



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS  
PROFESIONAL Y DE POSGRADO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATEMÁTICAS  
APLICADAS Y EN SISTEMAS  
ESPECIALIZACIÓN, MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA  
COMPUTACIÓN

SISTEMA DE ECO SONDEO ACÚSTICO, Y ANÁLISIS  
DE DATOS POR COMPUTADORA

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

P R E S E N T A

MARIO ALBERTO DELGADO CORONA

BIBLIOTECA

JUAN A. ESCALANTE

UNIDAD ACADÉMICA DE  
LOS CICLOS PROFESIONAL  
Y DE POSGRADO / CCH

UNAM

FEBRERO 1984.

## DEDICATORIA.

Esta tesis la dedico con cariño a mi esposa Olga, Quién me ha demostrado su amor, fé y comprensión en todo momento.

También hago extensiva esta dedicatoria a mi hijo Mario Alberto, y a todos aquéllos que con el favor de Dios, vendrán en un futuro próximo.

Mario.

## AGRADECIMIENTO.

Agradesco de una manera muy especial a mi asesor de tesis, Dr. Alejandro Velasco Levy con Quién tuve una experiencia muy grata, de la cual pude adquirir un sinnúmero de conocimientos.

También hago un reconocimiento a los Ingenieros Eric Moreno, Mario Peña, Antonio Moreno, Saúl Martínez, Hugo Moreno y Hector Haro, personal del laboratorio RAMSES. De la misma manera agradezco al Ing. Sadot Alexander por la elaboración de los diagramas, y a las secretarias Esperanza Vázquez y Elizabeth Derbéz por la labor de mecanografía en relación a las fórmulas contenidas en la tesis.

Por último, quiero agradecer a todos aquéllos que con un consejo o una frase de aliento, me ayudaron a sobreponerme en los momentos difíciles.

## I N D I C E.

Introducción.	1
Objetivos.	9
Capítulo 1.	
Simbología.	10
Características del sonido en el aire.	11
1.1 Naturaleza del sonido.	11
1.2 Parametros de las ondas acústicas esféricas.	12
1.3 Radiación del sonido.	21
1.4 Transmisión del sonido.	26
1.5 Parlantes, micrófonos y antenas.	33
1.6 Ruido.	45
1.7 Modelos matemáticos de la potencia en sistemas de eco sondeo.	47
1.8 Naturaleza del eco del sonido.	52
Capítulo 2.	
Etapa de hardware.	55
2.1 Proyecto.	55
2.2 Etapa de hardware.	58
2.2.1 Circuito de control y oscilador.	59
2.2.2 Oscilador de onda senoidal y amplificador de potencia.	63
2.2.3 Bocinas, micrófono y antena.	67
2.2.4 Preamplificador.	68
2.2.5 Filtro paso banda.	70
2.2.6 Circuito compensador.	73
2.2.7 Segundo filtro paso banda.	81
2.2.8 Detector de máximos.	84
2.2.9 Convertidor analógico/digital.	87

<b>Capítulo 3.</b>	
Etapa de software.	92
3.1 Características de la microcomputadora.	92
3.1.1 Arquitectura del microprocesador.	93
3.1.2 Sistema TRS-80.	97
3.1.3 Memoria.	99
3.2 Programas.	103
3.2.1 De control.	107
3.2.2 De ejecución.	122
3.2.3 De tiempo real.	140
3.2.4 Auxiliares.	145
<b>Capítulo 4.</b>	
Resultados experimentales.	155
4.1 Micrófono.	155
4.2 Antena Parabólica.	155
4.2.1 Directividad.	158
4.2.2 Ganancia.	158
4.2.3 Aislante.	161
4.3 Bocinas	162
4.4 Etapa de hardware.	162
4.5 Muestreos hechos con el sistema de eco sondeo.	164
Conclusiones.	192
Apéndice.	194
Bibliografía.	198

## INTRODUCCION

El propósito fundamental de esta tesis, es crear un sistema de eco sondeo, que permita observar la estructura de la temperatura y la densidad en la atmósfera de una manera sencilla y rápida, para hacer un análisis, con el cual se puede determinar la rapidez de la dispersión de los contaminantes en la misma. Este proyecto es muy importante, ya que existe el problema de la contaminación ambiental en las grandes ciudades industrializadas y con gran densidad de población, donde se tienen que tomar medidas verdaderamente efectivas, para evitar que éste se agrave. Por ejemplo, citamos la Ciudad de México, donde debido a su topografía, existe en un 60% del tiempo vientos en calma (velocidad menor a 1.5 mts/seg), que no son capaces de dispersar los contaminantes, lo cual provoca un problema latente y bastante peligroso que afecta todo ser viviente dentro de dicha población, traduciéndose en enfermedades respiratorias.

La atmósfera esta dividida en cinco capas, de acuerdo a la altura, como se puede observar en la figura 1.1a [22]. La variación de la temperatura con respecto a la altura, cambia dependiendo de la capa que se esté tratando, a nosotros la que nos interesa es la mas baja (tropósfera), puesto que la concentración de contaminantes en capas más altas no afecta tan severamente al ser humano. En los párrafos y capítulos siguientes, todo lo que se mencione con respecto a la atmósfera, estará relacionado con la capa más baja, o sea la tropósfera, en donde la temperatura va decreciendo gradualmente conforme aumenta la altura, en una proporción aproximada de  $6^{\circ}\text{C}/\text{Km}$  de altura en el ecuador. En la figura 1.1b, se puede ver más

ampliamente la variación de la temperatura con respecto a la altura en esta capa [18] .

Como es sabido, el comportamiento físico de los gases se caracteriza por moverse de un lugar de mayor temperatura a uno de menor temperatura, esto sucede si no existe una fuerza externa que los obligue a moverse en otro sentido, como es el caso de los vientos. Por lo general en la tropósfera las capas más altas son más frías que las capas bajas, y como los gases de contaminantes son de aire caliente, tienden a subir, es decir, cambian la energía cinética del movimiento de sus partículas por energía potencial, y suben tan rápido como sea la diferencia de temperaturas entre capas. Esto nos lleva a pensar que los contaminantes se dispersarán en la atmósfera, y que el problema quedaría resuelto, pero no es así. Si vemos que la cantidad de contaminantes es demasiada, y la diferencia de temperaturas entre capas no es suficiente, y más aún si se encuentra una capa alta con mayor temperatura (capa de inversión) -- que se comporta como un tapón para la dispersión de los contaminantes, ya que obliga a los mismos a estancarse en la capa inferior más fría.

Las capas de inversión pueden producirse por el desplazamiento de aire caliente en las capas altas de la tropósfera. Por ejemplo en la Ciudad de México, se ha notado las capas de inversión más bajas en tiempo de frío, con su correspondiente acumulación de contaminantes.

Este proyecto no pretende dar una solución que elimine rápidamente la contaminación atmosférica, sino que trata -- de dar una solución a largo plazo, que consiste en observar -- el comportamiento de la capa de inversión, y junto con otros -- datos encontrar los lugares urbanos más propicios para situar-

las fuentes contaminantes futuras, y establecer alguna estrategia de control sobre las fuentes de contaminación ya existentes, para así poder alcanzar en el futuro un nivel de contaminación atmosférica que sea aceptable a los habitantes de una zona urbana.

Las estrategias óptimas, esto es, los reglamentos y controles que resultan en la máxima reducción del nivel de contaminantes atmosféricos con un costo mínimo, pueden ser determinados solamente mediante el uso de un modelo matemático, el cual pueda predecir con exactitud la concentración de contaminantes atmosféricos, que se tendrían al ponerse en efecto los reglamentos de desarrollo urbano y las estrategias de control de las fuentes contaminantes.

Dichos modelos se basan en conceptos teóricos y requieren como datos básicos, ciertas variables meteorológicas tales como la dirección y velocidad del viento, altura de la capa de inversión, temperatura y estabilidad de la atmósfera, la topografía del terreno y un inventario de las fuentes de contaminación atmosférica [1] .

La exactitud del modelo matemático es una función de las simplificaciones hechas en la formulación teórica, así como de la exactitud de los datos que se utilizan en el modelo. Para que el modelo sea una herramienta útil en la predicción de los niveles de contaminación ambiental, es preciso que su exactitud sea muy alta, ya que decisiones costosas tales como equipo por instalarse, magnitud y localización de industrias etc., dependerán en parte de las predicciones del modelo.

En México, podemos decir que los modelos matemáticos de contaminación atmosférica ya han sido desarrollados en una



forma muy completa, pero en contraste a este desarrollo matemático, se observa que no se ha desarrollado un banco de datos meteorológicos para las condiciones de viento en calma tan importantes en la Ciudad de México, ignorándose además el valor de la altura de la capa de inversión.

Actualmente se han desarrollado instrumentos electrónicos de medición, diseñados y fabricados en México, específicamente en el laboratorio RAMSES (Red Automática Micro Meteorológica y Sistema de Eco Sondeo), ubicado en el edificio del IIMAS (Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas) en la Ciudad Universitaria (UNAM). Dichos instrumentos son utilizados para la medición de la temperatura y de la velocidad y dirección del viento (termómetros, anemómetros y veletas). También se encuentran en proceso de diseño instrumentos para medir la humedad relativa, nivel de agua en tiempo de lluvias (pluviómetro), y el sistema de eco sondeo que es este proyecto; todos ellos van a ser controlados por un microprocesador para la obtención de los datos.

Para hablar del modelo matemático referido, primeramente introduzcamos sobre el área urbana un sistema de coordenadas cartesianas, con los ejes  $x$  e  $y$  en el plano horizontal, con la dirección norte a lo largo del eje  $y$ , y con el eje  $z$  en la dirección vertical. En este sistema de coordenadas, la expresión general de la ecuación que rige la dispersión de los contaminantes atmosféricos, puede expresarse por la ecuación diferencial parcial,

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} [k_x \frac{\partial x}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k_y \frac{\partial x}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [k_z \frac{\partial x}{\partial z}] + S,$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial x}{\partial t} + U \frac{\partial x}{\partial x} + V \frac{\partial x}{\partial y} + W \frac{\partial x}{\partial z},$$

$\chi?$

donde se observa el significado de los términos que forman esta ecuación. El miembro derecho representa la dispersión del contaminante causada por la difusión por turbulencia, siendo  $k_x$ ,  $k_y$  y  $k_z$  los correspondientes coeficientes de difusión, y  $S$  representa las fuentes de emisión de contaminantes. El miembro izquierdo representa la dispersión del contaminante causado por el transporte del viento predominante, cuyos componentes son las velocidades  $U$ ,  $V$  y  $W$ . *en los ejes x, y, y z respectivamente*

Para la solución de esta ecuación de difusión que es muy general, se pueden hacer ciertas simplificaciones, consideradas para situaciones meteorológicas particulares, por ejemplo, se puede eliminar el viento en una determinada dirección, si éste no es muy dominante.

