotación o balancín.

Un pluviógrafo de peso posee un dispositivo que mide el peso de la lluvia que se colecta en un recipiente. Por efectos del peso, el recipiente se desplaza hacia abajo conforme se va llenando con agua, transmitiendo el movimiento al registrador.

Los pluviógrafos de flotación son esencialmente medidores de nivel de líquidos. Consisten en una cámara en cuyo interior hay un flotador, el cual se encuentra conectado directamente al registrador. El flotador se va elevando conforme el agua de lluvia colectada entra a la cámara, lo cual se aprovecha para hacer el registro.

El pluviómetro tipo balancín está formado por dos recipientes calibrados que se encuentran suspendidos sobre un eje de rotación a manera de balanza. Mediante un embudo, la precipitación que se colecta es conducida hacia uno de dichos recipientes. Cuando éste se llena, el peso del agua hace que el balancín se vuelque, vaciando su contenido y colocando al otro compartimiento en posición para recibir el agua. Así sucesivamente se van llenando alternadamente ambos recipientes mientras continúa la lluvia. El movimiento del balancín en su transición se aprovecha para registrar un evento, es decir, la cantidad de agua almacenada en el recipiente. En la fig. 2.2 se presenta un diagrama esquemático del pluviómetro de balancín. Este detector de eventos está mecánicamente acoplado a un interruptor que genera una señal eléctrica.

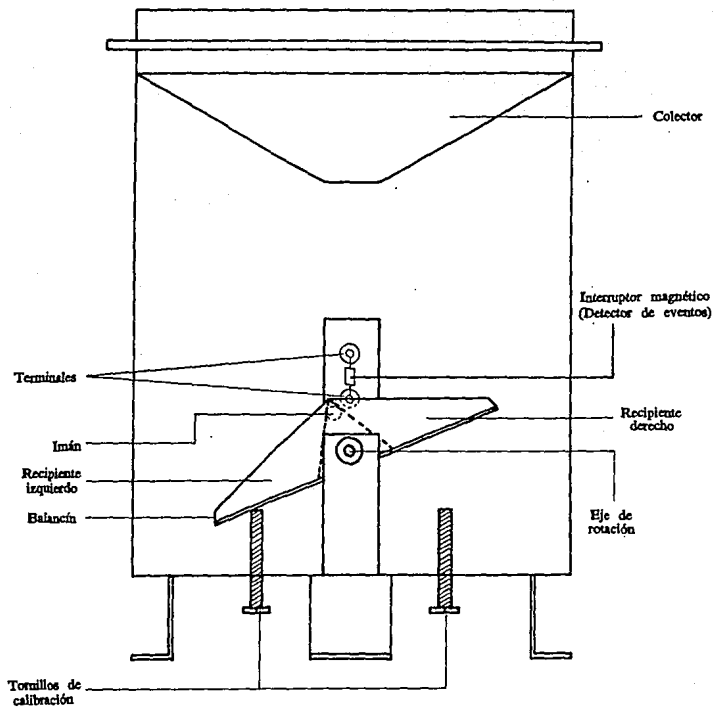


Figura 2.2 Pluviómetro de balancín

Los pluviómetros registradores se instalan en lugares donde se requerirá conocer las intensidades, frecuencias y duraciones<sup>1</sup> de las lluvias, por razones de obras de irrigación, drenaje, alcantarillado, etc.

Generalmente la manera en que se llevan a cabo los registros en un pluviómetro registrador es a través de una plumilla que va conectada a un dispositivo que hace uso de alguno de los principios expuestos con anterioridad. La plumilla hace las inscripciones, conforme se va acumulando la precipitación, en una gráfica dispuesta sobre un tambor giratorio. De esta forma, los registros que se obtienen son continuos y representan la cantidad de lluvia acumulada en un periodo dado. También puede calcularse la intensidad media, ya que se dispone del tiempo en que ocurre la precipitación.

A diferencia de los pluviómetros registradores que emplean los principios de peso y flotación, la información generada por un pluviómetro tipo balancín es discreta, debido a que sólo se registra cuando se produce un "evento", es decir, en el momento en que el agua acumulada en uno de los compartimientos sobrepasa la capacidad de dicho compartimiento, produciendo que el balancín se desequilibre y vacíe su contenido. Valores usuales para estos pluviómetros son 0.5, 1 ó 2 milímetros por evento.

---

<sup>1</sup> Intensidad: es una medida de la cantidad de lluvia que cae en un tiempo determinado. Generalmente se expresa en mm/hr.

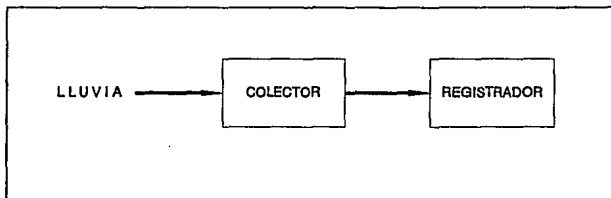
Frecuencia: se refiere a la periodicidad que presenta una precipitación de determinada magnitud.

Duración: es el período durante el cual cae la precipitación.

### III. DESCRIPCIÓN DEL PLUVIÓGRAFO PD-1

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los pluviómetros registradores se encuentran formados básicamente por 2 partes: el sistema captador y el registrador, las cuales se muestran en la figura 3.1 a manera de bloques.



**Figura 3.1** Diagrama de bloques de un pluviómetro registrador

El sistema captador está compuesto por un dispositivo que emplea alguno de los tres principios mencionados en el capítulo anterior: de peso, flotación o balancín. Tiene como objetivo coleccionar la precipitación que cae en una determinada área y transferir la información que se genera hacia el registrador.

El registrador constituye el medio que procesa y almacena la información de la precipitación. Los registradores más empleados son por lo general mecánicos, aunque el registro de la información también puede hacerse en cintas magnéticas o memorias de estado sólido.

El pluviógrafo digital prototipo desarrollado (el cual se denominará PD-1) se basó en esta configuración. El sistema captador utilizado con el PD-1 es básicamente mecánico, mientras que el registrador está compuesto por dispositivos electrónicos de estado sólido para registrar la información.

Las características iniciales de diseño formuladas para el pluviógrafo PD-1 fueron las siguientes:

- \* Bajo costo.
- \* Alimentación unipolar, proporcionada por una batería externa.
- \* Bajo consumo de energía.
- \* Empleo de tecnologías electrónicas comerciales.
- \* Autonomía de operación.
- \* Fácil manejo.
- \* Fácil instalación.
- \* Almacenamiento de los datos en memoria de estado sólido con capacidad de registro de cinco a seis meses.
- \* Facilidad para transmitir a una computadora personal la información registrada.
- \* Programas de utilidad para el procesamiento de la información.

A grandes rasgos, la operación del prototipo implementado es de la siguiente manera: cuando se produce un evento el sistema captador envía un pulso de nivel bajo hacia el registrador. Éste se encarga de tomar la información correspondiente y la almacena en una memoria de estado sólido, de donde posteriormente se pueden transferir los datos a una computadora personal para su procesamiento.

Adicionalmente, durante una revisión del PD-1 en el sitio donde se encuentre instalado, el usuario puede inspeccionar los datos de operación del instrumento y modificar aquellos datos que se requieran.

### **3.2 SISTEMA CAPTADOR**

El sistema captador empleado con el pluviógrafo PD-1 se basa en el principio del balancín, el cual actúa un interruptor al momento de llenarse uno de sus compartimientos. El interruptor, conectado a una fuente de voltaje, produce así un pulso que corresponde a la unidad de registro. Es decir, la información obtenida con este dispositivo es discreta.

Aunque con el pluviógrafo PD-1 se utilizó un colector tipo balancín, bien pudo haberse empleado con las adaptaciones necesarias cualquiera de los otros dos métodos expuestos en el capítulo anterior.

Respecto a la intensidad con que cae la precipitación, la resolución de los registros de un colector de peso o flotación es superior a la obtenida por el balancín, puesto que hacen un registro continuo. Por lo anterior, la capacidad de los compartimientos del balancín no debe ser muy grande ya que se perdería resolución.

### **3.3 REGISTRADOR**

El registrador prototipo del pluviógrafo digital PD-1 fue ensamblado sobre una tarjeta de circuito impreso especial, utilizando técnicas de "wire-wrap".

En la figura 3.2 se muestra un diagrama de bloques del registrador. Se compone de los siguientes dispositivos: microcontrolador, memorias EPROM y EEPROM, un módulo de despliegue, un reloj de tiempo real, un decodificador, diversas compuertas, interruptores de control, un regulador y control de encendido, un circuito restaurador y un puerto serie para comunicación con una computadora personal.

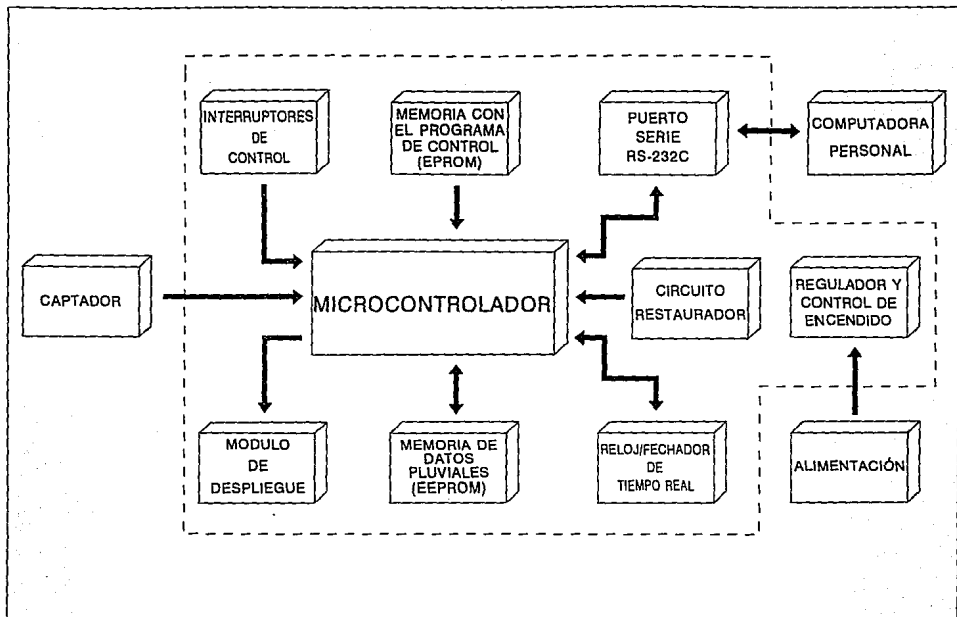


Figura 3.2 Diagrama de bloques general del registrador del pluviógrafo digital PD-1



La parte central del PD-1 lo constituye el microcontrolador, el cual es el encargado de controlar las diferentes tareas que realiza el pluviógrafo digital: tomar las lecturas adecuadas al momento de producirse un evento, almacenar los datos generados en memoria, presentar al usuario información sobre el estado del instrumento cuando se solicite, transferir la información a una computadora para su posterior procesamiento, y administrar el consumo del instrumento al habilitar o deshabilitar determinados dispositivos.

Otra de las partes importantes del sistema lo forman las memorias: existe una memoria EPROM en la cual se almacena el programa con el sistema operativo del microcontrolador y una memoria EEPROM, que almacena los datos de precipitación. Ambas son memorias no volátiles, es decir, no pierden su contenido al faltar la alimentación.

El módulo de despliegue y un tablero de control permiten al usuario interactuar con el instrumento para revisar el reloj y ponerlo a tiempo, consultar el número de eventos registrados, etc.

El reloj/fechador de tiempo real se emplea para registrar la hora y la fecha de ocurrencia de los eventos, así como un circuito temporizador y despertador del microcontrolador.

El circuito restaurador genera la señal de RESET que establece las condiciones iniciales de operación del instrumento.

El regulador de voltaje se emplea para proporcionar la alimentación principal al sistema. Se incluye un segundo regulador con el propósito de controlar y suministrar la alimentación secundaria.

En las figuras 3.3, 3.4 y 3.5 se muestran los diagramas electrónicos del registrador, cuyos componentes se describen a continuación. Una lista con todos los elementos del circuito se da en la tabla 3.1.

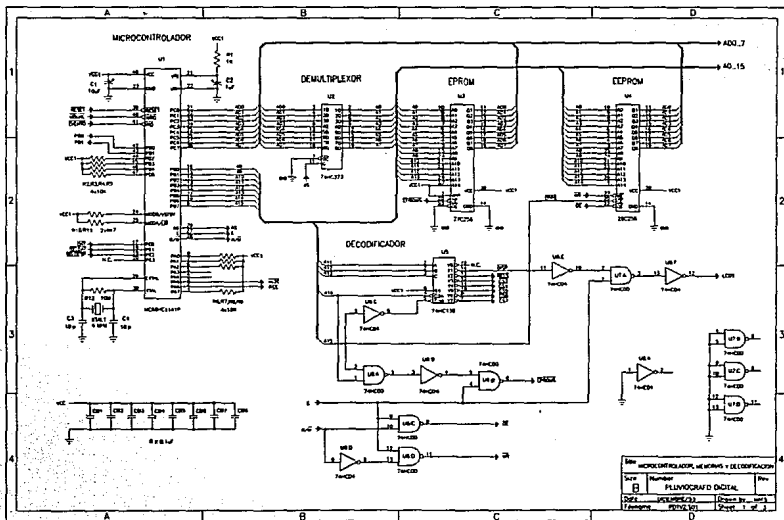


Figura 3.3

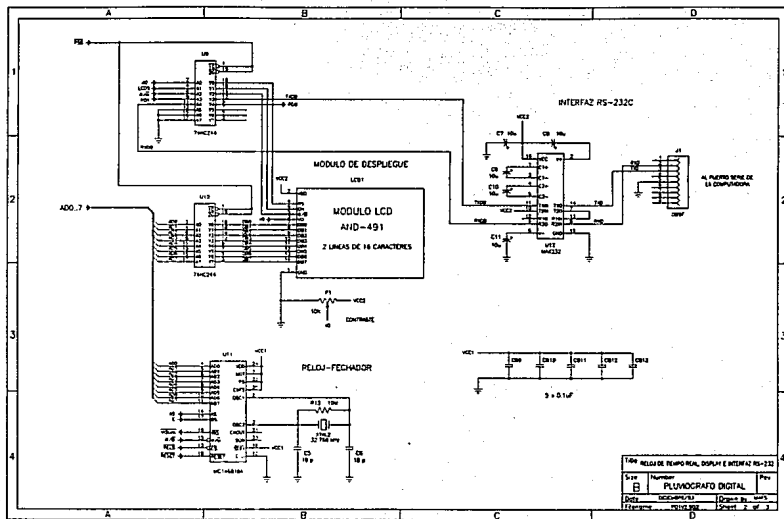


Figura 3.4

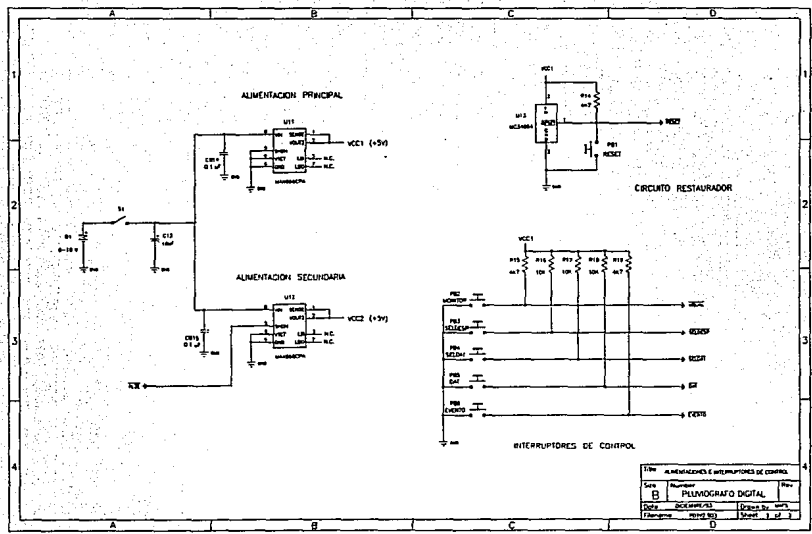


Figura 3.5

TITULO ALIMENTACIONES E INTERRUPTORES DE CONTROL			
Señal	Proyecto	PLUMBOGRAFO DIGITAL	Rev.
Fecha	DISEÑADOR	Dibujado por	WPS
Elaborado	REVISOR	Revisado	1 de 1

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
U1	MC68HC11A1; microcontrolador
U2	74HC373; latch octal
U3	27C256; EPROM
U4	28C256; EEPROM
U5	74HC138; decodificador 3x8
U6, U7	74HC00; 4 compuertas NAND
U8	74HC04; 6 inversores
U9, U10	74HC244; 8 buffers tri-state
U11	MC146818A; reloj/fechador
U12	MAX232; cambiador de nivel
U13, U14	MAX666; regulador de voltaje
U15	MC34064; detector de voltaje bajo
LCD1	AND491; módulo de despliegue
XTAL1	Cristal de cuarzo, 4 MHz
XTAL2	Cristal de cuarzo, 32.768 kHz
R1	Resistencia, 1K
R2,R3,R10 R11,R15	Resistencias, 4K7
R4-R7, R12-14	Resistencias, 10K
R8,R9	Resistencias, 10M
P1	Potenciómetro, 10K

Tabla 3.1 Lista de componentes

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
C1	Capacitor, 10 $\mu$ F
C2	Capacitor, 1 $\mu$ F
C3-C6	Capacitores, 18 pF
C7-C11	Capacitores polarizados, 10 $\mu$ F
CB11-CB15	Capacitores, 0.1 $\mu$ F
S1	Interruptor 2 polos, 1 tiro
PB1-PB5	Interruptores de presión

Tabla 3.1 Lista de componentes (continuación)

### 3.3.1 Microcontrolador

El pluviógrafo PD-1 se desarrolló alrededor de un microcontrolador de 8 bits, tecnología HCMOS, correspondiente a la familia HC11 de Motorola: el MC68HC11A1 (U1, figura 3.3). Este circuito emplea un cristal de cuarzo de 4 MHz, que establece una frecuencia de operación de 1 MHz. Su diagrama general se muestra en la figura 3.6.

Las principales características del microcontrolador MC68HC11A1 son:

- \* 512 bytes de EEPROM
- \* 256 bytes de RAM
- \* 5 puertos de entrada/salida programables
- \* Bajo consumo, típico de 150 mW
- \* Un convertidor analógico/digital de 8 bits
- \* Expansión de bus para dispositivos externos con espacio de direccionamiento de 64 Kbytes
- \* Un circuito que proporciona una interrupción de tiempo real
- \* Capacidad para comunicación serie ya sea síncrona o asíncrona
- \* Un sistema supervisor de software ("watchdog")
- \* Dos modos de bajo consumo: STOP y WAIT

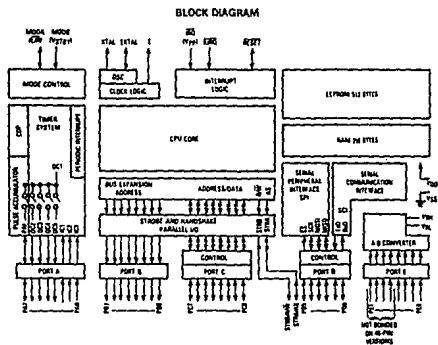


Figura 3.6 Diagrama de bloques del microcontrolador MC68HC11A1

El microcontrolador puede trabajar en uno de dos modos básicos: modo "single-chip" (o de chip único) y modo expandido. En el primero el microcontrolador actúa como una unidad, es decir, un solo chip y no requiere de buses externos de direcciones o de datos, ya que todas las actividades se realizan en su interior. El programa debe residir en alguna de las memorias internas.

Por el contrario, en el modo expandido el microcontrolador puede acceder dispositivos externos dentro de un espacio de dirección de 64 Kbytes. Los ocho bits más significativos del bus de direcciones se encuentran disponibles en el puerto B, mientras que la parte baja de las direcciones y el bus de datos se encuentran multiplexados en el puerto C.

El modo de operación del microcontrolador utilizado en el pluviógrafo PD-1 es el expandido debido a que se manejan memorias y periféricos externos. Para demultiplexar la parte baja de las direcciones y el bus de datos se empleó un latch octal 74HC373 (U2, figura 3.3), el cual, por medio de la señal AS del microcontrolador, captura la parte baja del bus de direcciones.

### **3.3.2 Mapa de memoria del sistema y decodificación.**

En la figura 3.7 se da el mapa general de memoria del sistema con la asignación de los espacios de direccionamiento. La tabla 3.2 a su vez muestra el rango de direcciones de los distintos dispositivos, así como las señales de selección correspondientes.

El microcontrolador MC68HC11A1 es capaz de direccionar hasta 64 Kbytes, espacio que está organizado de la siguiente manera: Los primeros 32 Kbytes (\$0000 - \$7FFF) están ocupados por la memoria EEPROM. Los 16 Kbytes altos (\$C000 - \$FFFF) están ocupados por la memoria EPROM, ya que los vectores de reset e interrupción deben encontrarse en la parte más alta del mapa de memoria. Finalmente, los 16 Kbytes que se encuentran en la parte media (\$8000 - \$BFFF) son de propósito general y, a su vez, se encuentran divididos en 8 partes iguales de 2 Kbytes cada una, de las cuales la más baja contiene la memoria RAM y



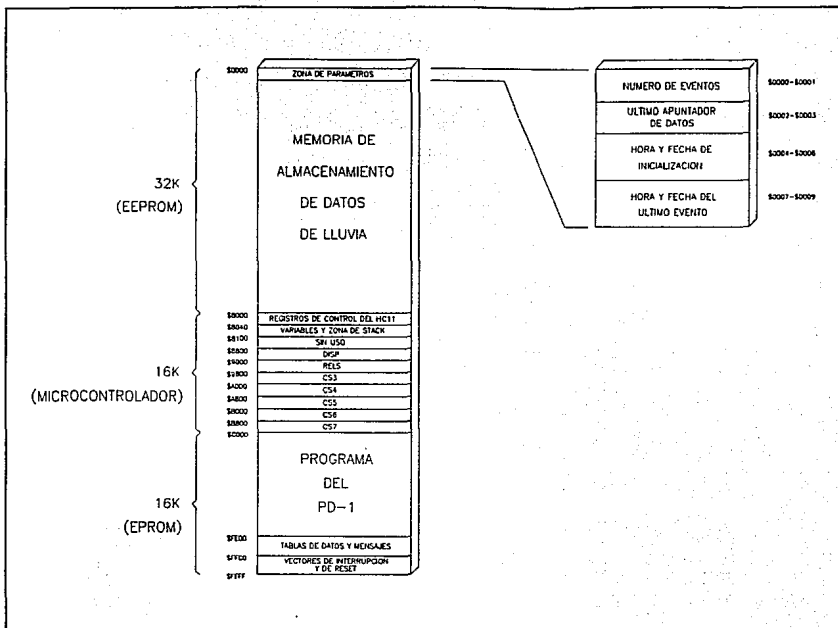


Figura 3.7 Mapa de memoria del sistema

RANGO DE DIRECCIONES	DISPOSITIVO SELECCIONADO	SEÑAL DE SELECCIÓN
\$0000 - \$7FFF	Memoria EEPROM, 32 Kbytes	EEPS
\$8000 - \$803F	Registros de control	---
\$8040 - \$80FF	Memoria RAM, 192 bytes	---
\$8100 - \$87FF	Espacio disponible	---
\$8800 - \$8FFF	Módulo de despliegue	DISP
\$9000 - \$97FF	Reloj/fechador	RELS
\$9800 - \$9FFF	Espacio disponible (2 K)	CS3
\$A000 - \$A7FF	Espacio disponible (2 K)	CS4
\$A800 - \$AFFF	Espacio disponible (2 K)	CS5
\$B000 - \$B5FF	Espacio disponible	CS6
\$B600 - \$B7FF	EEPROM interna del HC11	---
\$B800 - \$BFFF	Espacio disponible (2 K)	CS7
\$C000 - \$FFFF	Memoria EPROM, 16 K	EPROMS

Tabla 3.2 Decodificación de memoria

los registros del microcontrolador, una se dedica al módulo de despliegue (DISP), otra al reloj de tiempo real (RELS), y las demás se encuentran disponibles para expansión, por ejemplo, para puertos de entrada o salida adicionales.

El microcontrolador es muy flexible, pues permite reacomodar el mapa de memoria original, empleando para ello su registro de control INIT. Este registro es de ocho bits y su propósito es el cambiar las posiciones default de la RAM y los registros de control dentro del mapa de memoria del microcontrolador durante la inicialización del sistema. Sólo se puede acceder este registro dentro de los primeros 64 ciclos de reloj que siguen a un RESET; después se convierte en un registro de sólo lectura.

La dirección default inicial de la RAM es \$0000 y la de los 64 registros de control es \$1000 (el registro INIT es puesto a \$01 después del RESET). Los 4 bits más significativos de INIT especifican la dirección de inicio para la RAM de 256 bytes y los 4 bits menos significativos especifican la dirección de inicio para los 64 registros de control.

Dentro del microcontrolador existe un mecanismo de decodificación, el cual le da prioridad a los dispositivos internos sobre los externos, en caso de que coincidan en ciertas localidades. De la misma forma, las funciones internas tienen prioridad unas sobre otras: la zona de registros de control es la de mayor prioridad, le sigue la RAM y, por último, se encuentra la ROM (el HC11 utilizado en el PD-1 no tiene esta memoria). Si la RAM interna y/o los registros de control son reubicados de tal forma que ocurra un traslape entre la RAM, el espacio de registros o la ROM, los recursos de menor prioridad se deshabilitan quedando disponible el más importante. Esta capacidad se aprovechó en el pluviógrafo digital, ya que la RAM y los registros de control se colocaron en la dirección \$8000, encimándose. Sin embargo, los registros poseen mayor prioridad sobre la RAM, por lo que las localidades \$8000-\$803F quedaron deshabilitadas para la RAM y son ocupadas por los registros de control, quedando así disponibles 192 bytes de RAM (\$8040-\$80FF).

El microcontrolador posee una lógica para seleccionar sus circuitos internos como memorias o periféricos. Sin embargo, es necesario contar con un dispositivo externo que permita al microcontrolador seleccionar y habilitar los dispositivos externos. La decodificación implementada en el registrador del PD-1 se llevó a cabo por medio de un arreglo lógico y un decodificador de 3 a 8 líneas (U5), como se puede ver en la figura 3.3. El arreglo lógico se empleó para seleccionar a la memoria EPROM, mientras que el decodificador se utilizó para subdividir en ocho partes iguales, de 2 Kbytes cada una, el espacio de memoria direccionable entre las localidades \$8000 y \$BFFF. Además, la línea de dirección A15 se conectó directamente a la terminal de selección de la memoria EEPROM, de tal forma que este dispositivo se pueda habilitar cuando la línea A15 tenga un nivel bajo.