Los coeficientes  $k_x$ ,  $k_y$  y  $k_z$  tienen que ser determinados para la solución de la ecuación, y esto se hace por medio del banco de datos mencionados anteriormente: por ejemplo  $k_x$  y  $k_y$  son desviaciones estándar y se determinan de acuerdo a los datos que se obtengan de la veleta y el anemómetro (dirección y velocidad del viento en las coordenadas  $x$  e  $y$ ) de la siguiente forma,

$$k_y, k_x = \frac{K}{t_0} \int_0^{t_0} (\phi(t) - \bar{\phi})^2 dt$$

*x*

*K ?*

- donde
- $K$  = coeficiente de turbulencia,
  - $t_0$  = intervalo de muestreo,
  - $\phi(t)$  = valor instantáneo de la muestra, del ángulo de la veleta
  - $\bar{\phi}$  = valor promedio de las muestras del ángulo anterior.

*¿No dependen de z?* 5

y  $kz$  depende de la estratificación de las capas atmosféricas - y principalmente de la altura de la capa de inversión [1].

La forma como se pretende hacer la medición de la altura de la capa de inversión en la atmósfera, es por medio de un sistema de eco sondeo, el cual envía un sonido a la atmósfera, y trata de detectar el eco que se produce en ella (por las capas de aire a diferente temperatura) por medio de un micrófono puesto en el foco de una parábola, dicha señal es procesada y grabada en cassette.

El principio en el cual nos apoyamos para la detección de la capa de inversión es que: el eco o regreso del sonido en la atmósfera desde cualquier altura, es proporcional a la función de la estructura de la temperatura en una escala -- igual a la mitad de la longitud de onda del sonido que es regresado, y que la capa de inversión presenta un cambio en la -- densidad del aire, el cual a su vez es producto de un cambio brusco de temperatura. En base a estos cambios de densidad, -- es posible medir el retardo que el sonido sufre en su trayectoria transmisor-capa-receptor, y así establecer las relaciones necesarias para conocer la distancia a la cual esta onda fué -- reflejada.

Además debido a que la señal recibida producida por el eco del sonido en la atmósfera es muy pequeña, se tiene un problema muy serio que es el ruido que se mezcla con la señal, el cual puede ser ambiental, de movimiento mecánico de la estructura cerca del micrófono, o debido al movimiento de los -- electrones en las resistencias que conforman los circuitos para amplificar y procesar la señal.

Se han hecho estudios experimentales sobre la determinación de la capa de inversión en Inglaterra y en los Estados-

Unidos de Norteamérica, pero en México apenas se empiezan a - hacer mediante este proyecto en el laboratorio Ramses; entre - los trabajos previos relacionados, mencionaremos algunos como:

Los hechos en la costa oeste de Africa durante el ve- rano de 1974, instalados sobre un barco por la National Oceanic And Atmospheric Administration (NOAA) [5], donde se utilizó - una antena parabólica de 1.2 m de diámetro, usada para transmi- sión y recepción, montada sobre un pedestal de 10m. sobre el mar y dentro de una caja anecónica, la frecuencia de operación fue- de 2 KHZ; y para una potencia de emisión del sonido de 150 - - watts el máximo rango de detección fue de 300 metros de altu-- ra.

Los hechos en Mountain Field Site, 10 Km al norte de- Boulder, Colorado en agosto de 1971 por NOAA [4] , donde se -- utilizaron tres antenas parabólicas, una orientada 90° y las - otras dos a 45°, con diferentes frecuencias de operación, lo-- grandando captar capas entre 30 y 300 mts.

Y por último podemos mencionar también los estudios - que se han hecho en el U.S. National Weather Services Equip- - ment Laboratory realizados en 1968 [6], donde hicieron pruebas con diferentes tipos de antenas, y llegaron a obtener una que- consta de un arreglo de 9 x 9 bocinas, las cuales se utilizan- para transmisión y recepción con un amplificador de 3 Kw de -- potencia para manejarlas, además se colocó en su alrededor pa- redes anecónicas.

Existen dentro de este proyecto dos etapas: una de -- hardware que se encarga de manejar el lanzamiento y detección- del sonido en forma analógica (amplificación, filtrado, con- - trol y conversión analógica/digital) y otra de software que se

encarga de manejar la información ya digitalizada, para analizar su comportamiento por medio de una microcomputadora (control de muestreo, graficación, análisis estadístico y grabación).

El primer capítulo de esta tesis trata sobre conceptos de acústica, con los cuales podemos darnos una idea de cómo se produce el eco del sonido en la atmósfera, así como las diversas causas que lo atenúan. Los siguientes dos capítulos comprenden la parte práctica del proyecto; el segundo capítulo primeramente nos relata en que consiste el proyecto en una forma global, haciendo mención de las dos partes en que lo hemos dividido; enseguida se trata en una forma más detallada la etapa de hardware o circuitería. El tercer capítulo trata sobre la segunda parte del proyecto que es la etapa de software o programación, en la cual se manejan los datos digitalizados que se obtienen de la etapa anterior (de hardware); el cuarto capítulo trata sobre los resultados experimentales del proyecto, en los cuales se incluyen gráficas, tablas y datos, aquí se ve el procedimiento para encontrar el mejor aislante de ruido que se utilizó en la antena, los datos graficados en coordenadas cartesianas, etc.; por último tenemos las conclusiones, el apéndice y la bibliografía.

## OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto de tesis, es el de observar el comportamiento de la temperatura en la atmósfera a diferentes alturas, para poder determinar si existe una capa de inversión, y a que altura se encuentra.

Para lograr lo anterior, se utiliza un sistema de eco sondeo, en el cual se envía un sonido a la atmósfera y se capta el eco que se produce, cuya magnitud es proporcional a la estructura de la temperatura; de esta manera, los objetivos secundarios del proyecto son: 2

- 1) Reducción del ruido que acompaña a la señal en la recepción.
- 2) Compensación de la señal recibida, debido a que se va atenuando conforme pasa el tiempo, por un factor lineal (t).
- 3) Digitalización de la señal recibida, para ser procesada -- por una micro computadora.
- 4) Análisis de la señal recibida en la micro computadora:
  - a) Análisis estadístico (valor mínimo, valor máximo y sus posiciones, media aritmética y desviación estándar).
  - b) graficación (en coordenadas cartesianas y en datos progresivos, con valores de tiempo y altura).
- 5) Grabación de los datos obtenidos en cinta magnética (casette).

## SIMBOLOGIA (Capítulo 1)

- c- velocidad del sonido (metros/segundos)
- $\rho$ - densidad del aire (Kg/metros cúbicos)
- f- frecuencia (ciclos/segundo)
- w- velocidad angular (radianes/segundo) ( $2\pi f$ )
- p- presión acústica (newtons/metro<sup>2</sup>)
- r- distancia radial de la fuente (o del receptor) al frente de onda (metros).
- k- número de onda (radianes/metro) ( $w/c$ )
- T- temperatura absoluta ( $^{\circ}$ Kelvin) = ( $^{\circ}$ C + 273)
- W- potencia (watts)
- $\lambda$ - longitud de onda (metros)
- $\gamma$ - razón entre el calor específico molar del aire a presión -- constante y el mismo a volumen constante (cp/cv)
- R- Constante universal de los gases perfectos (Newton-m  
mol -  $^{\circ}$ c)
- M- Peso molecular (Kg/mol)
- v- amplitud de la velocidad (metro/segundo)
- $\theta$ - denota un ángulo (grados)
- $J_1$ -Función de Bessel de primera clase de orden uno
- a- denota distancia
- n'-Coeficiente de viscosidad del fluido
- $\alpha$ - eficiencia
- $\phi$ - flujo magnético (webers)
- B- densidad del flujo magnético (webers/m<sup>2</sup>)
- L- Longitud de la bobina de voz (metros)
- Rr-Resistencia de radiación (Kg/seg)
- fc-Frecuencia crítica
- m- Constante de abocinado
- D- Directividad
- $\tau$ - Duración del pulso transmitido (segundos)
- Kr-Constante de Boltzman.

## CAPITULO 1

### CARACTERISTICAS DEL SONIDO EN EL AIRE

En este capítulo se explican algunos conceptos y fórmulas de acústica, que ayudarán a entender mejor, como se piensa observar la estructura de la atmósfera mediante la captación del eco de un sonido que ha sido lanzado anteriormente. Empezaremos viendo como se produce el sonido y las características físicas del mismo, también porque se utiliza la intensidad del sonido como parámetro de medición de la temperatura en la atmósfera, después los emisores y receptores del sonido, -- así como sus parametros más importantes, enseguida se verá el ruido, sus efectos y modo de atenuarlo y por último los modelos matemáticos de la potencia a que han llegado algunos investigadores dedicados a sistemas de eco sondeo.

Los conceptos que aquí se describen son utilizados en capítulos posteriores, aquí se hablará sobre la acústica (física del sonido) enfocada a sistemas de eco sondeo. (Todo el material de este capítulo fue extraído de las referencias [ 16 ], [ 18 ] y [ 19 ]).

#### 1.1. Naturaleza del Sonido.

Las ondas son causadas por una perturbación, que empieza en un punto y se transmite y se propaga a otro punto de manera predecible, de acuerdo con las propiedades físicas del medio elástico a través del cual se transmite la perturbación.

A medida que un cuerpo vibrante avanza desde su posición de equilibrio estático, impulsa el aire delante de él y -



lo comprime, al mismo tiempo, se presenta un enrarecimiento - en la parte inmediata posterior del cuerpo, y el aire se precipita a llenar este espacio vacío. De esta manera, la comprensión del aire se transfiere a partes distantes, y el aire se pone en movimiento en forma de ondas sonoras; el resultado es el sonido. Para el oído humano, el sonido es la sensación auditiva producida por la perturbación del aire. Puesto que tanto los fluidos como los sólidos poseen inercia y elasticidad, - ambos transmiten las ondas sonoras.