El microcontrolador es el encargado de realizar las operaciones de lectura o escritura de los periféricos, para lo cual dispone de una señal especial (R/W) para establecer la dirección de la comunicación entre el microcontrolador y los periféricos. Cuando la línea R/W se encuentra en un nivel alto el microcontrolador se dispone a leer un dato de determinado dispositivo. Cuando R/W tiene un nivel bajo, el microcontrolador se dispone a escribir un dato. El microcontrolador realiza la lectura o la escritura mediante el flanco de bajada de la señal E, es decir, se utiliza como una señal de referencia.

El PD-1 cuenta con una lógica cuyo principal objetivo es sincronizar diversas señales de selección o control con la señal E del microcontrolador. Tal es el caso de EPROMS, LCDS, OE y WR (figura 3.3). EPROMS constituye la señal de selección de la memoria EPROM y es activa en nivel bajo. La señal LCDS es activa en nivel alto y se utiliza para habilitar el módulo de despliegue. OE y WR son dos señales de control necesarias para tener acceso a la memoria EEPROM y al emplearlas deben tener niveles lógicos opuestos.

### **3.3.3 Puertos de entrada/salida**

El microcontrolador tiene cinco puertos de propósito general. La tabla 3.3 muestra cómo se usaron dichos puertos en el PD-1.

Dos de las terminales de salida del puerto A se usaron para proporcionar las señales de habilitación necesarias para la alimentación secundaria (AL2E) y para los puertos de salida externos (PSS) cuyas funciones se describen más adelante.

Las terminales del puerto B constituyen los 8 bits más significativos del bus de direcciones, mientras que las terminales del puerto C tienen una doble función, ya que en este puerto los 8 bits menos significativos del bus de direcciones se multiplexan con los 8 bits del bus de datos.

Las terminales PD0 y PD1 del puerto D se usan como señales de recepción (RxD) y transmisión (TxD) de datos para comunicación serie asíncrona, respectivamente. Los 4 bits restantes del puerto D no se utilizaron. Las tres terminales del puerto E PE0-PE2 se emplearon para los interruptores. PE4 no se utilizó.

Además de los puertos incluidos en el microcontrolador, se usaron dos circuitos 74HC244 como puertos de salida y dispositivos aisladores (U9 y U10, figura 3.4).

### **3.3.4 Interrupción de tiempo real (RTI)**

El microcontrolador tiene incorporado un subsistema que puede generar interrupciones en forma periódica. Se encuentran disponibles 4 diferentes periodos, los cuales son seleccionables mediante software y dependen directamente del reloj interno del microcontrolador. Para este proyecto se empleó un periodo de 65.54 milisegundos a una frecuencia de 1 MHz.

Esta característica se aplica durante uno de los 2 modos de operación del pluviógrafo, con el objeto de proporcionar una señal de referencia periódica.

PUERTO	F U N C I O N
PA0-PA2	Sin utilizar; entradas
PA3-PA4	Sin utilizar; salidas
PA5	AL2E; salida
PA6	PSS; salida
PA7	Sin utilizar; entrada
PB0-PB7	Direcciones A8-A15
PC0-PC7	Direcciones A0-A7 / Datos D0-D7
PD0	RxD; entrada (sin uso)
PD1	TxD; salida
PD2-PD5	Sin utilizar; entradas/salidas
PE0	DAT; entrada
PE1	SELDAT; entrada
PE3	SELDESP; entrada
PE4	Sin utilizar; entrada

**Tabla 3.3** Uso de los puertos del microcontrolador

### 3.3.5 Memorias

El pluviógrafo PD-1 tiene 3 tipos de memorias: RAM, EPROM y EEPROM.

La memoria RAM es la del microcontrolador (U1). Se usa como zona de stack y para guardar las variables del programa.

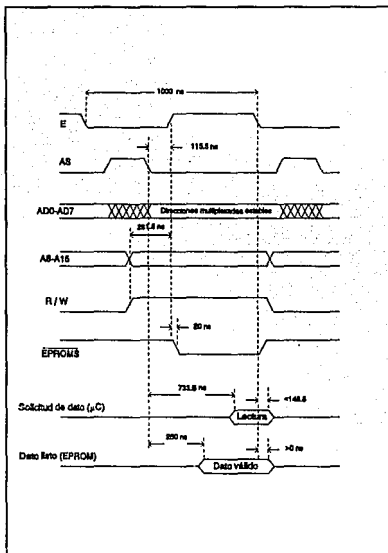


Figura 3.8 Ciclo de lectura de la memoria EPROM

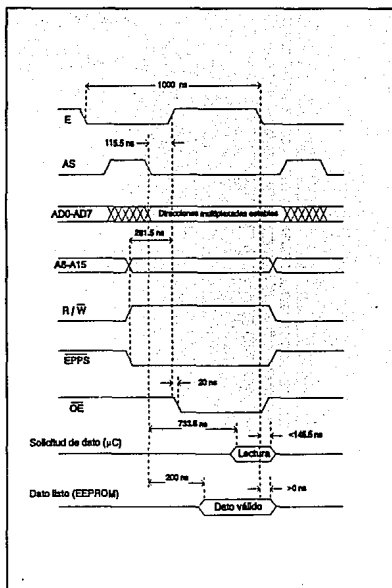


Figura 3.9 Ciclo de lectura de la memoria EEPROM

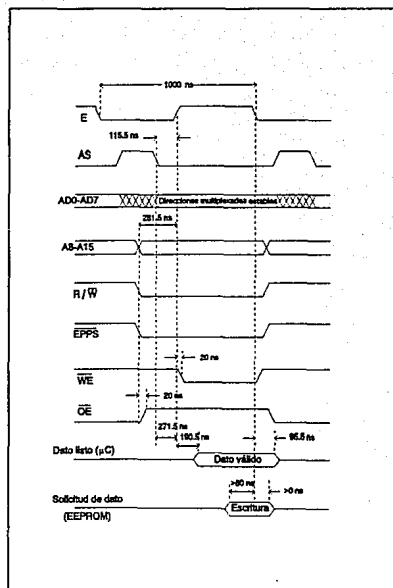


Figura 3.10 Ciclo de escritura de la memoria EEPROM



La memoria EPROM (U3) es externa y tiene una capacidad de 32 Kbytes. Este dispositivo, un circuito 27C256, contiene el programa del microcontrolador. En la figura 3.8 se muestra el ciclo de lectura de este dispositivo.

La memoria EEPROM (U4) es externa y tiene una capacidad de 32 Kbytes, es decir, ocupa la mitad del espacio direccionable por el microcontrolador. Esta memoria no debe confundirse con una memoria EEPROM de 512 bytes que tiene internamente el HC11 y que en esta aplicación no se usa. La memoria U4 es un circuito integrado 28C256 que permite programarse eléctricamente para ciclos de borrado, escritura y lectura, es decir, no necesita una fuente adicional para realizar estos procesos, ya que internamente se generan los voltajes necesarios. En este dispositivo se almacena la información de precipitación. También tiene una pequeña zona de parámetros en la cual se guarda, entre otros datos, el número de eventos registrados y un apuntador de la propia EEPROM, información que es importante tener respaldada en caso de una falla de la energía. En las figuras 3.9 y 3.10 se muestran los ciclos para lectura y escritura de esta memoria.

### **3.3.6 Módulo de despliegue**

El pluviógrafo PD-1 permite desplegar ciertos datos como la hora, la fecha, el número de eventos acumulados, etc. o seleccionar alguna de las funciones disponibles. Esta operación se realiza a través de un visualizador alfanumérico de cristal líquido y unos interruptores de control.

El dispositivo para visualizar la información es un módulo integrado AND491 (LCD1, en la figura 3.4) de cristal líquido de 2 líneas y 16 caracteres por línea. Este módulo tiene integrados los circuitos para manejo y control del visualizador, por lo que resulta muy fácil su uso, básicamente a través de software. En la figura 3.11 se muestra el ciclo de escritura del módulo de despliegue, ya sea para enviar un dato o una instrucción.

Como se verá más adelante en la sección 3.3.10, hay ciertos dispositivos en el PD-1 que no requieren operar continuamente, como es el caso del módulo de despliegue. A fin de aislar a este dispositivo de las señales eléctricas manejadas en el resto del circuito, se emplearon dos circuitos buffer 74HC244 (U9 y U10, figura 3.4) como puertos de salida. Dichos circuitos se habilitan mediante una señal proveniente del microcontrolador PSS, activa a nivel bajo. Mientras se encuentran inactivos, estos dispositivos mantienen sus salidas en estado de alta impedancia, con lo que se consigue aislar al módulo del despliegue.

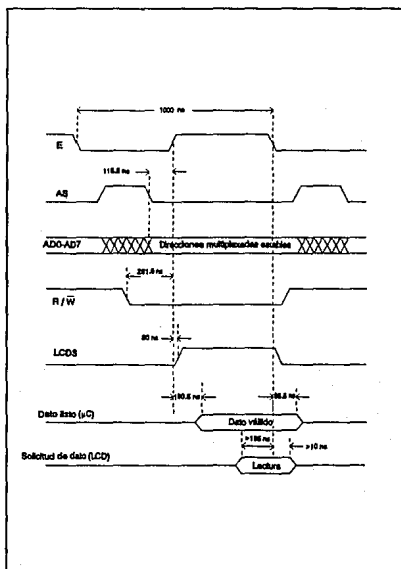


Figura 3.11 Ciclo de escritura del módulo de despliegue

### 3.3.7 Interruptores

En la tabla 3.4 se presentan los interruptores involucrados en el sistema así como su función. En el capítulo IV se describe más ampliamente la función de los interruptores.

Interruptor	Función
S1 - ENCENDIDO	Encendido del sistema
PB1 - RESET	Restauración manual
PB2 - MONITOR	"Despertador" del visualizador
PB2,PB3,PB4 Interruptores de despliegue	Despliegue de información
PB6 - DISPARO	Evento manual

Tabla 3.4 Interruptores de control

### 3.3.8 Reloj de tiempo real

El pluviógrafo PD-1 cuenta con un reloj/fechador en tiempo real formado por el circuito U11 (MC146818A1, figura 3.4). Éste emplea un cristal de cuarzo de 32.768 kHz como base de tiempo, independiente a la del microcontrolador. Además de llevar hora y fecha, tiene otras características: un sistema de interrupciones periódicas programables, un generador de onda cuadrada y 50 bytes de RAM estática de propósito general. El reloj está diseñado para trabajar con microcontroladores con bus multiplexado de direcciones y datos, por lo que sus buses son directamente conectables al 68HC11.

Este dispositivo tiene dos funciones dentro del sistema: 1) al ocurrir un evento se debe registrar la hora en que sucedió, por lo que el reloj/fechador se encarga de llevar hora y fecha en tiempo real, 2) generar una interrupción cada 12 horas para almacenar un encabezado de referencia en la memoria EEPROM.

### 3.3.9 Módulo de comunicación

Para transferir los datos almacenados en la EEPROM a una computadora personal, se utilizó el puerto de comunicación serie asíncrona o UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) del microcontrolador MC68HC11A1. Este puerto dispone de dos líneas, una para transmisión de datos y otra para recepción de datos.

El formato con el que se envían los datos es el mostrado en la figura 3.12: un bit de inicio, ocho bits de datos, un bit finalización, ninguna paridad. La velocidad de transmisión se puede seleccionar por programa a través del registro de control correspondiente. Para el PD-1 se utilizó una velocidad de 1200 bauds.

Los niveles de voltaje de las señales en la terminal de transmisión del microcontrolador no son compatibles directamente con los manejados por una computadora personal. Por ello se empleó un circuito acondicionador de nivel MAX232 (U12) a fin de adecuar las señales a los niveles especificados por el estándar RS-232C. Las conexiones se muestran en la figura 3.4. Este circuito genera internamente los voltajes  $\pm 9V$  requeridos para las señales.

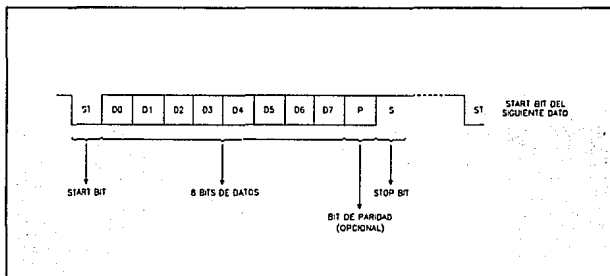


Figura 3.12 Formato de los datos transmitidos

### 3.3.10 Circuito restaurador y señal de RESET

La señal de RESET es una señal de control con la que todo sistema basado en un microprocesador debe contar, ya que por medio de ella se establecen las condiciones iniciales de operación del sistema.

En el caso del pluviógrafo, la señal de RESET se genera automáticamente al encender el instrumento, o bien en forma manual oprimiendo el interruptor PB1, cuando por alguna causa se pierde el control del programa del microcontrolador. El circuito utilizado es el MC34064 (U15) mostrado en la figura 3.5, el cual mantiene la línea de RESET en un estado bajo hasta que la alimentación se encuentre dentro de los límites de operación. El fabricante establece que la duración mínima del pulso de nivel bajo necesario para que el HC11 reconozca una señal de RESET debe ser de 8 ciclos de reloj. En el caso del PD-1, la frecuencia de operación es 1MHz, por lo que el pulso debe tener una duración mínima de 8 microsegundos.

Además, el microcontrolador cuenta con un sistema de "perro guardián" (watchdog) encargado de detectar errores en el procesamiento del software. Dicho sistema se denomina por el fabricante como COP (Computer Operating Properly watchdog system) y en su operación se ve involucrado el programa de la aplicación, ya que dentro de éste se debe acceder un registro de control en forma periódica, lo cual indica que el programa se está ejecutando correctamente. Si después de cierto tiempo no se da servicio al registro, quiere decir que el programa no siguió la secuencia adecuada, produciéndose como resultado una señal de RESET para reinicializar la ejecución del programa. El funcionamiento del sistema de supervisión depende del reloj del microcontrolador, por lo que si llega a faltar éste, el sistema COP dejaría de trabajar. Cuando se emplea el modo STOP de bajo consumo, propio del HC11, los relojes se detienen y con ello el sistema COP deja de funcionar.

En el pluviómetro se utilizó el modo STOP de bajo consumo. La operación del PD-1 es en forma intermitente, es decir, el instrumento permanece en el estado de bajo consumo hasta que ocurra un evento o se desee visualizar la información, para después regresar al

modo STOP. Por esta razón el uso del sistema COP está restringido al momento en que el pluviógrafo se encuentre registrando datos o desplegando información, sin embargo, dado que la mayor parte del tiempo el instrumento permanece en espera de la ocurrencia de un evento (es decir, en el modo STOP) se consideró no habilitar dicho sistema de supervisión.

### **3.3.11 Alimentación del sistema y control de encendido.**

Una de las principales restricciones para el registrador es el bajo consumo de corriente y por lo tanto una prolongada operación y autonomía de registro de varios meses. Por esta razón se diseñó con dispositivos CMOS de bajo consumo y algunos, como el microcontrolador y el reloj/fechador, capaces de ser programados para operar en un estado de muy bajo consumo. Por otro lado, no todos los dispositivos del instrumento requieren estar operando continuamente. Para optimizar la operación y el consumo se diseñó un sistema de alimentación especial.

El instrumento se alimenta mediante una batería externa y dos reguladores de voltaje MAX666 de 5V (U13 y U14, figura 3.5). Estos circuitos son CMOS de muy bajo consumo pero pueden proporcionar hasta 40 miliamperes de corriente cada uno. A su vez, pueden habilitarse o deshabilitarse mediante una señal de control. La alimentación puede ser de 6 a 16 V. Para las pruebas del prototipo se empleó una batería de 9V.

El regulador U13 proporciona la fuente principal VCC1 y alimenta a la mayoría de los circuitos del instrumento. Este regulador opera en forma continua.

El segundo regulador U14 constituye la fuente de alimentación secundaria VCC2 y sólo provee de energía a dos dispositivos: el módulo de despliegue LCD1 y el circuito de interfaz RS-232C. Estos dispositivos son los que más alto consumo tienen en estado estacionario y sólo se requieren cuando se visita la estación pluviométrica y se desean visualizar los datos o transferirlos a la computadora. En estos casos al oprimir el interruptor PB2, identificado como MONITOR (figura 3.5), el microcontrolador recibe un estado bajo en

la señal VISUAL y activa su salida AL2E que controla al regulador U14 para habilitar la alimentación VCC2.

Con este control se logra una óptima operación del instrumento. En la tabla 3.5 se presenta un cuadro que resume los consumos medidos para los distintos modos de operación utilizando una batería alcalina comercial de 9 volts.

Modo de operación	Dispositivos activos	Consumo @ 9V [mA]
Despliegue	U1-U15, LCD1	17
Adquisición de eventos (Modo normal)	U1-U10, U11, U13, U15	0.5
Registro:		
METR <sup>1</sup> habilitado	U1-U15, LCD1	25
METR <sup>1</sup> deshabilitado	U1-U10, U11, U13, U15	10

**Tabla 3.5 Consumos del PD-1**

La batería tiene una capacidad aproximada de 560 miliamperes-hora. Esto quiere decir que, en el caso ideal, en una hora la batería puede proporcionar continuamente 560 mA. Tomando en cuenta esta capacidad y el consumo del instrumento, se puede hacer una estimación del tiempo de duración T de la batería en el modo normal de operación del PD-1, es decir, en el modo de adquisición de eventos:

---

<sup>1</sup> Monitor de Eventos en Tiempo Real. Utilería que permite visualizar en una computadora personal, conectada al PD-1, la información generada al momento de ocurrir un evento. En el capítulo IV se describe en forma más amplia este modo de operación.

$$T = 560 \text{ [mAh]} / 0.5 \text{ [mA]}$$

$$T = 1120 \text{ horas} = 46 \text{ días}$$

Esta duración dista del objetivo trazado al inicio del proyecto (6 meses = 180 días = 4320 horas), por lo que se propone utilizar una batería de más capacidad, por ejemplo, de litio.

### 3.4 FORMATO DE ALMACENAMIENTO DE DATOS

La información generada al momento de producirse un evento se almacena en la EEPROM con un formato especial que tiene como objeto hacer un uso eficiente de la capacidad de la memoria. El formato de los datos almacenados se muestra en la figura 3.13. Consta esencialmente de dos tipos de información: encabezados y datos de precipitación.

A las 00:00 y 12:00 hrs de cada día se almacena siempre e independientemente si hay o no eventos, un encabezado que consta de cinco bytes: los tres primeros tienen un valor fijo igual a FF y tienen como objeto diferenciar los encabezados de los datos. Un cuarto byte se emplea para indicar cuántos días han transcurrido desde que el instrumento se puso en operación, es decir, para identificar en qué día ocurren los eventos, estando disponibles 256 días (un byte). El último byte se utiliza para señalar alguna de las dos referencias de tiempo, 00 si el encabezado es AM y 12 si es PM, y con ello identificar la hora en la que ocurrieron los eventos.

Cada vez que ocurre un evento (transición del balanceo del captador) se almacena en la memoria un dato hexadecimal de dos bytes con el número de segundos transcurridos a partir de las marcas de referencia del último encabezado: 00:00 horas para AM y 12:00 horas para PM. En 12 horas hay 43200 segundos (A8C0, en HEX), por lo que la cantidad de segundos queda perfectamente representada en dos bytes. Es claro que nunca habrá más de un evento por segundo. Con esta codificación implícitamente se almacena la precipitación



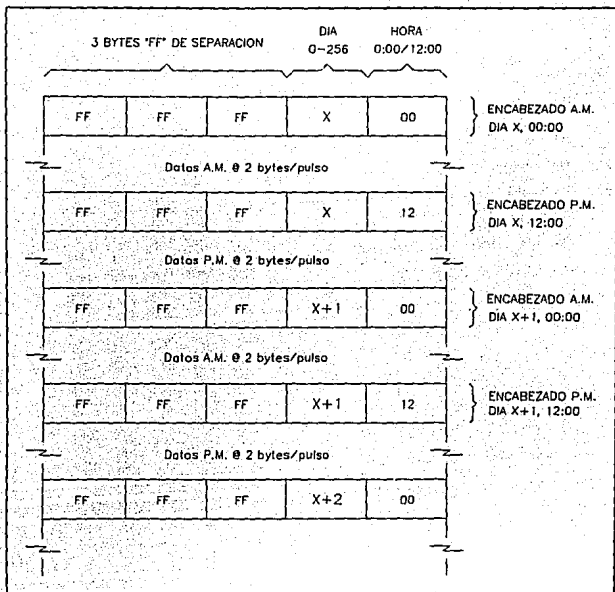


Figura 3.13 Formato de almacenamiento de datos

acumulada y también la intensidad de lluvia, ya que se puede calcular fácilmente la hora de ocurrencia de cada evento.

El control para el inicio de la grabación de los encabezados se encuentra a cargo del reloj de tiempo real, aprovechando una de sus características: una alarma programable la cual se establece para que cada 12 horas se genere una interrupción al microcontrolador, provocando que salga del modo de bajo consumo para grabar la información con el formato especificado. Una vez grabados los datos regresa al modo normal de bajo consumo.

La capacidad de los recipientes del balancín y el tamaño de la memoria empleada son factores que influyen en el registro de la información de precipitación. Hay que recordar que dentro de las especificaciones formuladas inicialmente para este prototipo se requería de un periodo de registro de cinco a seis meses. Es conveniente señalar que la memoria EEPROM utilizada es de 32 Kbytes, sin embargo, durante el desarrollo del proyecto también se trabajó con una memoria de 8 Kbytes. El uso de una memoria de menor tamaño permite almacenar información durante periodos más cortos. Para realizar la sustitución de la memoria de 32 Kbytes por una de 8 Kbytes, sólo basta hacer unos sencillos cambios a la electrónica y al programa.

Para estimar la cantidad de precipitación que se puede registrar con el PD-1 se empleó la siguiente fórmula:

$$CP = (BM \times CR) / BE$$

donde

CP es la cantidad de precipitación acumulada (en mm) que se puede registrar

BM es el número neto de bytes disponibles en la memoria EEPROM

CR es la capacidad en mm de cada recipiente del balancín

BE es el número de bytes por evento (2 bytes por evento)

Cabe hacer la aclaración que el número de bytes disponibles (BE) se refiere a la cantidad de memoria disponible después de descontar el espacio que ocupan los encabezados. Como se mencionó anteriormente, se requiere de 2 encabezados por día y cada encabezado consta de 5 bytes, es decir, 10 bytes por cada día. En seis meses hay 180 días, lo cual hace un total de 1800 bytes dedicados exclusivamente a los encabezados, por lo que para una memoria de 32 Kbytes el espacio disponible será de  $32768 - 1800 = 30968$  bytes.

En la tabla 3.6 se muestra una estimación de la cantidad de lluvia acumulada para distintos tamaños de memoria y capacidades de recipientes. También se muestra una aproximación del periodo de trabajo del PD-1, suponiendo que en seis meses llueva una cantidad equivalente a 8000 mm (este es un valor de precipitación acumulada). El cálculo se hizo con base en una simple regla de tres, tomando en cuenta las estimaciones de precipitación calculadas anteriormente.

Memoria [bytes]	Capacidad de los recipientes [mm]	Precipitación acumulada [mm]	Periodo [meses]
32768	0.2	3096.8	2.32
	0.5	7742	5.80
	1	15484	11.61
8192	0.2	639.2	0.48
	0.5	1598	2.39
	1	3196	1.19

**Tabla 3.6 Estimación de precipitación acumulada y periodo de trabajo**

## **IV. OPERACIÓN DEL PLUVIÓMETRO PD-1**

En este capítulo se describirá el funcionamiento del pluviómetro PD-1: los modos de operación, la manera en que se despliega la información, el significado de cada uno de los interruptores de control, sus funciones y los procedimientos de inicialización, registro y revisión. Las rutinas de programación se describen en forma más amplia en el capítulo V.

### **4.1 MODOS DE OPERACIÓN**

El PD-1 puede trabajar en dos modos diferentes: modo de visualización y modo de registro.

#### **4.1.1 Modo de visualización o despliegue**

En este modo de operación el usuario puede comunicarse con el instrumento por medio del módulo de despliegue y de los interruptores de control, ya sea para consultar información, inicializar hora y fecha o realizar alguna de las funciones con que cuenta el aparato, tales como revisar la memoria de almacenamiento de datos o transferir la información acumulada a una computadora personal a través del puerto serie.

El modo de visualización se encuentra disponible mientras el operador oprima alguno de los interruptores de control, de lo contrario, al transcurrir un determinado tiempo (20 segundos), el instrumento pasará automáticamente al modo de registro. Para entrar nuevamente al modo de visualización el usuario debe presionar cualquiera de los interruptores de control. Esta forma de operar garantiza que el instrumento regrese al modo de adquisición y no permanezca con el visualizador encendido que implica un mayor consumo de corriente.

#### **4.1.2 Modo de registro**

Al entrar a este modo, el microcontrolador a su vez es obligado a entrar en un modo de bajo consumo, propio de este dispositivo. Antes de esto, el microcontrolador desactiva al módulo de despliegue y al circuito acondicionador de nivel, para disminuir el consumo de energía del registrador. En el modo de registro interesa que el consumo de energía sea muy bajo, debido a que es el modo en que el registrador se encontrará la mayor parte del tiempo.

Durante el modo de registro o adquisición de datos, el registrador se encuentra en espera de que el sistema colector capture la cantidad necesaria de precipitación para que se genere un evento, es decir, el peso del agua conmute al balancín. Cuando esto sucede, el microcontrolador es "despertado", sale del modo de bajo consumo, registra el evento, lo almacena en la memoria y regresa al modo de bajo consumo en espera a que ocurra un nuevo evento.

El periodo de trabajo del pluviómetro PD-1 es variable, ya que depende de la cantidad de eventos que debe registrar, la cual depende a su vez de la capacidad de los compartimientos del balancín. Si la capacidad de los recipientes es de 1 milímetro, la información recabada puede abarcar hasta seis meses de operación continua ; sin embargo, es recomendable que dicha capacidad sea menor al milímetro para lograr una mayor resolución y que la información recabada sea comparable a la suministrada por un pluviómetro de peso o de flotación.

## **4.2 INTERRUPTORES DE CONTROL Y MÓDULO DE DESPLIEGUE**

El pluviómetro PD-1 cuenta con una serie de interruptores y un módulo de despliegue a través de los cuales el usuario puede controlar y comunicarse con el instrumento. La figura 4.1 muestra la disposición de los componentes en la tarjeta prototipo.