Las ondas sonoras son longitudinales, es decir, las partículas se mueven en la dirección del movimiento de la onda. La propagación de las ondas sonoras implica la transferencia de energía a través del espacio, la cual es parcialmente cinética y parcialmente potencial, la primera se debe al movimiento de las partículas del medio y la segunda al desplazamiento elástico de las mismas. Al mismo tiempo que las ondas sonoras se extienden en todas direcciones, a partir de la fuente, pueden también ser reflejadas y refractadas, disipadas y difractadas, interferidas y absorbidas. Se necesita un medio para la propagación de las ondas sonoras y la velocidad de éstas depende de la densidad y la temperatura del mismo [16].

## 1.2 Parámetros de Las Ondas Acústicas Esféricas.

Las ondas sonoras se producen cuando se perturba el aire, y viajan a través del espacio tridimensional comúnmente como ondas sinusoidales longitudinales progresivas. Suponiendo que no hubiera variación de presión en la dirección Y o Z - (en un plano tridimensional), podemos definir las ondas acústicas planas como ondas progresivas libres unidimensionales que viajan en la dirección X. Los frentes de ondas son planos infinitos, perpendiculares al eje X, y paralelos entre sí en todo momento, como es el caso del movimiento ondulatorio longitudinal de una columna infinita de aire dentro de un tubo rígido

2  
r  
asi  
1 son 2  
x

liso, con un área de corte transversal constante.

De hecho cuando un cuerpo pequeño oscila en un medio elástico extenso, tal como el aire, la onda sonora producida se expandirá en forma esférica en vez de plana, y sus características tales como la ecuación de onda, elementos de onda, intensidad acústica, densidad de energía e impedancia acústica, varían debido a su forma de expansión en el medio.

*¿entonces que con 12.º? (plano?)*

Cuando la superficie de un pulso esférico se expande o se contrae radialmente alrededor de su posición media, se ejerce una fuerza sobre el fluido en contacto con la superficie, entonces el fluido es desplazado de su posición de equilibrio. Como resultado de este desplazamiento, se produce una perturbación que se propaga alejándose de la esfera uniformemente en todas las direcciones, como ondas esféricas.

Aunque la onda esférica se mueve hacia afuera con un frente de onda esférico en las tres dimensiones en un medio homogéneo, éste es unidimensional puesto que todos los puntos de la onda se pueden referir a una distancia (la distancia radial  $r$  del frente de onda desde el centro de la esfera). Aunque el frente de onda de la onda acústica esférica se puede considerar plano a gran distancia de la fuente, muchos problemas de acústica se tratan como ondas acústicas esféricas radiadas por una fuente simple, en lugar de ondas acústicas planas. Enseguida se verá los parámetros de las ondas acústicas esféricas, que son de interés para el proyecto; y en el apéndice de esta tesis mostramos las ecuaciones de las ondas acústicas planas [16].

*¿o de una la geometría?*

Ecuación de onda.- A medida que una onda de compresión se propaga a través de un gas, las regiones comprimidas -

en un instante dado se encuentran ligeramente más calientes, mientras que los enrarecimientos están algo más fríos. Sin embargo, las distancias entre las compresiones y los enrarecimientos son tan grandes y se suceden tan rápidamente los cambios de temperatura, que de hecho, no tiene lugar ningún intercambio de calor entre dichas partes; por lo tanto, las compresiones son adiabáticas en lugar de isotermas, por lo que en la ecuación de onda debe utilizarse la comprensión adiabática, además en el análisis del movimiento de una onda acústica esférica, se hacen los siguientes supuestos: viscosidad cero, fluido continuo y medio homogéneo, isotrópico y perfectamente elástico: lo cual nos dice que la ecuación de onda en tres dimensiones, en coordenadas rectangulares es,

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \left(\frac{1}{c}\right) \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad c? \quad (1.1)$$

La solución general se puede expresar en forma de ondas progresivas como,

$$p(x, y, z, t) = f(lx + my + nz - ct) + g(lx + my + nz + ct)$$

donde  $f$  y  $g$  son funciones arbitrarias, y  $l^2 + m^2 + n^2 = 1$

[ ¿ Qué frentes de onda? ]

La ecuación de onda en tres dimensiones se puede escribir en coordenadas polares o esféricas

$$\frac{\partial^2 (rp)}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 (rp)}{\partial r^2} \quad (1.2)$$

con solución

$$p(r,t) = \frac{1}{r} f(ct-r) + \frac{1}{r} g(ct + r)$$

donde  $f$  y  $g$  son funciones arbitrarias [ 16 ].

Elementos de onda.- En las ondas acústicas esféricas armónicas progresivas, tenemos tres elementos de onda,

Esos  
se pueden  
hablar  
a priori  
de  
temperatura

x

los cuales son:

$$\text{desplazamiento de la partícula} \quad u = -\left(\frac{1}{r} + ik\right) \frac{p}{w^2 \rho} \quad (1.3)$$

$$\text{Velocidad de la partícula} \quad v = uw = \left(\frac{1}{r} + ik\right) \frac{p}{iw\rho} \quad (1.4)$$

y la condensación

El cambio de densidad es la diferencia entre la densidad instantánea y la densidad de equilibrio constante del medio ambiente en cualquier punto, y está definida por la condensación  $S$  en dicho punto como

$$S = p/\rho c^2 \quad (1.5)$$

La presión acústica  $p$  es la presión instantánea total en un punto, menos la presión estática [16].

Velocidad del Sonido.- La velocidad del sonido es la velocidad de propagación de las ondas sonoras a través de un medio. Para evitar la complejidad inherente a las tres dimensiones se puede considerar que las ondas que se propagan en un tubo, es decir, si consideramos las ondas acústicas planas, la velocidad del sonido en el aire es,

$$c = \sqrt{\gamma p/\rho} \quad (1.6)$$

y en virtud de la ecuación de los gases perfectos, se tiene

$$\frac{p}{\rho} = \frac{RT}{M} \quad (1.7)$$

por lo tanto otra forma de expresar la velocidad será

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (1.8)$$

y como para un gas dado  $\gamma$ ,  $R$  y  $M$  se pueden considerar constantes (a poca altura), deducimos que la velocidad de propagación es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura ab-

solata, es decir, [19],

$$\frac{c_1}{c_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad (1.9)$$

→ p.28

Por lo anterior se puede decir, que siempre cuando -- una onda acústica viaja por un medio como el aire, y pasa de -- una capa con una temperatura a otra con diferente temperatura -- (como en las capas de inversión) variará su velocidad, y se -- reflejará en una proporción, que depende básicamente de la di -- ferencia de temperaturas entre capas. Este fenómeno se verá -- más adelante, en la transmisión del sonido.

Intensidad acústica y densidad de energía.- Desde el punto de vista puramente geométrico, lo que se propaga en un -- movimiento ondulatorio es la forma de onda; sin embargo desde -- el punto de vista físico, se propaga algo más en una onda, es -- to es la energía. La intensidad  $I$  de una onda que se propaga, se define como la cantidad media de energía transportada por -- unidad de superficie y por unidad de tiempo a través de una -- superficie perpendicular a la dirección de la propagación. -- Mas brevemente, la intensidad acústica es la tasa promedio de -- flujo de energía sonora por unidad de área.

Para las ondas acústicas esféricas viene a ser

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (1.10)$$

$$I = \frac{1}{2} p_0 v \cos \theta = \frac{1}{2} p_0^2 / \rho c \quad (1.11)$$

donde

$$\cos \theta = \frac{Kr}{\sqrt{1+K^2 r^2}}$$

Por lo anterior se puede decir que debido a que la po -- tencia radiada es la misma desde que se emite la onda acústica -- (a cualquier distancia de la fuente), la intensidad se ve real

mente disminuída (en ondas acústicas esféricas) por un factor - de  $1/r^2$ ; por lo cual en el proyecto se da una compensación a - la señal recibida, como veremos en el siguiente capítulo.

La densidad de energía de una onda acústica esférica - en cualquier instante, es la suma de las energías cinética y - potencial por unidad de volumen,

$$E_d = \frac{1}{4} (\rho v^2 + p^2/\rho c^2) \quad (1.12)$$

para una onda acústica esférica armónica divergente, tenemos - [16],

$$E_d = \frac{p^2}{2\rho c^2} \left(1 + \frac{1}{2K^2 r^2}\right) \quad (1.13)$$

Impedancia acústica específica.- Se define como la - relación de la presión acústica a la velocidad en cualquier -- punto de la onda. Para ondas acústicas esféricas armónicas -- progresivas, está dada por,

$$z = \rho c Kr \left[ \frac{Kr}{1+K^2 r^2} + i \frac{1}{1+K^2 r^2} \right] \text{ en rayls,} \quad (1.14)$$

donde a la parte real se le conoce como la resistencia acústica específica y a la imaginaria se le llama reactancia acústica específica. La impedancia acústica específica puede también ser expresada en coordenadas polares (con una magnitud y un ángulo). La impedancia característica del medio, viene dada por  $\rho c$  en rayls; para el aire en condiciones normales de - temperatura y presión, es 415 rayls [16].

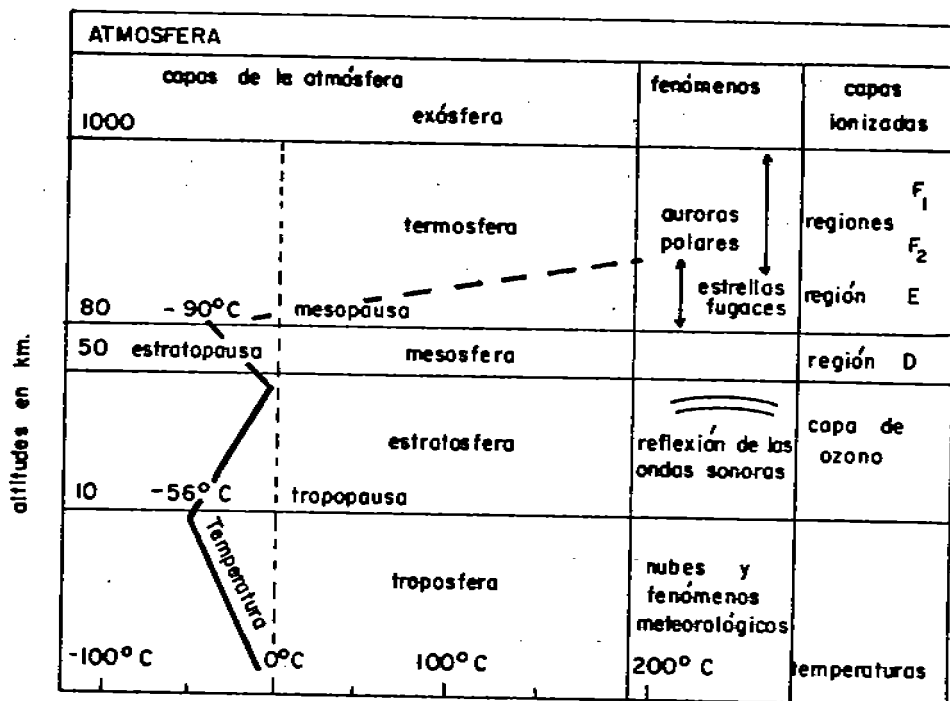


FIG. 1.1a Diagrama de la atmósfera dividida en 5 capas.