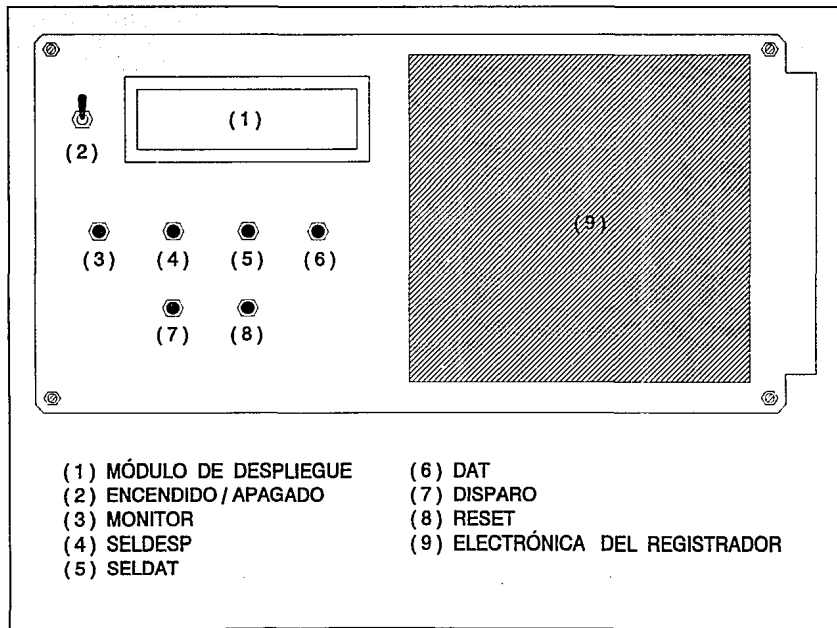


Figura 4.1 Disposición de componentes en la tarjeta prototipo del registrador

#### 4.2.1 INTERRUPTORES DE CONTROL

A continuación se mencionará cada uno de los interruptores y se describirá la función que desempeña dentro del sistema. Cabe señalar que la detección, eliminación de rebotes e interpretación de alguno de los botones pulsados se hace bajo control de software.

##### Interruptor de encendido

Mediante este interruptor se proporciona la alimentación general al pluviómetro.

##### Interruptor de RESET

Al presionar este interruptor se genera una señal de RESET, con la cual el microcontrolador es obligado a reinicializar la ejecución del programa. Esto puede ser muy útil cuando por alguna razón se pierde el control del programa.

##### Selector de despliegue <SELDESP>

Con este interruptor se puede escoger sucesivamente y en forma cíclica las opciones del menú del registrador durante el modo de visualización.

##### Selector de datos <SELDAT>

Este interruptor se emplea para recorrer el cursor un lugar hacia la derecha cada vez que se presiona. Se utiliza para modificar variables como hora y fecha del sistema.

##### Datos <DAT>

Este interruptor se utiliza para incrementar de uno en uno el valor de un dato seleccionado con el botón <SELDAT>. También se usa para activar alguna de las funciones del instrumento, como el borrado de la memoria de almacenamiento de datos o la transmisión de la información acumulada hacia una computadora personal, entre otras.

##### Interruptor <MONITOR>

Si se desea activar el modo de visualización una vez que el registrador se encuentra operando en el modo normal de registro, se necesita oprimir este interruptor.

## 4.2.2 MÓDULO DE DESPLIEGUE

Mediante este dispositivo se proporciona al operador información referente al estado del pluviómetro. El visualizador dispone para el despliegue de los datos de dos líneas de 16 caracteres alfanuméricos por línea.

El despliegue de la información se lleva a cabo por medio de mensajes, cada uno de ellos identificado por un número. Estos mensajes se visualizan en la primera línea, mientras que en la segunda línea se muestra el valor de alguna variable del sistema a la que hace referencia el mensaje, o se dan indicaciones para activar una función determinada. En la figura 4.2 se muestra la forma en que aparecen los datos y en la figura 4.3 se muestran las distintas opciones con que cuenta el registrador así como la secuencia en que aparecen.

## 4.2.3 MENU DE OPCIONES

Cuando se enciende el sistema por primera ocasión o cuando se activa el modo de visualización, el primer mensaje que aparece en la pantalla del módulo de despliegue es el que identifica al instrumento, así como la estación o lugar donde se encuentra instalado. A continuación, el usuario puede elegir entre las diversas opciones que se escogen oprimiendo sucesivamente el interruptor <SELDESP> (figura 4.3).

El siguiente mensaje (opción 1) se refiere al número de eventos acumulados registrados por el pluviómetro. Este número indica el número de veces que el balancín ha actuado. La cantidad de precipitación acumulada durante el período de operación del sistema en milímetros se puede obtener multiplicando el número de eventos por la capacidad de los compartimientos del balancín, que usualmente es de 0.25 mm. El número de eventos se reinicializa a cero cuando se borra el contenido de la memoria.

El tercer mensaje (opción 2) indica el porcentaje disponible de la memoria de almacenamiento (EEPROM).



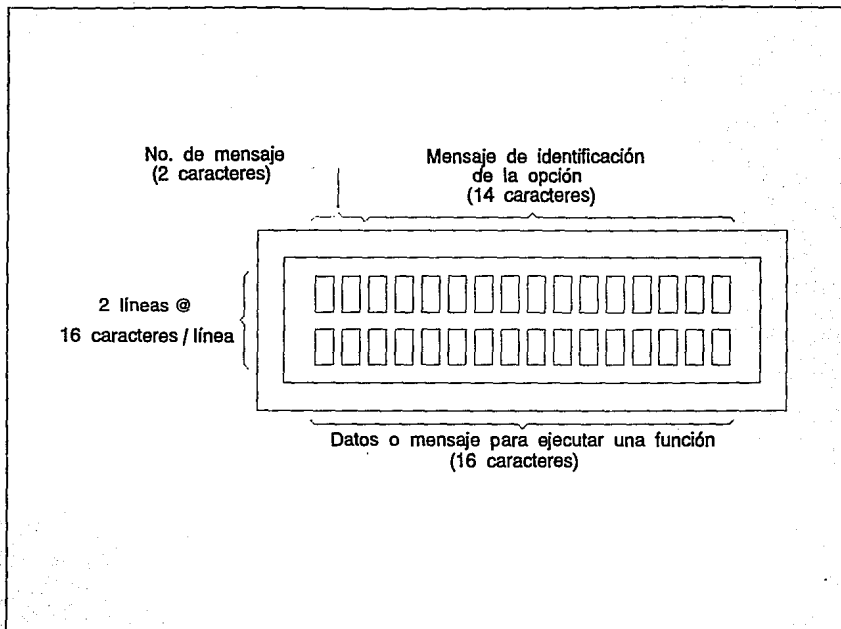


Figura 4.2 Formato de despliegue

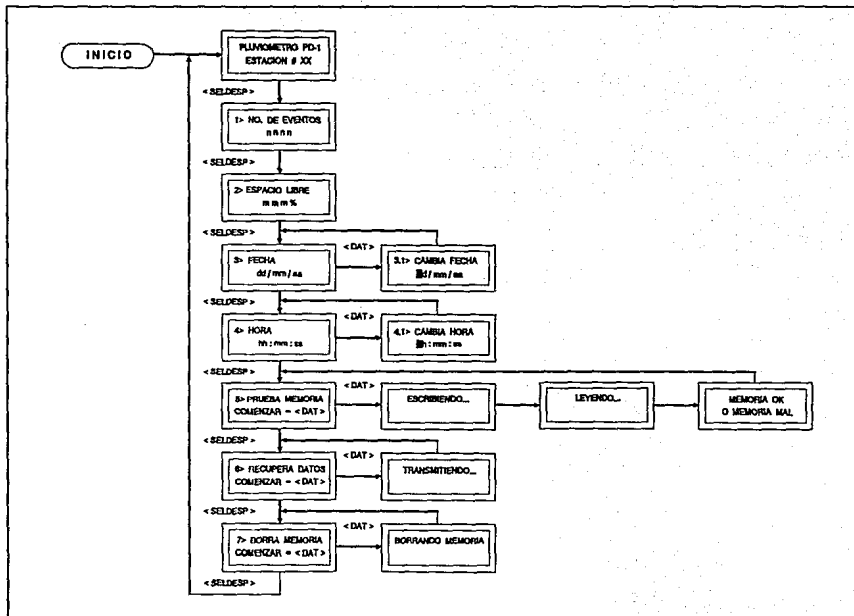


Figura 4.3 Opciones disponibles

Con las opciones 3 y 4 se despliegan respectivamente la fecha y la hora del reloj/fechador. Estando en estas opciones también se puede modificar fecha u hora mediante los interruptores <SELDAT> y <DAT>.

La opción 5 permite realizar una prueba a la memoria de EEPROM antes de instalarla dentro del registrador, con el objeto de verificar que se encuentra en buen estado. Dicha prueba consiste en escribir un parámetro conocido en cada una de las localidades de la memoria, leerlo y luego compararlo. Durante el tiempo que se lleva en realizar la prueba, se despliega un mensaje que indica el avance de la prueba. Al finalizar la prueba se manda un mensaje con el resultado de la misma: "MEMORIA OK" si la memoria se encuentra en buen estado o "MEMORIA MAL" si la prueba falló. Ambos mensajes se mantienen en el módulo de despliegue hasta que el operador oprima el interruptor <DAT>, con lo cual se regresa al menú de opciones.

La opción 6 permite recuperar la información recolectada y transmitirla a través del puerto serie. El formato es NRZ, 8 bits, sin paridad, 1 stop bit y a una velocidad de transmisión de 1200 bauds.

Por último, se tiene la opción 7 para borrar el contenido de la memoria EEPROM una vez que el operador ha recuperado toda la información recolectada por el pluviómetro. Durante este proceso no se borra propiamente cada localidad, sino que se reinicializa a la posición de origen al apuntador de almacenamiento. La memoria utilizada permite reescribir los datos.

#### **4.2.4 MONITOR DE EVENTOS EN TIEMPO REAL**

Durante el desarrollo del sistema se implementó una opción adicional con la cual se envían al puerto serie los datos que se generan en el momento de producirse un evento. Esto constituye de hecho un monitor de eventos en tiempo real, permitiendo al usuario observar la información en el preciso momento en que se genera.

Para realizar la tarea anterior, se creó una rutina especial para la recolección y análisis de datos y que forma parte del programa UTRAP (UTilería para la Reproducción y Análisis de datos Pluviométricos), el cual se describirá en el capítulo VI. Esta rutina recibe la hora y la fecha de cada evento transmitido por el puerto serie y despliega esta información en pantalla. Adicionalmente los graba en un archivo de respaldo.

El monitor de eventos en tiempo real normalmente se encuentra deshabilitado, ya que esta función se lleva a cabo dentro del modo de registro y con el circuito acondicionador de nivel RS-232C (U12) habilitado, lo cual eleva el consumo del instrumento.

## **4.3 MANEJO DEL INSTRUMENTO**

### **4.3.1 INICIALIZACIÓN**

La figura 4.4 muestra el diagrama de flujo del proceso de inicialización del PD1 (modo de visualización). Una vez que el instrumento se ha encendido, se lleva a cabo un procedimiento que inicializa variables y parámetros, cambia de localidad los registros de control del microcontrolador, configura los periféricos (reloj de tiempo real, módulo de comunicación, módulo de despliegue), habilita la alimentación secundaria y despliega en la pantalla el primer mensaje de identificación.

El siguiente paso es inicializar la fecha y hora del reloj/fechador con los interruptores <SELDESP>, <SELDAT> y <DAT>.

Los datos modificados se transfieren hacia el reloj/fechador en el momento que se presiona <SELDESP> para salir de la opción de inicialización ya sea de hora o fecha.

Para salir del modo de visualización y pasar al de registro se necesita que transcurran 20 segundos sin que se oprima alguno de los interruptores.

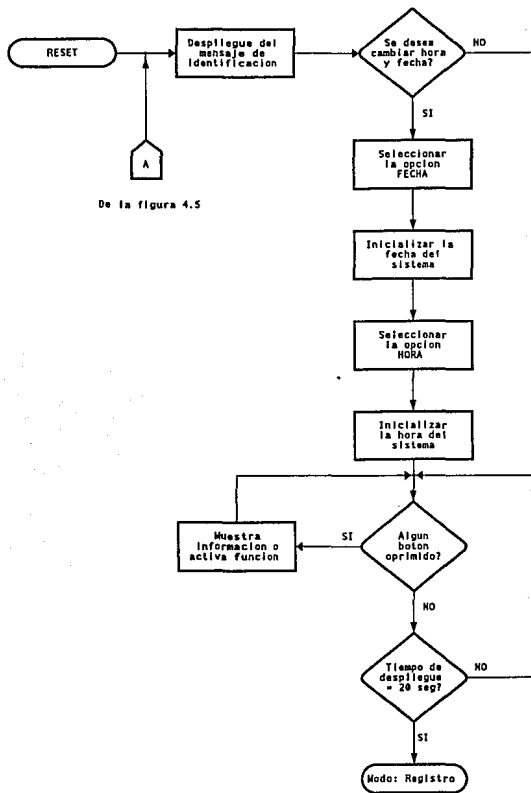


Figura 4.4 Proceso de inicialización y modo de visualización del pluviómetro PD-1

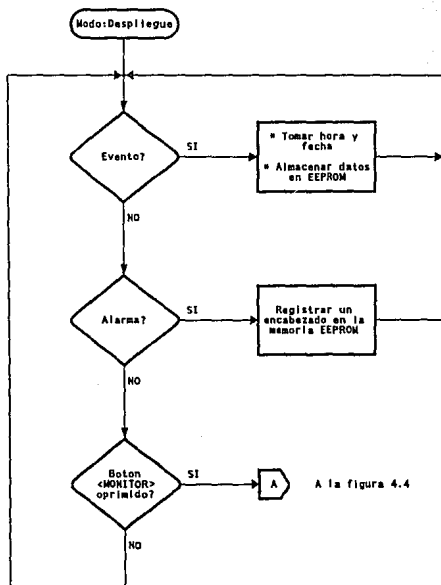


Figura 4.5 Proceso en el modo de registro

### 4.3.2 REGISTRO

Después de este tiempo el instrumento entra automáticamente al modo de registro. El diagrama de flujo simplificado del proceso de registro se da en la figura 4.5. En este modo, el registrador permanece "dormido", es decir, reduce su actividad (y consumo de energía) al mínimo. No se visualiza ningún mensaje ni se realiza ninguna otra operación mas que la de esperar a que se produzca un evento. En ese momento, el registrador "despierta", toma las lecturas correspondientes de la hora y fecha del evento y almacena la información codificada en su memoria. Después el registrador vuelve a entrar al modo de registro en espera de un nuevo evento.

### 4.3.3 PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN Y RECUPERACIÓN DE DATOS

Una vez instalado el pluviógrafo en alguna estación de campo se deja operando en forma autónoma. Eventualmente se visita la estación para recuperar la información de precipitación recolectada. El procedimiento de revisión y recuperación de datos es el siguiente (figura 4.6): Lo primero que debe realizar el operador es oprimir el interruptor <MONITOR> para que el PD-1 "despierte" y muestre la información en el visualizador. A continuación debe revisarse cuántos eventos se registraron en el período de trabajo. En caso de haber eventos, debe conectarse una computadora al puerto serie del PD-1 para transferir la información y almacenarla en un archivo. Hecho lo anterior, el operador tiene la opción de borrar la memoria o dejarla tal y como se encuentra, dependiendo del espacio disponible en la memoria.

También se debe revisar que la fecha y la hora del sistema estén correctas. De no ser así, debe seleccionarse la opción correspondiente para modificar la hora y/o la fecha.

Para finalizar la sesión el operador debe dejar transcurrir 20 segundos sin oprimir los botones de control, al final de los cuales el PD-1 entrará en el modo de registro.

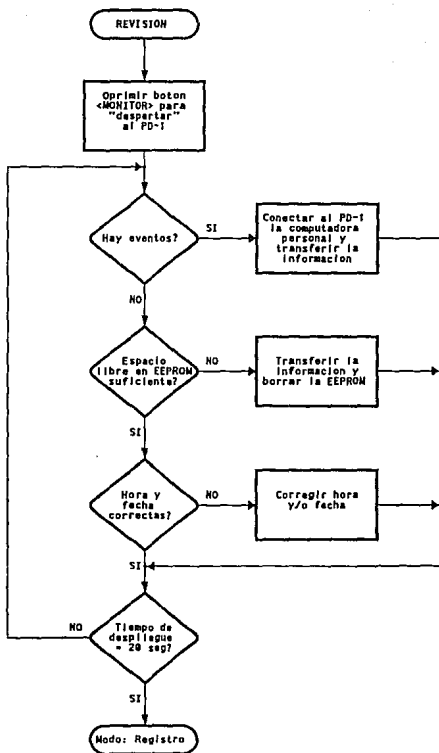


Figura 4.6 Proceso de revisión y recuperación de datos



## V. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

Todo sistema construido alrededor de un microprocesador necesita de un programa o sistema operativo que controle las actividades para las cuales se diseñó. El programa SOP-1 del pluviógrafo PD-1 se encarga de detectar la ocurrencia de un evento, controlar el procesamiento y el almacenamiento de la información que se genere, así como de coordinar los dispositivos periféricos.

El programa se encuentra escrito en lenguaje ensamblador, tiene una extensión de 1650 líneas y abarca casi 3 Kbytes en la EPROM. En la figura 5.1 se muestra un diagrama de bloques muy general del programa SOP-1. Como puede observarse, está estructurado en tres módulos: inicialización, visualización y registro.

Muchas de las tareas que realiza el microcontrolador del PD-1 se efectúan a través de interrupciones. Una interrupción es la forma mediante la cual los periféricos solicitan ser atendidos por la unidad central de procesamiento (CPU) del microprocesador o microcontrolador. Las interrupciones se producen en forma asíncrona. Al detectar una interrupción, el procesador suspende temporalmente la ejecución de su programa y pasa a procesar la rutina de interrupción. Cuando ésta finaliza, regresa a procesar el programa inicial que fue interrumpido.

Las interrupciones pueden clasificarse como mascarables y no mascarables. Una interrupción es mascarable si el procesador, bajo control de software, puede ser instruido para ignorarla. Por otro lado, una interrupción es no mascarable si el procesador no puede ignorarla y deberá darle servicio. El microcontrolador MC68HC11 empleado en el PD-1 posee una terminal dedicada para las interrupciones no mascarables y una línea para interrupciones mascarables.

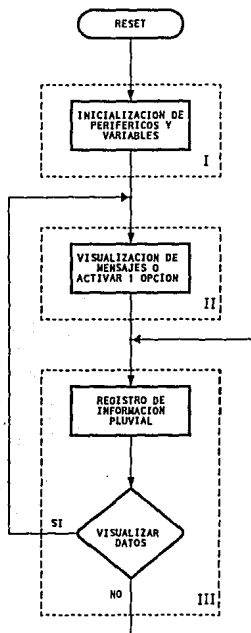


Figura 5.1 Diagrama de flujo general del programa de control

## 5.1 MODULO I - INICIALIZACIÓN

Este primer módulo o rutina principal entra en ejecución después de que se ha ejecutado una señal de RESET cuando se enciende el instrumento. El diagrama de flujo del proceso que se lleva a cabo en este módulo se muestra en la figura 5.2.

En la primera parte se configura el microcontrolador. Aprovechando la propiedad de modificar el mapa de memoria que tiene el microcontrolador MC68HC11, lo primero que se realiza es cambiar de posición los 256 bytes de RAM y los registros de control, ubicándolos en la dirección \$8000. Esta modificación tiene por objeto adecuar el mapa de memoria para que los 32 kbytes menos significativos (\$0000 -\$7FFF) sean ocupados por la memoria de almacenamiento de información pluvial (EEPROM). A continuación se inicializa el "stack pointer" y se establece el periodo de la interrupción de tiempo real.

Normalmente las interrupciones mascarables se activan mediante un nivel bajo en la terminal correspondiente, sin embargo, durante los primeros 64 ciclos de reloj es posible establecer que las interrupciones sean reconocidas por flanco de bajada. De esta última forma se establecen las interrupciones mascarables en el PD-1.

En seguida se procede a habilitar las interrupciones mascarables y no mascarables, así como el reconocimiento de la instrucción STOP, la cual, al ser procesada, pone al microcontrolador en un modo de bajo consumo durante el cual se paran todos los relojes internos, deteniéndose toda operación.

Después se habilita el transmisor del puerto serie y se selecciona el formato de transmisión: 1200 bauds, un bit de inicio, 8 bits de datos, un bit de paro, sin paridad.

Terminada la configuración del microcontrolador se procede a configurar e inicializar el reloj/fechador de tiempo real y el módulo de despliegue. Por último, se inicializan las variables y constantes utilizadas por el programa del sistema operativo.

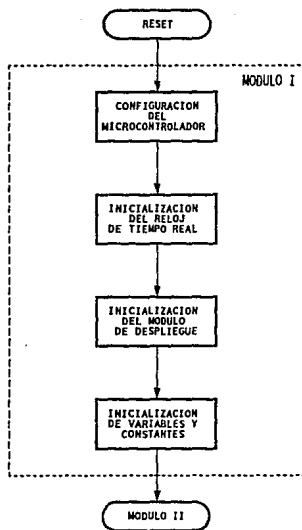


Figura 5.2 Diagrama de flujo del modulo I de inicialización

## 5.2 MÓDULO II - VISUALIZACIÓN

Su diagrama general de flujo se muestra en las figuras 5.3a y 5.3b. Una vez establecidas las condiciones iniciales del sistema, la primera tarea que se realiza es enviar, por medio de una de las terminales de salida del puerto A del microcontrolador, una señal para habilitar la alimentación secundaria que proveerá de energía al módulo de despliegue y a la interfaz RS232-C. De la misma forma se habilita otra terminal puerto A para activar los puertos externos que se emplean para aislar los buses de control, datos y direcciones de los dos dispositivos mencionados. A continuación se habilita la interrupción de tiempo real. En el módulo de despliegue aparecerá como primer mensaje la identificación del instrumento, así como el número asignado a la estación de registro.

A partir de este momento, el usuario tiene acceso a las diversas opciones con que cuenta el sistema mediante los interruptores de control, es decir, puede leer información, modificar ciertas variables o activar alguna de las funciones disponibles. La figura 5.3b muestra esta parte del programa.

Utilizando la interrupción de tiempo real, una señal que interrumpe al microcontrolador a intervalos regulares, se verifica si durante un lapso de 20 segundos no se ha oprimido algún botón del sistema. Si ésto ocurre, el programa deshabilitará los puertos y la alimentación del visualizador e interfaz RS-232C, ejecutará la instrucción STOP, con lo cual se detendrán todos los relojes internos y bajará el consumo de energía del instrumento, pasando al módulo III de registro. En caso de que el monitor de eventos en tiempo real se encuentre habilitado, se toma la salida directamente sin apagar el visualizador e interfaz serie.

La manera como se detecta que ningún interruptor se ha oprimido durante 20 segundos es sencillamente a través de un contador que se incrementa al ocurrir una interrupción de tiempo real (figura 5.4) y que es restaurado cada vez que se oprime algún botón.

Adicionalmente se cuenta con un monitor de eventos en tiempo real, el cual transmite hacia una computadora personal la información que se genera como consecuencia de la

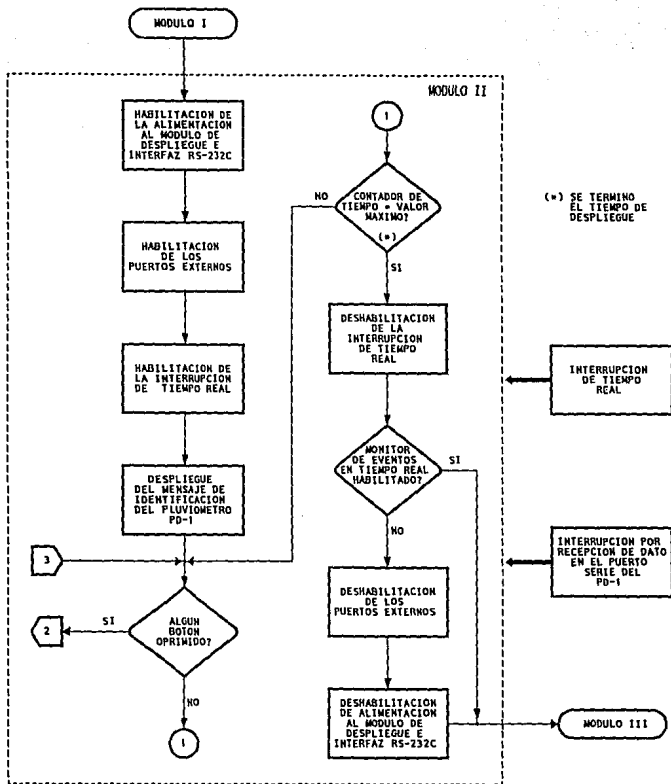


Figura 5.3a Diagrama de flujo del modulo II de visualización

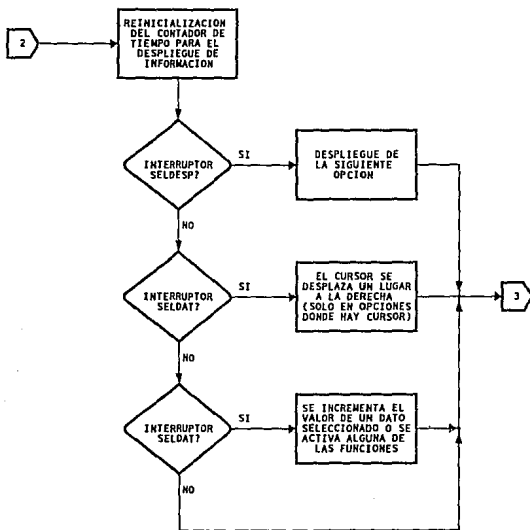


Figura 5.3b Diagrama de flujo del modulo II de visualización (continuación)

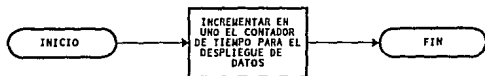


Figura 5.4 Diagrama de flujo de la interrupción de tiempo real

ocurrencia de un evento. Esta opción es habilitada o deshabilitada mediante un comando desde una computadora personal conectada al puerto serie del registrador. Para ello, el PD-1 debe encontrarse en el modo de visualización, ya que se emplea una interrupción generada dentro del microcontrolador proveniente del subsistema de comunicación serie asíncrona. Dicha interrupción se genera cuando llega algún dato al receptor. En la figura 5.5 se muestra la rutina de interrupción por recepción de datos. Si el dato recibido en el PD-1 corresponde a \$80, se enciende una bandera, indicando que el monitor de eventos se habilitó. Si el dato corresponde a \$08, la misma bandera se apaga, deshabilitando al monitor. Además, se transmite hacia la computadora el mismo dato recibido en el PD-1 para indicar en la pantalla el resultado de la operación.

La rutina para el despliegue de datos y ejecución de funciones se detalla en las figuras 5.6a y 5.6b. Al oprimir el botón <SELDESP> se incrementa la variable DESP de opciones a desplegar y se muestra su mensaje correspondiente. Cuando se rebasa el máximo número de opciones a desplegar, DESP es reinicializada a cero y en el visualizador vuelve a aparecer el primer mensaje con la identificación del instrumento y el número de la estación.

Los interruptores de control <SELDESP>, <SELDAT> y <DAT> están conectados a tres de las terminales de entrada del puerto E del microcontrolador. La detección y eliminación de rebotes de algún interruptor se hace por programa. Para detectar cuándo se presiona uno de estos interruptores, así como para determinar cuál de ellos fue, se efectúa una lectura a dicho puerto y se hace una comparación. Para eliminar los rebotes mecánicos que se producen al oprimir algún interruptor, se programó un retardo de 100 milisegundos, tiempo suficiente para eliminar la oscilación transitoria de los contactos.