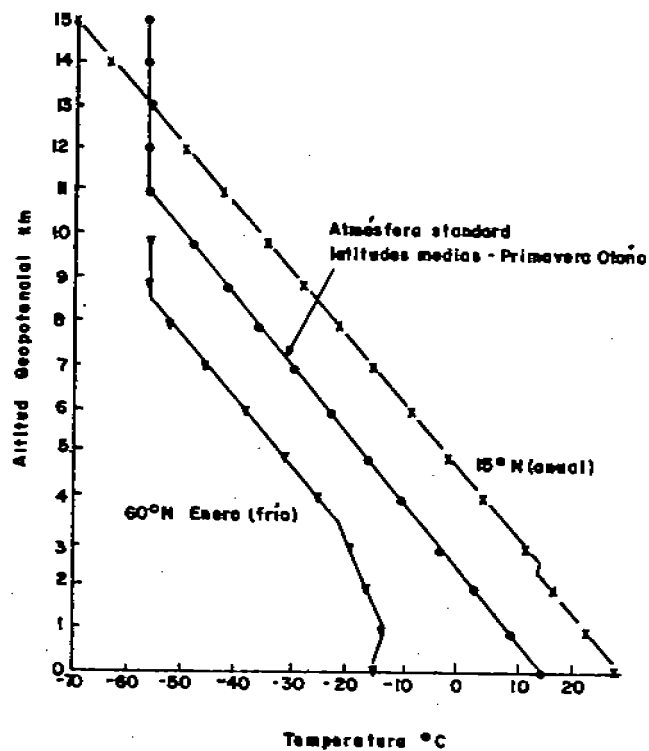


FIG. 1.1b Variaciones de la temperatura con la altura y latitud en una atmósfera promedio en USA

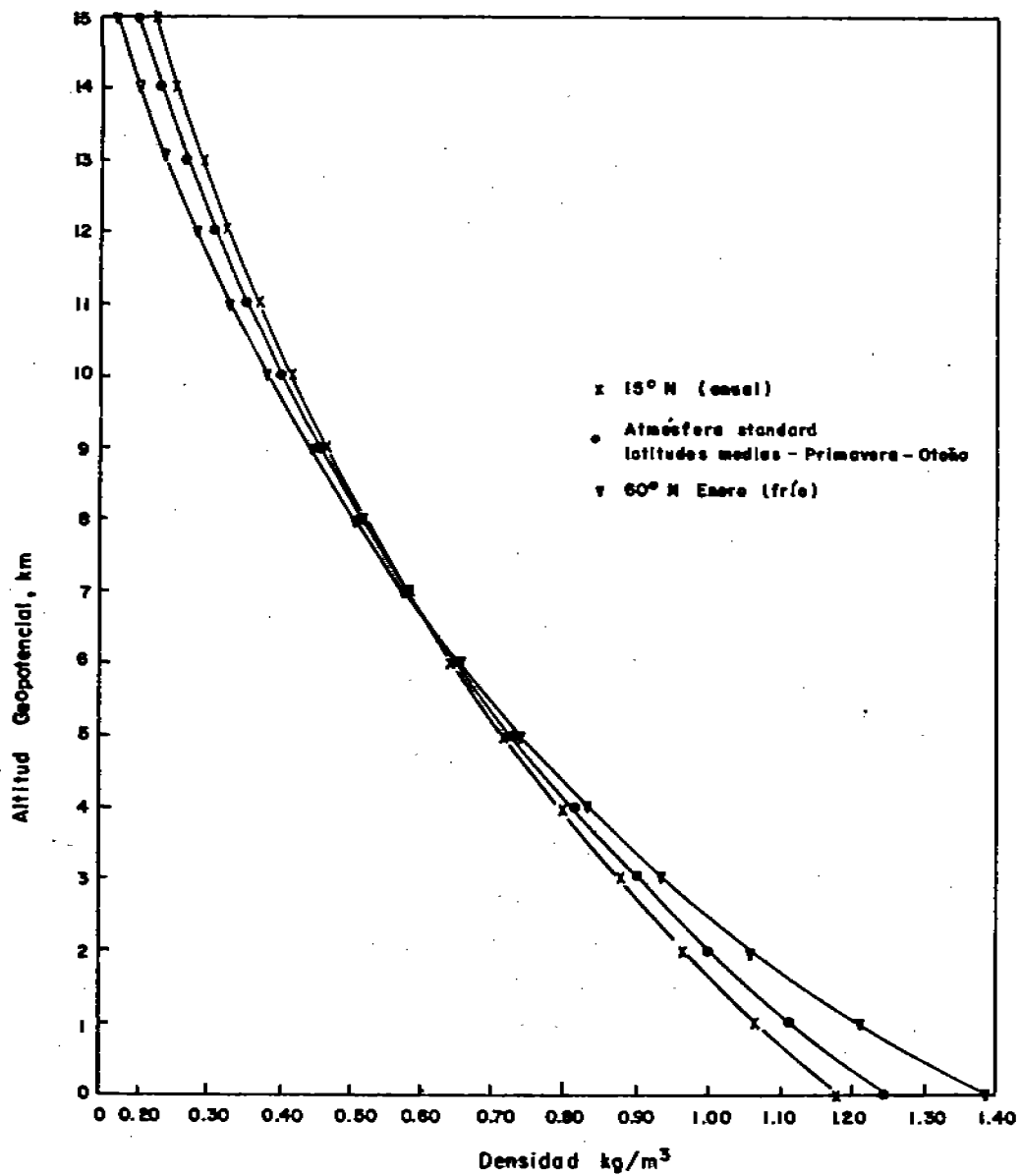


FIGURA 1.2

FIG. 1.2 Variación de la densidad con la altura y latitud en una atmósfera promedio en U.S.A.



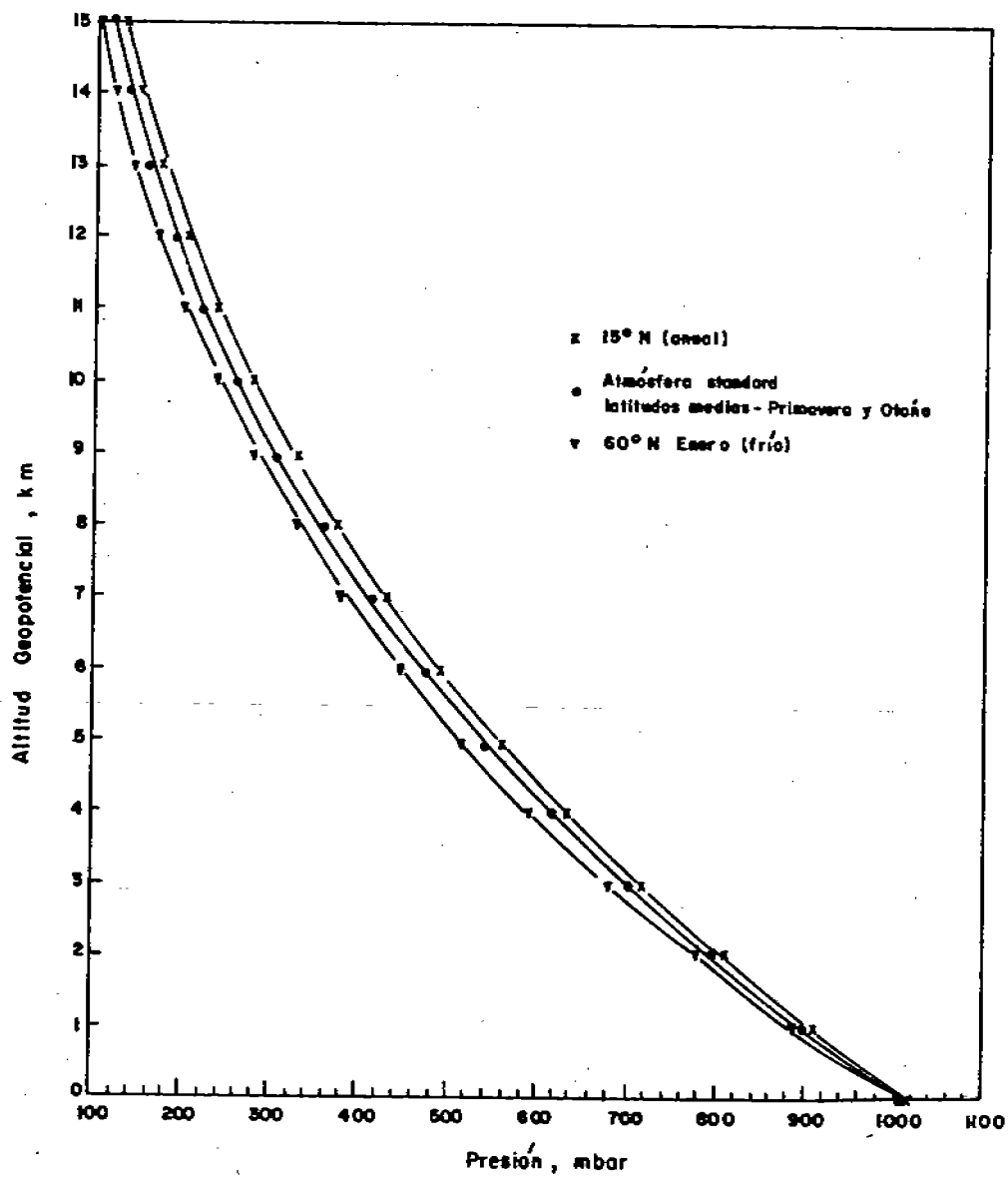


FIGURA 1.3

FIG. 1.3 Variación de la presión con la altura y latitud en una atmósfera promedio en U.S.A.