En las opciones correspondientes a las funciones con que cuenta el PD-1 se despliega una indicación en la segunda línea del módulo de despliegue; basta con oprimir el interruptor <DAT> para activar dichas funciones. Cuando la función activada es la prueba de memoria EEPROM, en la pantalla se podrá observar una indicación de cada uno de los pasos efectuados en dicha prueba, y al terminar se desplegará el resultado de la operación. Posteriormente se regresará al mensaje original. En las funciones para transferir datos y para



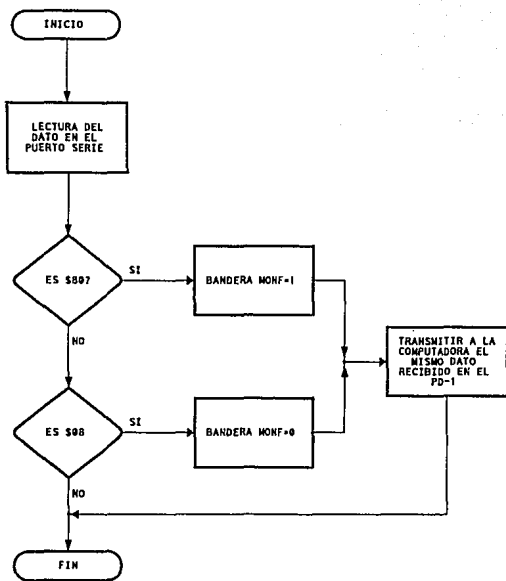


Figura 5.5 Rutina de interrupción por recepción de dato

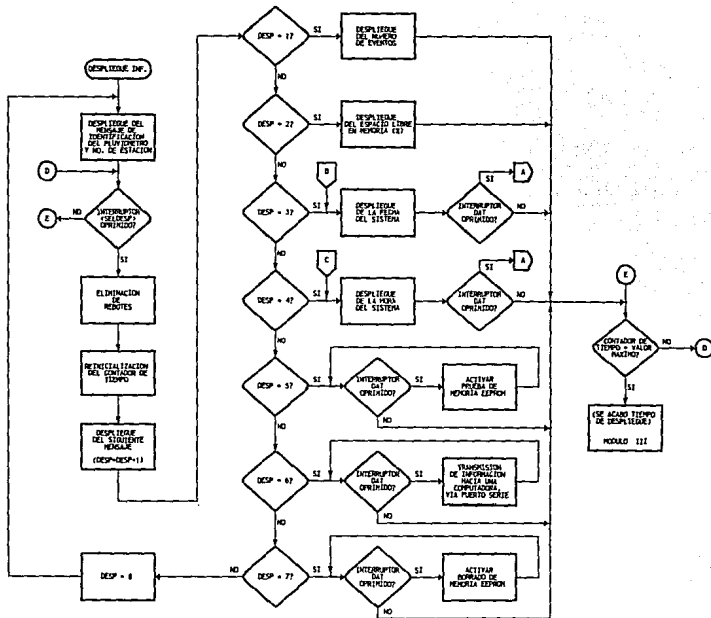


Figura 5.6a Diagrama de flujo de la rutina de visualización

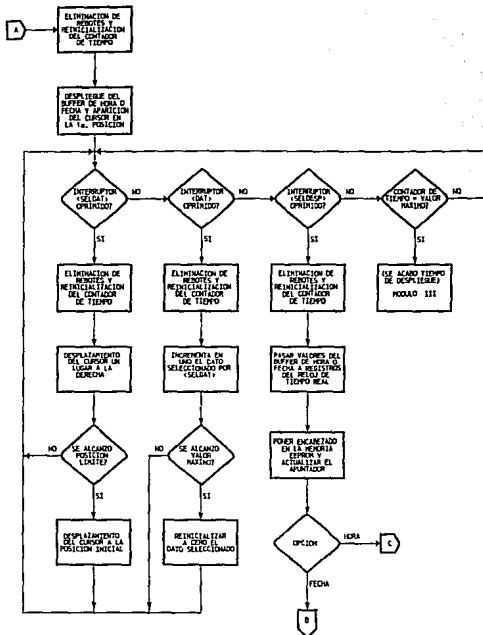


Figura 5.6b Diagrama de flujo de la rutina de visualización (continuación)

borrar la memoria, no se desplegará ninguna indicación en el visualizador mientras se estén efectuando, pero una vez que terminan, vuelven al mensaje de la opción.

Para modificar los datos de fecha y hora (DESP = 3 y 4, respectivamente) se oprime el botón <DAT>. Una vez que se eliminaron los rebotes y se reinicializó el contador de tiempo de despliegue, se despliega en la segunda línea el contenido de un buffer o memoria intermedia y se habilita un cursor sobre el primero de los datos inicializables. Si se presiona el interruptor <SELDAT>, el cursor se irá desplazando hacia la derecha, con el objeto de seleccionar uno de los datos desplegados. Cuando se llega al último dato, el cursor regresa a la primera posición. Al pulsar el botón <DAT> se incrementa sucesivamente el valor del dato seleccionado con <SELDAT>. Cuando el valor llega a su límite se reinicializa a cero. Al presionar el interruptor <SELDESP>, la información de la hora o fecha modificada y contenida en el buffer se transfiere al reloj de tiempo real, luego se graba un nuevo encabezado en la memoria EEPROM y finalmente se actualiza el apuntador de datos, y se regresa al despliegue de la fecha o a la hora.

### **5.3 MÓDULO III - REGISTRO**

Durante esta tercera rutina se desarrolla la tarea principal del registrador que es el registro, la codificación y el almacenamiento de la información. El diagrama de flujo correspondiente a este módulo del sistema operativo se presenta en la figura 5.7

Al entrar a esta parte del programa se activa el modo de bajo consumo del microcontrolador con la instrucción STOP, quedando en un estado de letargo. De este estado sólo podrá salir mediante una señal de interrupción. Cuando ésta se produce, se tiene que determinar la fuente o el origen de dicha señal. El microcontrolador cuenta con una serie de dispositivos que pueden generar una interrupción, como es el caso de la de tiempo real. Posee además, dos terminales especiales para detectar interrupciones externas: IRQ y XIRQ, las cuales se emplean para interrupciones mascarables y no mascarables, respectivamente. Las fuentes de interrupción externa para el PD-1 pueden ser tres: que se produzca un evento

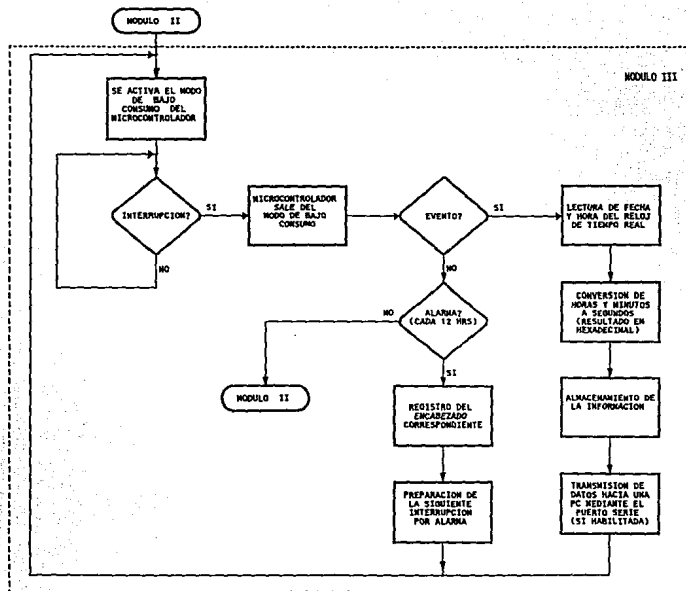


Figura 5.7 Diagrama de flujo del módulo III - registro de datos

(señal IRQ), que hayan transcurrido 12 horas se grabe un encabezado o que el usuario desee entrar al modo de visualización mediante el interruptor <MONITOR> (señales XIRQ).

En el primer caso, cuando el balanceo del sistema captador del pluviógrafo cierra momentáneamente un interruptor, se genera un pulso que interrumpe al microcontrolador. Éste sale entonces del modo de bajo consumo, lee la hora, minutos y segundos del reloj/fechador, convierte esta información a su equivalente en segundos, guarda la información en la memoria EEPROM, transmite los datos por el puerto serie (si se encuentra habilitada esta opción) y, regresa finalmente al modo de bajo consumo en espera de otra interrupción.

Para diferenciar el origen de las dos restantes fuentes de interrupción se hace una lectura a uno de los registros de control del reloj/fechador de tiempo real; si el bit de alarma se encuentra en estado alto quiere decir que la interrupción se generó por el reloj/fechador, de lo contrario, se presionó el interruptor <MONITOR>.

Cuando la interrupción proviene del reloj/fechador, que sucede cada 12 horas, el microcontrolador sale del modo de bajo consumo, hace una lectura al registro de horas del reloj/fechador con el fin de determinar si es A.M. o P.M. Después registra el encabezado en la memoria EEPROM, prepara la siguiente interrupción, es decir, se programa el registro de alarma del reloj/fechador con el valor correspondiente a las doce horas siguientes, y por último, regresa al modo de bajo consumo.

Si la interrupción se genera por el interruptor <MONITOR>, el registrador entra al modo de despliegue.

## VI. PROGRAMA UTRAP

Con el fin de comunicar al PD-1 con una computadora personal se desarrolló el programa UTRAP, cuya tarea es recibir la información que se transfiere desde el PD-1, decodificar los datos y almacenarlos en un archivo. Adicionalmente cuenta con utilerías que permiten al usuario observar y analizar los datos contenidos en el archivo. En este capítulo se describe en forma muy general el programa, su modo de uso y se presenta un ejemplo de algunos datos procesados.

### 6.1 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

El programa UTRAP está escrito en lenguaje C y básicamente está formado por cuatro rutinas principales: recuperación y almacenamiento de datos, despliegue de información, graficación de datos y monitoreo de eventos en tiempo real. El diagrama de flujo de la figura 6.1 resume la operación del programa.

En la figura 6.2 se muestra la presentación en pantalla del programa. Como se puede ver, consta esencialmente de cuatro módulos: en el recuadro superior se muestra información sobre el PD-1 y el programa; en medio de la pantalla se presentan las opciones del menú; en la parte inferior se localiza un recuadro en el que se proporciona al usuario ayuda sobre la opción seleccionada; finalmente al fondo se encuentra una barra de comandos.

Las opciones se seleccionan mediante las teclas de dirección. Al presionar [↑] o [↓], una barra deslizante se mueve hacia arriba o hacia abajo iluminando la opción deseada. Para ejecutarla debe presionarse la tecla [ENTER]. Conforme se desplaza la barra, en el recuadro de ayuda se despliega un mensaje con la descripción de la opción.

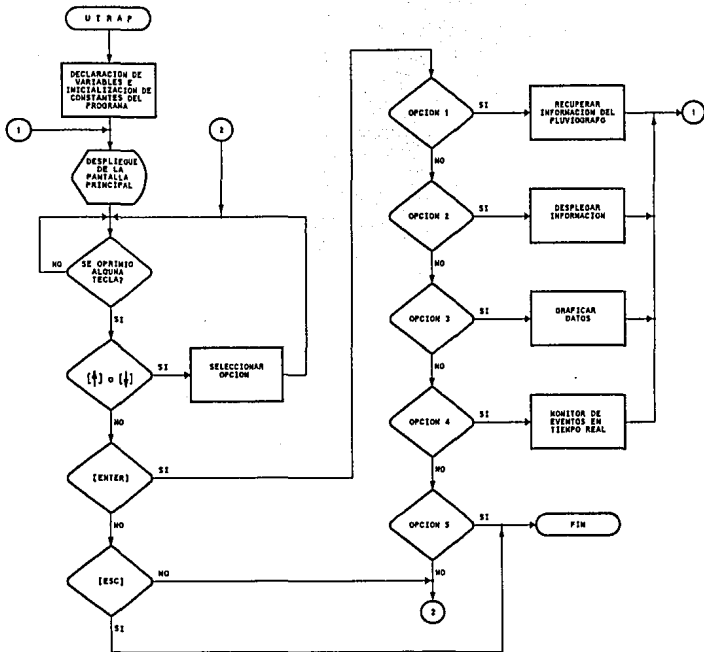


Figura 6.1 Diagrama de flujo general del programa UTRAP



PLUVIOGRAFO DIGITAL PD-1    PROTOTIPO: 1.0  
U T R A P    Ver. 1.0

Recuperar información del pluviógrafo  
Desplegar información  
Graficar información  
Monitor de eventos en tiempo real  
Fin

Se transfiere a la PC la información del pluviógrafo a un archivo de texto.

Esc: Salir    F1: Seleccionar    F2: Activar opción

Figura 6.2 Presentación en pantalla del programa UTRAP

## 6.2 RECUPERACIÓN DE DATOS

Esta opción se emplea para transferir la información almacenada en la memoria EEPROM del PD-1 a una computadora. Antes de iniciar la transferencia de los datos el programa pide especificar un nombre de archivo. Los datos se transfieren hacia la computadora personal por medio del puerto serie, almacenándose en un arreglo conforme se van recibiendo. Una vez que se terminan de enviar los datos, se decodifican y pasan a formato en código ASCII que facilita su interpretación. Posteriormente se almacena esta información en un archivo tipo texto. En la figura 6.3 se muestra el proceso de recuperación de datos.