### 1.3 Radiación del Sonido.

Si las ondas radiadas desde una fuente sonora son simétricas y uniformes en todas las direcciones, la fuente será un radiador isotrópico. El radiador isotrópico más simple es la esfera pulsante, la cual es una esfera uniforme y homogénea cuya superficie se expande y contrae radialmente en forma sinusoidal con el tiempo. Si las dimensiones de un radiador son pequeñas comparadas con la longitud de onda del sonido radiado, el radiador es aproximadamente una esfera pulsante.

Las ondas sonoras producidas por la vibración de una superficie extendida tal como una diafragma, no presentan el patrón de radiación de simetría esférica, característica de un radiador isotrópico, sin embargo, la radiación producida en cualquier punto por tal fuente, se puede considerar que es igual a la suma de las radiaciones producidas por un conjunto equivalente de radiadores isotrópicos.

En general, las ondas sonoras producidas por la mayoría de las fuentes tienen notorios efectos direccionales, conocidos como la directividad de la fuente. Esto se debe a los siguientes factores: 1) tamaño y forma de la fuente, 2) impedancia de radiación, 3) modo de oscilación de la superficie del radiador y 4) reacción del medio fluido sobre la superficie del radiador. La presencia de cualquier superficie rígida y grande, conocida como barrera infinita cerca a la fuente sonora, no solo confirma la radiación en un solo lado sino que también afecta la directividad de la fuente. X

El patrón de directividad de una fuente sonora o de una antena parabólica, es ~~entonces~~ una descripción gráfica de la respuesta en función de la dirección de las ondas transmitidas en un plano específico, para una determinada frecuencia. X

La directividad de una fuente sonora (o de una antena) se describe por el factor de directividad  $D$ ,

$$D = \frac{2J_1(K a \text{ sen } \theta)}{K a \text{ sen } \theta} \quad (1.15)$$

$(k = 2\pi/\lambda)$

donde  $a$  es el radio de la fuente (o del receptor), y  $\theta$  el ángulo direccional a partir de la dirección axial de la misma.  $R$  ?

Si consideramos una fuente, al dibujar el factor de directividad en decibeles, nos dará los valores relativos de presión e intensidad acústicas en puntos equidistantes de la misma, pero en diferentes ángulos a partir de la dirección axial de la fuente.

La radiación sonora será igual a cero para ciertos -- ángulos a partir de la dirección axial de la fuente, enseguida aparecerán máximos y así sucesivamente. El segundo máximo -- llamado lóbulo lateral o menor, es generalmente mucho más débil que el primer máximo encontrado (o lóbulo mayor) en un ángulo anterior.

La relación de directividad  $D_r = I_o/I_{ref}$ , es la relación de la intensidad en cualquier punto sobre el eje de la fuente sonora, a la intensidad que produciría en el mismo punto una fuente simple de igual potencia. El índice de directividad o ganancia  $dr = 10 \log D_r$  en decibeles, es simplemente la expresión en decibeles de la relación de la directividad. La anchura del haz se define como el ángulo para el cual la intensidad del sonido disminuye a la mitad de su valor en la dirección axial de la fuente.

?

En la figura 1.4, la función de la directividad se ha dibujado para valores crecientes de  $ka$ . Es claro que el patrón direccional es más pronunciado para frecuencias más altas,

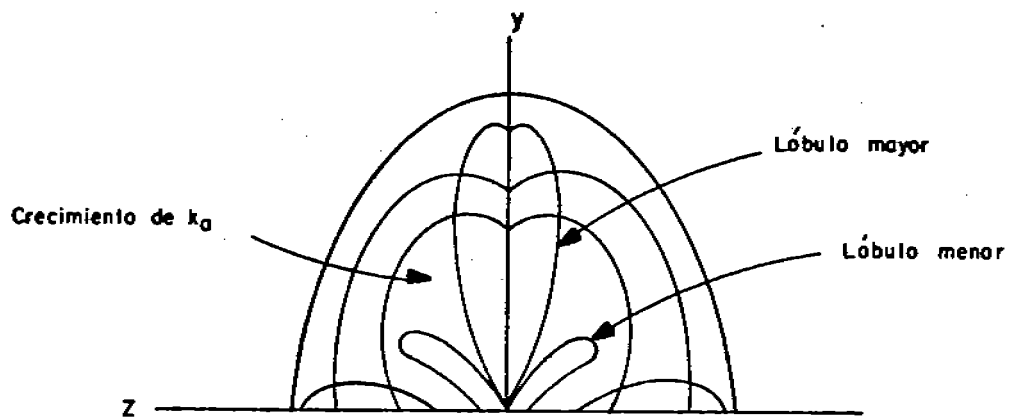


FIG. 1.4 Función de la directividad para valores crecientes de  $k_0$

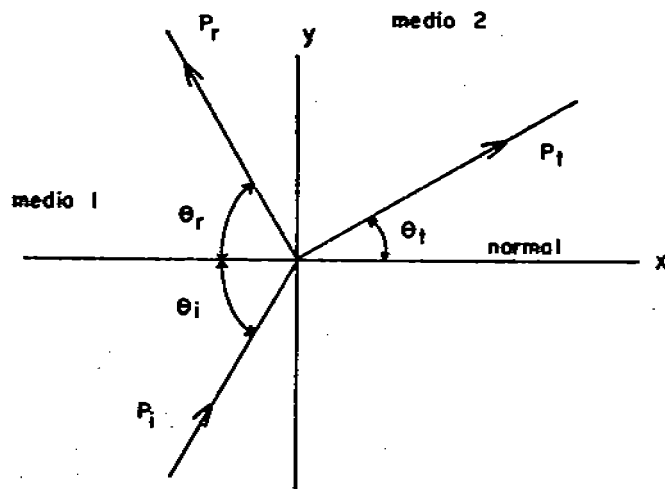


FIG. 1.5 Incidencia de una onda sonora de un medio a otro, parte de la onda se refleja y la otra se refracta.

o cuando aumentan las dimensiones de la fuente; al mismo tiempo se desarrolla un lóbulo menor, en adición al lóbulo mayor, por ejemplo en una fuente al aumentar las dimensiones del pistón - [16].

Impedancia de radiación.- La impedancia de radiación  $Z_r = f/v$  (kg/seg), se define como la relación de la fuerza en Newtons ejercida por el radiador sobre el medio a la velocidad del radiador. La fuerza se debe a la reacción que actúa sobre el radiador y está dada por  $f$  pdA, donde  $p$  es la presión acústica que actúa sobre la superficie  $A$  del mismo. La impedancia total que actúa sobre el radiador, es por lo tanto la suma de - la impedancia mecánica  $Z_m = R_m + i(\omega m - k/\omega)$  y la impedancia de radiación  $Z_r$  definida anteriormente [16].

Medición del sonido.- Debido a que en la práctica -- existe un amplio intervalo de potencias, intensidades y presiones sonoras, se acostumbra utilizar la escala logarítmica, que se conoce con el nombre de escala decibel, la cual nos permite describir estas cantidades; por ejemplo para relacionar logarítmicamente cada cantidad con un patrón dado, el decibel - -- (abreviado db.) es una unidad dimensional que sirve para expresar la proporción entre dos potencias que pueden ser acústicas, mecánicas o eléctricas. El número de decibels es 10 veces -- el logaritmo de base 10 de la potencia (un bel es igual a 10 - decibels).

De esta manera, el nivel de potencia del sonido  $NP_0S$ , se define como:

$$NP_0S = 10 \log (W/W_0) \text{ db re } W_0, \quad (1.16)$$

en donde  $W_0$  es la potencia de referencia y se relaciona a tal potencia. Para potencia normal  $W_0 = 10^{-12}$  watts.

El nivel de intensidad sonora NI, se define análogamente como,

$$NI = 10 \log (I/I_0) \text{ db re } I_0 \text{ w/m}^2 \quad (1.17)$$

para la intensidad del sonido normal, tomada como referencia, -

$$I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2 .$$

El nivel de presión del sonido NPS, se define como

$$NPS = 20 \log (p/p_0) \text{ db re } p_0 \text{ Nt/m}^2 \quad (1.18)$$

Para la presión del sonido normal tomada como referencia,

$$P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Nt/m}^2 , \text{ ó } 0.0002 \text{ microbar.}$$

En la medición de vibraciones, el nivel de velocidad NV tiene una expresión similar,

$$NV = 20 \log (v/v_0) \text{ db re } V_0 \text{ m/seg} \quad (1.19)$$

en donde  $V_0 = 10^{-8} \text{ m/seg}$  es la velocidad normal de referencia

El nivel de aceleración NA es

$$NA = 20 \log (a/a_0) \text{ db re } a_0 \text{ m/seg}^2 \quad (1.20)$$

en donde  $a_0 = 10^{-5} \text{ m/seg}^2$  es la aceleración normal de referencia [16].

#### 1.4 Transmisión del sonido.

Cuando las ondas sonoras viajan a través de un medio, se pueden reflejar o refractar, difractar o dispersar, interferir o absorber. Cuando se transmite el sonido también se transporta energía acústica a través del medio en que viajan las ondas sonoras [16].

Reflexión del sonido.- En general, una onda sonora se reflejará siempre que haya una discontinuidad o un cambio del medio. La onda reflejada depende de la onda incidente, el ángulo de incidencia, la superficie reflectora y las impedancias características de los medios. El flujo de energía sonora reflejada es proporcional al cuadrado de la amplitud de la onda sonora reflejada.

[Redundancia]  
!

Ley de la reflexión.- Si tenemos un plano donde se van a reflejar las ondas sonoras y una normal al plano, el ángulo que forman las ondas sonoras incidentes con la normal (ángulo de incidencia) es igual al ángulo que forman las ondas sonoras reflejadas con la normal (ángulo de reflexión), esto lo podemos observar en la figura 1.5. Cuando una onda sonora se topa con un cambio de medio, parte de la onda se reflejará y la otra parte pasará a través del otro medio.