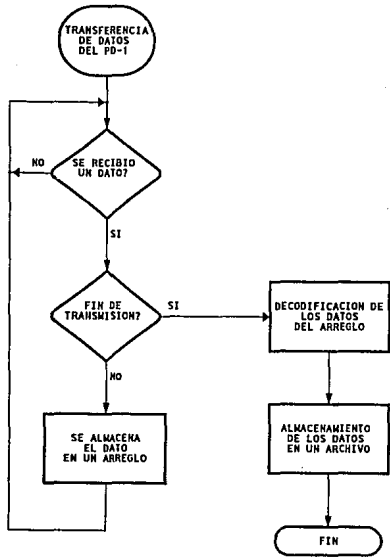
En la figura 6.4 se presenta un ejemplo de la información almacenada en el archivo de texto. Se distingue un encabezado y una zona de datos. En el encabezado se presenta el nombre del archivo, el número de eventos registrados durante el periodo de operación del instrumento y la duración del periodo (desde que se instala hasta que se registra el último evento antes de revisar el PD-1). En la zona de datos se presenta en forma de una lista la fecha y la hora de ocurrencia de cada uno de los eventos registrados durante ese día.

## 6.3 DESPLIEGUE DE INFORMACIÓN

Esta alternativa permite al usuario visualizar la información de un archivo. Los datos se presentan en la pantalla en forma de columnas con el formato de la figura 6.4. Si el archivo es muy extenso, se desplegará la información pantalla por pantalla. Sólo se pueden ver los datos de los archivos que hayan sido generados por el programa UTRAP, ya que de lo contrario se enviaría un mensaje de error.

## 6.4 GRAFICACIÓN DE INFORMACIÓN

Esta opción permite visualizar en forma gráfica el contenido de los archivos generados por el programa UTRAP. La figura 6.5 es un ejemplo del tipo de gráfica que se presenta en



**Figura 6.3** Diagrama de flujo de la rutina para recuperar información

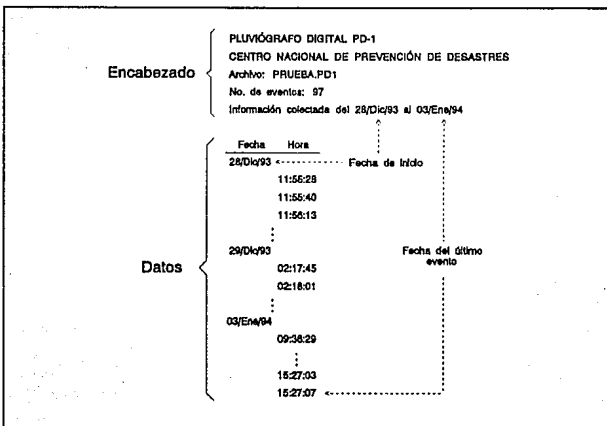


Figura 6.4 Formato de almacenamiento de datos en un archivo texto

la pantalla de la computadora. La información mostrada consiste en la precipitación acumulada diariamente (en milímetros) a lo largo del tiempo que el PD-1 se haya mantenido en operación. Sólo es posible graficar aquellos archivos generados por la utilería de recuperación de datos.

## 6.5 MONITOR DE EVENTOS EN TIEMPO REAL (METR)

Mediante esta opción se pueden visualizar en tiempo real la fecha y la hora en que ocurre un evento (es decir, el cierre momentáneo del interruptor producido cuando el peso del agua colectada en alguno de los recipientes conmuta el balancín). Para hacer uso de esta opción es necesario haberla habilitado en el PD-1, como se explicó en el capítulo IV, ya que

Archivo: FEB16.DAT

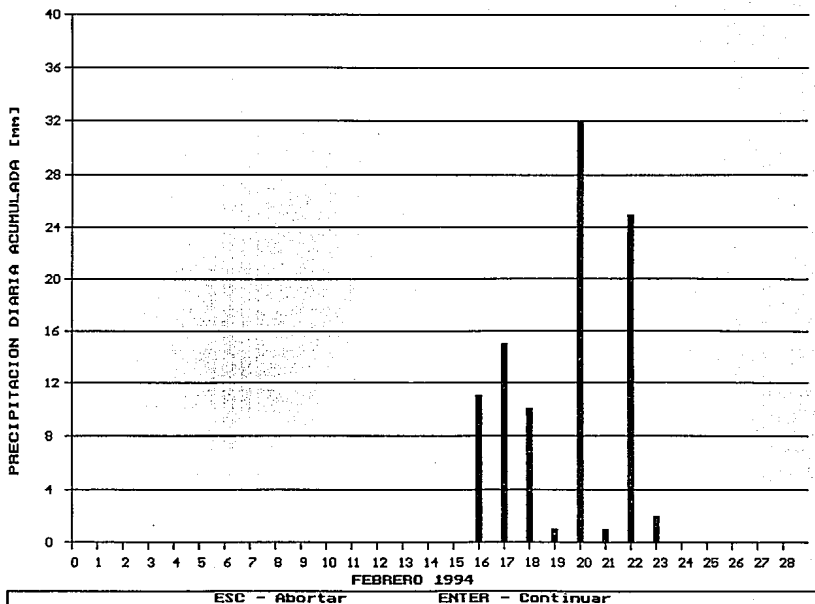


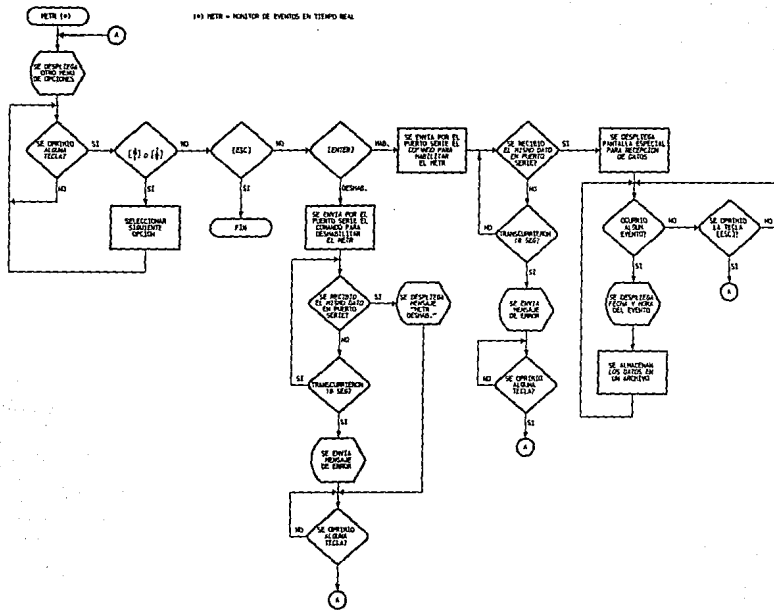
Figura 6.5 Ejemplo de las gráficas realizadas por el programa

normalmente se encuentra inactiva para ahorrar energía del instrumento. Adicionalmente los datos recabados de esta forma también se almacenan en un archivo con el formato descrito.

La habilitación o deshabilitación del monitor de eventos en tiempo real requiere que el PD-1 se encuentre en el modo de visualización para que el instrumento pueda recibir a través del puerto serie el comando adecuado. El proceso para habilitar o deshabilitar el monitor, así como su funcionamiento se describe a grandes rasgos mediante el diagrama de la figura 6.6.

## **6.6 FIN**

Con esta opción se termina la ejecución del programa y se regresa al sistema operativo. También es posible finalizar la sesión de trabajo al oprimir la tecla ESCAPE.



74

Figura 6.6 Diagrama de flujo de la rutina del monitor de eventos en tiempo real

## VII. CONCLUSIONES

Con el prototipo de pluviógrafo digital PD-1 se cumplieron los objetivos iniciales planteados de diseñar un instrumento sencillo y de bajo costo para la medición y registro de datos de lluvia. Su desempeño en el laboratorio ha sido satisfactorio. Sin embargo, hace falta integrarlo todavía en un gabinete protector y someterlo a intensas pruebas de campo, para ver su comportamiento bajo condiciones reales de trabajo que son muy diferentes a las del laboratorio. Para ello sería recomendable instalar el prototipo en alguna estación en donde haya otro pluviómetro conocido, con el fin de comparar su desempeño. También sería de utilidad almacenar en un recipiente adicional el agua que desaloja el balancín para verificar que la cantidad de precipitación registrada en el pluviómetro PD-1 corresponda a la del recipiente.

Una característica importante del instrumento es su reducido consumo de energía debido a la operación intermitente del pluviómetro, ya que sólo consume energía en el modo de registro cuando ocurre un evento. Esto garantiza una mayor autonomía de registro.

El registro de la información en una memoria de estado sólido es otra ventaja respecto a otros sistemas electromecánicos. Además, permite que los datos puedan ser vaciados directamente a una computadora, eliminando la tediosa tarea de tener que trasladar manualmente los registros continuos a la computadora.

En este proyecto se empleó un pluviómetro tipo balancín para hacer los registros, sin embargo, cualquier otro método pudo haberse utilizado ya que lo importante del diseño aquí presentado es el sistema de registro. No obstante, hay que tener en cuenta que el registrador sólo acepta señales de entrada de tipo digital, por lo que se deben hacer las adaptaciones necesarias si se va a usar un pluviómetro de tipo flotador o de peso.



Aunque el programa de comunicación entre el pluviógrafo y una computadora personal quedó básicamente desarrollado, requiere mejorarse y ampliarse con rutinas y procedimientos que faciliten aun más la tarea de recolección y análisis de la información.

El pluviógrafo PD-1 representa un desarrollo tecnológico que permitirá satisfacer a corto plazo la necesidad que nuestro país todavía tiene en cuanto a sistemas de registro de precipitación, los cuales a su vez permitirán estudiar con más profundidad este fenómeno natural.

## RECONOCIMIENTOS

Quiero agradecer a las personas que contribuyeron de alguna forma a que este trabajo de tesis se formara como tal:

A los ingenieros Enrique Guevara, Ricardo González, Bertha López, Salvador Medina, así como a Mauricio Ortega y Luis Fierro por su ayuda durante el desarrollo del proyecto.

Al Dr. Ramón Domínguez por su ayuda y sus opiniones sobre el prototipo.

A mi padre por la exhaustiva lectura de los primeros manuscritos. Sus comentarios fueron de gran ayuda.

Agradezco especialmente al M. en I. Roberto Quaas por haberme dado su confianza, ayuda y apoyo durante el desarrollo del pluviógrafo. Ha sido una gran experiencia haber trabajado con él.

## BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

1. Linsley R.K., Kohler M.A., Paulhus J.L.H.: "Hydrology for Engineers," 3ª Ed., McGraw-Hill, 1982
2. Bruce J.P., Clark R.H.: "Introduction to Hydrology," 1ª Ed., Pergamon Press, 1969
3. Singh V.P.: "Elementary Hydrology," Prentice-Hall, 1992
4. World Meteorological Organization: "Guide to Hydrometeorological Practices," 1ª Ed., 1965
5. Middleton W.E.K., A.F. Spilhaus: "Meteorological Instruments," 3ª Ed., University of Toronto Press, 1953
6. Kelway P.S.: The Rainfall Recorder Problem, *Journal of Hydrology*, no. 26, pp. 55-77, 1975
7. "MC68HC11A8 Advance Information," Motorola Inc., 1987
8. "MC68HC11 Reference Manual," Motorola Inc. - Prentice Hall, 1991
9. "MC68HC11A8, A1, A0 Technical Summary," Motorola Inc., 1991
10. "Microprocessor, Microcontroller and Peripheral Data Book," (Vols. I y II) Motorola Inc., 1988
11. "Linear and Interface Integrated Circuits," Motorola Inc., 1990

12. "CMOS Logic Data Book," National Semiconductor Corporation, 1988
13. "MAXIM New Releases Data Book," Maxim Integrated Products Inc., 1990
14. "IC Memories Data Book," Hitachi America Ltd., 1987
15. "AND Display Products Catalog," William J. Purdy Company, 1990
16. "Integrated Circuit Data Book," Atmel Corporation, 1991
17. "PSEUDOSAM Assembler Manual V2.4.00," PseudoCorp, 1991
18. Hall D.V.: "Microprocessors and Interfacing: Programming and Hardware,"  
McGraw-Hill, 1988
19. Campbell Joe: "C Programmers's Guide to Serial Communications,"  
SAMS, 1987
20. Lafore Robert: "The Waite Group's C Programming Using Turbo C++,"  
SAMS, 1992
21. Sargent, Shoemaker: "The IBM Personal Computer from the Inside Out,"  
Addison-Wesley Publishing Company, 1985

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## APÉNDICE A

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PLUVIÓGRAFO PD-1

<b>Función:</b>	Adquisición, codificación y almacenamiento de datos relativos a la precipitación
<b>Medio de registro:</b>	Memoria de estado sólido (EEPROM) con capacidad de 32 Kbytes
<b>Periodo de registro:</b>	De 5 a 6 meses
<b>Sensor:</b>	Pluviómetro tipo balancín Interruptor de mercurio para el registro 0.5 mm de precipitación por evento
<b>Modos de operación:</b>	a) Modo de visualización, durante el cual se puede observar la información, modificar algunos parámetros o activar una función  b) Modo de registro. En éste se realiza la adquisición y almacenamiento de los datos
<b>Visualización de datos:</b>	Módulo de despliegue de cristal líquido 2 líneas, 16 caracteres por línea
<b>Transmisión de datos:</b>	Puerto serie con niveles RS232-C 1200 bauds, NRZ, 8 bits de datos, 1 bit de paro, 1 bit de término, sin paridad
<b>Alimentación:</b>	Externa, 6 a 16 V <sub>DC</sub>
<b>Consumos:</b>	Modo de visualización: 17 mA Modo de registro: 0.5 mA
<b>Tecnología:</b>	CMOS
<b>Programa de utilería:</b>	Programa para recepción, decodificación y almacenamiento de los datos transmitidos desde el PD-1 vía puerto serie