Se define la relación de onda estacionaria ROE, como la relación entre la presión acústica en un antinodo (posición de máxima amplitud) y la presión acústica en un nodo (posición de amplitud cero) en una onda estacionaria. Esto nos sirve para-

indicar la cantidad de energía sonora reflejada en el límite de separación,

$$ROE = \frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{P_i + P_r}{P_i - P_r} \quad \text{o} \quad \frac{P_r}{P_i} = \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \quad (1.21)$$

donde  $p_i$  es la presión incidente y  $p_r$  la presión reflejada. --  
 Para la reflexión total de las ondas sonoras,  $ROE = 0$  o ---  
 $P_r / P_i = 1$ . Para una reflexión nula,  $ROE = 1$  o  $P_r / P_i = 0$ .

El eco es un sonido definido o distinguible que se --  
 escucha separado o atrasado como resultado de la reflexión del  
 sonido. Un sonido reflejado  $1/10$  de segundo (o un tiempo me--  $\leq 1/10$   
 nor) después del sonido original, no será detectado por el --  
 oído humano, de modo que los dos sonidos se confundirán, produ-  
 ciendo el eco de reverberación o superposición, entendiéndose-  
 por eco de reverberación, aquél que se debe a las continuas-  
 reflexiones del sonido en diferentes obstáculos, cuando la --  
 fuente ha dejado de emitir sonido, y lógicamente la intensidad  
 del sonido disminuye con el tiempo. El eco musical es la rápi-  
 da y sucesiva reflexión del sonido, y los ecos de zumbidos son  
 pulsos que se reflejan hacia adelante y hacia atrás de un ex--  
 tremo a otro de un recinto cerrado, disminuyendo de amplitud.

El fenómeno del eco tiene muchas aplicaciones prácti-  
 cas, como por ejemplo, en el transporte y la navegación para --  
 encontrar rumbos y trayectorias, en la detección de objetos y-  
 vehículos sumergidos, en la detección de obstáculos con ultra-  
 sonido, y como en este caso, para la detección de capas con --  
 diferente temperatura en la atmósfera.

Transmisión a través de dos medios.- En la transmi--  
 sión de ondas acústicas planas sinusoidales de un medio fluido



a otro, con incidencia normal en relación al plano de separación de los dos medios, se define el coeficiente de reflexión de potencia sonora como la relación entre el flujo de energía sonora reflejada y el flujo de energía sonora incidente, y se expresa como,

$$\alpha_r = \left[ \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \right]^2 = \left[ \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1} \right]^2 \quad (1.22)$$

Análogamente se define el coeficiente de transmisión de potencia sonora como la relación entre la potencia sonora transmitida y la potencia sonora incidente,

$$\alpha_t = \frac{4 \rho_1 c_1 \rho_2 c_2}{(\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2)^2} = \frac{4 R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \quad (1.23)$$

(Nótese que  $\alpha_r + \alpha_t = 1$ ) [16].

Aquí cabe hacer una observación; si se considera la densidad del aire constante, el coeficiente de reflexión dependerá únicamente de las velocidades entre los dos medios, ahora bien, de acuerdo a la ecuación 1.8 se ve que la velocidad del sonido es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta del medio, lo cual nos dice que el coeficiente de reflexión depende en este caso únicamente de las temperaturas absolutas de los dos medios, por consiguiente concluimos que entre mayor sea la diferencia de temperatura entre ellos, mayor será el flujo de energía sonora reflejada. Por lo anterior, decimos que es factible poder detectar las variaciones de temperatura en la atmósfera, observando el eco de una señal sonora enviada previamente, es decir, si utilizamos un sistema de eco sondeo, se puede decidir si existen capas de inversión, y que tan fuertes son.

(1.8)  
(1.9)

En realidad, la densidad del aire al igual que la temperatura (ver figuras 1.1a y 1.1b), sí varía con la altura como podemos observar en la figura 1.2, pero la variación no es demasiada, por ejemplo a un kilómetro de altura varía de 1.25 Kg/m<sup>3</sup> a 1.15 Kg/m<sup>3</sup> aproximadamente, y a una altura mayor podríamos decir que la capa de inversión no tiene gran efecto sobre los habitantes de una zona urbana, es por eso que consideramos la densidad constante. De igual forma si observamos la figura 1.3 veremos que la presión atmosférica no varía demasiado a un Km de altura [18].

*¿cómo se cuantifica?*

Pero se debe tomar en cuenta, que si abajo de una capa de inversión hay acumulación de contaminantes, en esa parte la densidad del aire cambiará bruscamente, lo que en consecuencia nos dará una mayor reflexión del sonido en ese lugar.

Para la transmisión de ondas sonoras de un medio fluido a otro con incidencia oblicua, los coeficientes de reflexión y transmisión de potencia sonora están dados por

$$\alpha_r = \left[ \frac{R_2 \cos \theta_i - R_1 \cos \theta_t}{R_2 \cos \theta_i + R_1 \cos \theta_t} \right]^2 \quad (1.24)$$

$$\alpha_t = \frac{4 R_1 R_2 \cos \theta_i \cos \theta_t}{(R_2 \cos \theta_i + R_1 \cos \theta_t)^2} \quad (1.25)$$

donde  $\theta_i$  es el ángulo de incidencia y  $\theta_t$  el ángulo de reflexión

Refracción del sonido.- Cuando las ondas sonoras inciden en una discontinuidad o límite, una parte se refleja, y el resto cruza el límite para formar las ondas transmitidas.

Cuando el ángulo de incidencia es mayor o igual que el ángulo-crítico, todas las ondas se reflejan y nada se transmite. La dirección de propagación de las ondas transmitidas no es la misma que la de las ondas incidentes, esto nos lo dice la ley de Snell en la siguiente fórmula,

$$\frac{c_{\text{antes}}}{(\text{sen } \theta)_{\text{antes}}} = \frac{c_{\text{después}}}{(\text{sen } \theta)_{\text{después}}} \quad (1.26)$$

Las ondas transmitidas son desviadas alejándose o acercándose a la normal hacia la superficie límite en concordancia con las velocidades del sonido en los medios (como se indica en la figura 1.5); ésta es la refracción del sonido. La refracción del sonido se puede presentar en un medio simple tal como la atmósfera de la tierra o en <sup>un</sup> gran cuerpo fluido tal como el mar, debido a las variaciones que se presentan por efectos del viento o cambio de temperatura. Por ejemplo si varía la temperatura de la atmósfera con la altura, por consiguiente variará también la velocidad de propagación, lo cual nos dará como resultado que las ondas cambiarán continuamente de dirección, por efecto de la refracción [16].

Difracción del sonido.- Las ondas sonoras en vez de reflejarse, se difractan si sus longitudes de onda son comparables con las dimensiones de los objetos (reflectantes) Cuando las ondas sonoras encuentran un obstáculo en las condiciones que acabamos de mencionar, se difundirán alrededor de los lados del obstáculo, dando lugar a la difracción del sonido. En otras palabras, las ondas sonoras son desviadas o sus direcciones de propagación se cambian debido a los obstáculos que encuentran en su trayectoria; en estos casos una porción de la onda incidente se dobla alrededor del obstáculo. Superpuesta

a esta onda hay otra llamada dispersa, la cual se propaga en todas direcciones desde el obstáculo, pero con una intensidad que es diferente según la dirección.

Dispersión del sonido.- Las ondas sonoras, serán dispersadas en todas las direcciones cuando chocan con obstáculos cuyas dimensiones son pequeñas comparadas con sus longitudes de onda. Esto está en contraposición con la reflexión y la difracción del sonido. La amplitud de las ondas dispersadas a gran distancia del obstáculo es directamente proporcional al volumen del obstáculo e inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda, de modo que un sonido de gran longitud de onda presentará pequeños efectos dispersivos, en tanto que un sonido de pequeña longitud de onda tendrá un efecto dispersivo grande.

El eco difuso se produce por la dispersión del sonido debido a un conjunto de obstáculos pequeños, en cambio el eco armónico es el resultado de la dispersión diferenciada de un sonido compuesto o ruido de diferentes frecuencias [16].

Interferencia.- Si se superponen ondas sonoras de igual frecuencia y amplitud, se presentan efectos de refuerzo o neutralización entre ellas. El fenómeno se describe como interferencia, es decir, el efecto resultante en cada punto del medio, es la suma algebraica de los efectos de las dos ondas. Se presenta la interferencia destructiva en los puntos en donde las ondas se encuentran en oposición de fase, y la interferencia constructiva en los puntos en donde las ondas se encuentran en fase.

Las ondas estacionarias se forman por la interferencia de dos ondas sonoras de igual amplitud y frecuencia que se propagan a través de un medio a lo largo de la misma línea,

pero en direcciones opuestas; en este caso se fijan las posiciones de amplitud (antinodos) y el medio se mantiene en un estado de vibración estacionario. Las pulsaciones se producirán como en el caso de las oscilaciones mecánicas a partir de la interferencia de dos ondas sonoras que difieren muy poco en sus frecuencias. Con respecto al proyecto diremos que el eco de la señal se va captar con una interferencia, debido a los efectos del ruido, del cual hablaremos más adelante.

Filtración del sonido.- La filtración del sonido, al igual que otras formas de filtración, es el proceso empleado para eliminar algunas de las ondas sonoras de frecuencias y longitudes de onda determinadas, en tanto que las demás ondas se dejan pasar. Esto es equivalente a la selección de las ondas sonoras; como ejemplo de filtros acústicos, tenemos los silenciadores de los automóviles, las cámaras plenum, los resonadores, las trampas de sonido o silenciadores y los filtros hidráulicos.

Absorción del sonido.- Una onda sonora puede perder algo de su energía cuando se propaga a través de un medio sólido o fluido, esta pérdida se debe a la absorción. Las pérdidas por viscosidad de energía sonora en un medio fluido, se deben a esfuerzos cortantes causados en los medios, cuando las ondas pasan a través de ellos. Las pérdidas por conducción de calor se deben al flujo de calor de la zona comprimida (un poco más caliente) hacia la parte expandida del fluido, que esta un poco más fría. Las pérdidas de energía molecular son el resultado del relajamiento térmico que causan intercambios de energía entre diferentes estados térmicos internos de las moléculas. La absorción de energía sonora depende de la fase en que se realice el intercambio de energía sonora; en el aire -- por ejemplo, la absorción de energía sonora aumenta rápidamente al aumentar la frecuencia, y es ésta una de las principa--

les razones por las que en el proyecto se utilizan frecuencias de operación bajas. En el agua la absorción de energía sonora se causa por efectos de dispersión debido a la estructura no homogénea de la misma.

La absorción de energía sonora en los sólidos se debe a la interacción entre las ondas sonoras con las oscilaciones de la red, las ondas sonoras y los electrones en movimiento y a los efectos ferromagnéticos y ferroeléctricos.

La constante de atenuación viscosa está dada por:

$$\alpha = 2 \omega^2 n' / 3 \rho c^3 \text{ nepers/metro} \quad (1.27)$$

donde 1 neper  $\approx$  8.69 decibels [16].

### 1.5 Parlantes, Micrófonos y Antenas.

Un parlante es un dispositivo electrostático que convierte energía eléctrica en energía acústica, en cambio un micrófono es un dispositivo electrostático que convierte energía acústica en energía eléctrica. En general los parlantes se usan para reproducir y amplificar sonidos, mientras que los micrófonos se usan para recoger sonidos y hacer medidas acústicas [16].

Parlantes.- El parlante es la fuente principal de sonido en un sistema de reproducción. Este produce vibraciones mecánicas cuando está activado, y pone en vibración el aire que está en contacto con él. Como fuente importante de sonido los parlantes deben tener alta eficiencia, buena capacidad de potencia, respuesta de frecuencia uniforme y mínima distorsión.

Los más utilizados generalmente son los parlantes dinámicos, los cuales tienen la bobina de voz dentro de un campo magnético fijo generado por un imán permanente. Al pasar la corriente a través de la bobina, interactiva con el campo magnético para producir movimiento, el cual a su vez actúa sobre el diafragma haciéndolo vibrar para producir sonido. Este tipo de parlante tiene baja impedancia, y ofrece pequeña resistencia al paso de la corriente a través de él.

El parlante electrodinámico opera como un parlante dinámico, muy sensible a la corriente. El campo magnético de un parlante electrodinámico se activa eléctricamente mediante una fuente de potencia externa a diferencia del anterior.

El parlante electrostático o de condensador, es un aparato sensible al voltaje y que tiene alta impedancia; éste transforma señales eléctricas en movimiento del diafragma mediante fuerzas de atracción o de repulsión en los electrodos activados por voltaje, para producir variación en la capacitancia, por consiguiente, este tipo de parlante no es apropiado para frecuencias bajas de operación, debido a la pequeña separación de los electrodos.

El parlante de cristal o piezo eléctrico tiene aplicación limitada, debido a que está restringido a respuestas de baja presión y baja potencia de salida. Este funciona con base en la teoría de que un material cristalino se dilata o contrae cuando se le aplica una corriente eléctrica alterna a sus superficies.

La potencia acústica de salida de los parlantes está dada por,

$$W = \frac{\phi^2 R_I I^2}{z_m^2} \delta \frac{\phi^2 R_I E^2}{z_m^2 z_I^2} \text{ (watts)} \quad (1.28)$$

donde  $Z_m$  es la resistencia mecánica total en Kg/seg,  $Z_1$  la impedancia eléctrica total de entrada en ohms,  $I$  la corriente en amperes y  $E$  el voltaje aplicado en volts.

Para sistemas multiparlantes, los parlantes deben ser semejantes en eficiencia para producir respuestas suaves, y sus alcances pueden también representarse sin dificultad en una curva de respuesta.

Cabe mencionar la importancia que tiene el revestimiento de los parlantes, debido a que en general la forma, tamaño y construcción del mismo afecta su funcionamiento. El revestimiento generalmente dirige las ondas sonoras, determina la frecuencia de respuesta del sistema y controla la intensidad del sonido. Los revestimientos cerrados también impiden la cancelación de las ondas sonoras y al mismo tiempo elevan la frecuencia de respuesta del sistema.

**Bocinas.**- Las bocinas, como los revestimientos de los parlantes, se diseñan para conseguir varias configuraciones de distribución del sonido y para que sirvan como transformadores acústicos al acoplar impedancias altas en la garganta, y disminuir la impedancia en la boca de la bocina. Aún más, las bocinas incrementan usualmente la eficiencia electroacústica de los parlantes dando una mejor reproducción del sonido. Básicamente hay tres tipos de bocinas: cónicas, exponenciales e hiperbólicas. El área de la sección transversal de la bocina cónica se extiende mucho más rápido que la de la bocina hiperbólica [16].

El coeficiente de transmisión o eficiencia de radiación de una bocina, es la relación entre la potencia sonora realmente radiada y la potencia sonora radiada por el mismo



diafragma cuando se mueve a la misma velocidad en un tubo cilíndrico de longitud infinita, y que tiene la misma área de la sección transversal de la garganta de la bocina. Para bocinas exponenciales, el coeficiente de transmisión es,

$$\alpha_B = \frac{1}{\sqrt{1 - (f_c/f)^2}} \quad (1.29)$$

donde la frecuencia crítica o frecuencia de corte es la mínima frecuencia por debajo de la cual no es posible la propagación de las ondas sonoras. Para bocinas exponenciales la frecuencia de corte es:

$$f_c = \frac{mc}{2\pi} \text{ ciclos/seg.}$$

Un multiselular es un grupo de bocinas; cada una radiando sonido, como si fueran bocinas separadas y diferentes, pero impulsadas por una fuente común. Para conseguir una distribución amplia de ondas sonoras se construyen distintos arreglos de obstáculos en forma de lentes acústicas. Una bocina de difracción es una bocina angosta que se extiende uniformemente en dirección vertical pero sin abocinado en la dirección horizontal. Así una bocina de difracción se aproxima a una fuente puntual.

**Micrófonos.**- Como dispositivos de aire dinámico los micrófonos pueden clasificarse en dos grupos apropiados, los cuales son:

1) de velocidad constante (de bobina móvil, de cinta o de velocidad y magnetoestricción);

2) de amplitud constante (de carbón, de condensador y de cristal).

Dependiendo de la naturaleza de la fuerza de operación obtenida de la presión sonora para impulsar el diafragma, los micrófonos pueden ser operados por presión, por gradiente de presión o por cambio de fase. Esto determina si el micrófono aceptará o discriminará sonidos en una dirección determinada.

Micrófonos operados por presión.- Básicamente los micrófonos operados por presión utilizan la variación cíclica de la presión del aire resultante de la vibración de un cuerpo elástico. La presión interna dentro del armazón es mantenida a nivel atmosférico, por lo tanto la fuerza que actúa sobre el diafragma es proporcional a la presión sonora y es independiente de la frecuencia, como se muestra en la figura 1.6.

Gradiente de presión en los micrófonos.- Debido a que tanto la cara frontal, como la posterior del diafragma se exponen a la presión sonora, como se muestra en la figura 1.7, el micrófono experimenta una diferencia de fase en la presión sonora, esta diferencia de presión, hace que el diafragma se mueva y produzca una fuerza que es proporcional a la frecuencia y a la longitud de la trayectoria  $d$ . Un micrófono con gradiente de presión discrimina los sonidos que llegan formando un ángulo con el eje de éste.

Sensitividad.- La sensitividad o la respuesta de voltaje en circuito abierto de un micrófono, es el voltaje de salida cuando la presión sonora de entrada es un microbar, es decir, 74 decibeles relativo a 0.0002 microbares.

Directividad.- La directividad o característica de respuesta direccional de los micrófonos, es la variación de la salida del micrófono con diferentes ángulos de incidencia, y

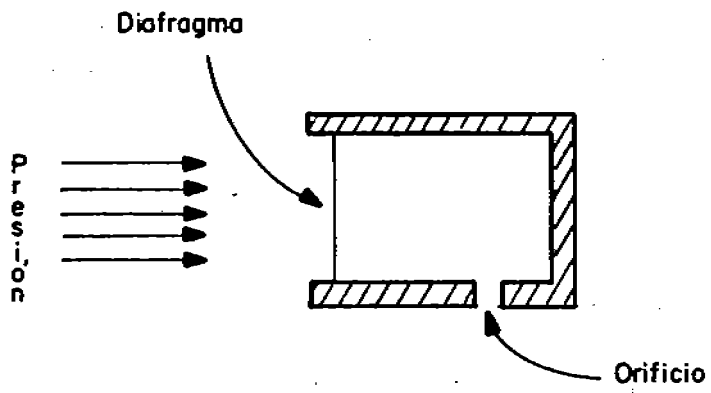


FIG. 1.6 Micrófonos operados por presión.

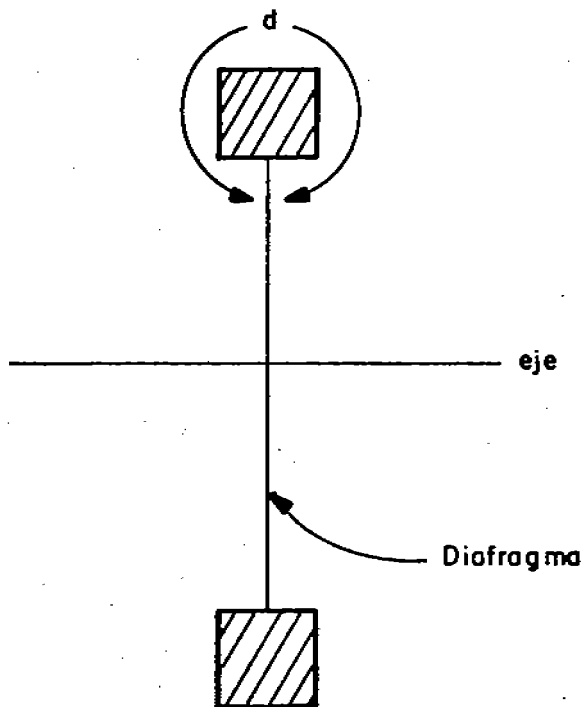
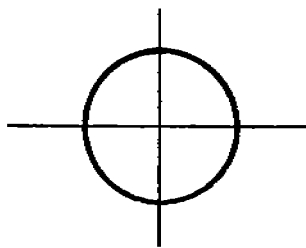


FIG. 1.7 Micrófonos operados por gradiente de presión

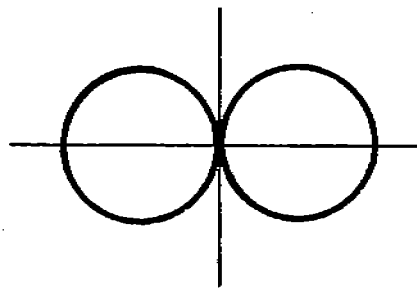
usualmente se representa mediante gráficas en coordenadas polares o por características de directividad, como se muestra en la figura 1.8. La característica de respuesta direccional de un micrófono unidireccional o cardioide, por ejemplo, es la combinación de las características de respuesta de micrófonos omnidireccionales y bidireccionales; este tipo discrimina los sonidos laterales y posteriores, pero recibe los sonidos frontales. Se pueden obtener otras características de respuesta unidireccional, por la combinación de valores diferentes de características de respuesta omnidireccionales y bidireccionales.

Resonancia.- Los efectos de resonancia sobre la eficiencia del micrófono pueden controlarse y reducirse hasta hacerlos despreciables mediante: 1) control de resistencia, en el cual se coloca un sistema de amortiguamiento para reducir la amplitud de la vibración del diafragma; 2) control de masa; en este tipo la frecuencia de resonancia se hace muy pequeña con relación a la frecuencia de trabajo; 3) control de elasticidad, en el cual la frecuencia de resonancia se hace mucho más alta que la frecuencia de trabajo [16].

Antenas.- Para aumentar la eficiencia de un sistema es necesario utilizar una antena, ya sea para la transmisión o la recepción de la señal; con una antena se aumenta la potencia y se disminuye la detección de ruido. En el caso de una antena parabólica (usada en el proyecto), el área de detección de la señal es muy grande, comparada con el área de un sensor (un micrófono por ejemplo), por lo que aumenta la potencia en la detección; además, debido a la directividad de la antena, se eliminan o atenúan los ruidos que provienen de los lados y de atrás de la misma. Por lo que al proyecto se refiere, si ponemos un micrófono en el foco de una antena parabóli-



Omnidireccional



Bidireccional

FIG. 1.8 Características de la respuesta direccional de un micrófono.

ca, podemos decir que tenemos un micrófono gigante, para la detección del eco de la señal lanzada a la atmósfera.

Función de la antena parabólica.- Una parábola está definida como aquél conjunto de puntos que tienen una misma -- distancia hacia una recta llamada directriz y hacia un punto -- llamado foco; la ecuación de una parábola en dos dimensiones -- que se abre a la derecha (ver figura 1.9) es,

$$(y - y_0)^2 = 4a (x - x_0) \quad (1.30)$$

donde las coordenadas del vértice son  $x_0, Y_0$  ( $A(x_0, Y_0)$ ) y  $a$  -- es la distancia del vértice al foco.

Si el foco se halla en el origen, la ecuación en coordenadas polares es:

$$S = \frac{2a}{1 - \cos \theta} \quad (1.31)$$

La particularidad que tiene una antena parabólica, y por lo que se usa en este proyecto es que: Si inciden ondas-sonoras perpendicularmente sobre la parábola como se indica -- en la figura 1.9, se reflejan en cada uno de los puntos de la -- misma, y de acuerdo a la ley de la reflexión (vista anterior-- mente), las ondas reflejadas incidirán en el foco, por lo que al poner el micrófono en dicho lugar, se tendrá un área de cap tación de acuerdo al tamaño de la parábola; claro está que las ondas reflejadas dependerán del material de que esté hecha la antena por lo que el material recomendable es aquél que refle je bastante bien el sonido [23].

Potencia y ganancia en una antena parabólica.- Si se considera una fuente de ondas sonoras, la cual radía una poten cia  $P_t$ , uniformemente en todas direcciones (fuente isotrópi--

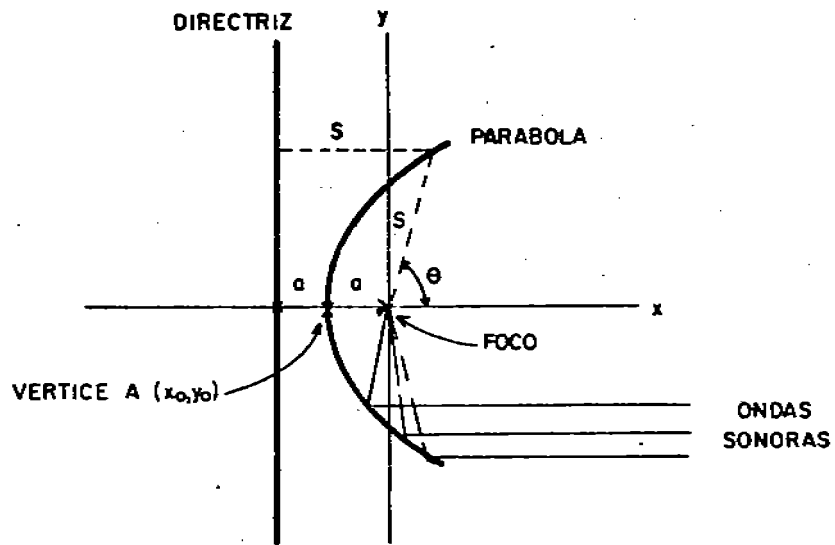


FIG. 1.9 Parábola abierta hacia la derecha con foco en el origen.

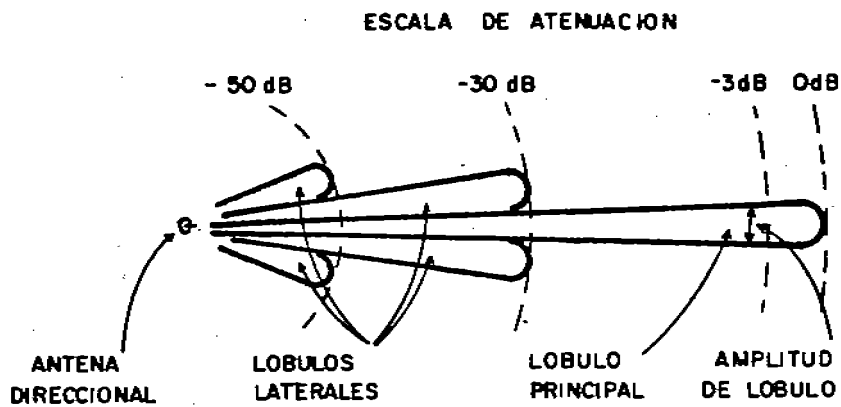


FIG. 1.10 Patrón de radiación de una antena muy direccional.

cá), la potencia incidente sobre un área A orientada perpendicularmente a la dirección del flujo de potencia, y a una distancia r de la fuente es [21].

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi r^2} A \quad (1.32)$$

De esta manera, si la potencia disponible de una antena receptora es  $P_r$ , cuando la antena está a una distancia r de una fuente isotrópica que transmite una potencia  $P_t$ , entonces el área efectiva de la antena receptora es

$$A_e = 4\pi r^2 \frac{P_r}{P_t} \quad (1.33)$$

El área efectiva de una antena es relativa principalmente a la forma física y dimensiones de la antena. Así por ejemplo, para una antena de disco parabólico, el área efectiva está generalmente en el rango de 0.5 a 0.6 del área física del disco.

Las antenas parabólicas reales no radian isotrópicamente, sino que son direccionales; esta directividad es una ventaja cuando se desea transmitir o recibir desde o hacia una determinada dirección, en tal caso lo más importante sería hacer la antena tan direccional como sea posible.

Un patrón típico de radiación de una antena se muestra en la figura 1.10. Si dibujamos una línea, en una dirección arbitraria, desde la antena hasta el patrón de la misma, la longitud de la línea es proporcional a la densidad de potencia radiada en esa dirección. Como se indica en la figura, la potencia radiada es confinada principalmente al rayo o lóbulo principal, mientras que parte de la potencia es también radiada en la dirección de los lóbulos laterales. El ancho del lóbulo-



principal esta definido como el ángulo que cubre las direcciones, en las cuales la densidad de potencia radiada está abajo de 3 decibeles del máximo, y la dirección de la radiación máxima es referida como una dirección de 0 decibeles. Se dice que una antena es muy direccional, cuando la amplitud del lóbulo principal es de un grado, y los lóbulos laterales se encuentran abajo de 30 o de 50 decibeles.

Existe una relación de reciprocidad entre una antena usada para transmisión y la misma usada para recepción. Una antena tiene el mismo patrón de directividad en ambos casos.

La extensión a la cual la dirección principal de una antena es válida, es medida por la ganancia de la antena. De esta forma, si suponemos que un radiador isotrópico radía una potencia por unidad de ángulo sólido de  $P_i$ , mientras que suministra una potencia  $P$  (esto es,  $P_i = P/4\pi$ ), y si una antena direccional recibe una potencia por unidad de ángulo sólido  $P_m$  en la dirección de la radiación más intensa, entonces la ganancia de la antena  $K$  está definida por

$$K = \frac{P_m}{P_i} \quad (1.34)$$

y la ganancia en relación con el área efectiva es,

$$K = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (1.35)$$

De la ecuación anterior, nótese que para una longitud de onda fija, la ganancia se incrementa con el área efectiva y por consiguiente, con las dimensiones físicas de la antena; por lo tanto una antena grande, absorbe mas potencia y puede también hacerse más direccional que una pequeña. Si consideramos una antena receptora con un área efectiva  $A_e$ , y una antena

transmisora de ganancia  $K_t$ , entonces la potencia recibida es , -

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi r^2} \text{ Aer } K_t \quad (1.36)$$

y si sustituimos el valor Aer obtenido anteriormente (ecuación- 1.35) tenemos que,

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{K_t K_r}{(4\pi r/\lambda)^2} \quad (1.37)$$

De esta forma, encontramos que la relación de potencia entre recepción y transmisión, depende de  $r/\lambda$  , llamada la distancia efectiva, y de las ganancias  $K_t$  y  $K_r$  de las dos antenas [ 21] .

#### 1.6 Ruido.

El ruido es el problema más serio que existe al utilizar un sistema de eco sondeo acústico, esto se debe a que la señal que se va a detectar (el eco en las capas atmosféricas) es muy pequeña y el ruido interfiere fuertemente con ella, afectando consecuentemente las mediciones que se desean hacer.

Cinco fuentes potenciales de ruido limitan la sensibilidad de un sistema de eco sondeo acústico; éstas son: 1) ruidos producidos por fluctuaciones de presión estática en el micrófono, debidas al movimiento térmico random de las moléculas atmosféricas; 2) el ruido Johnson debido al movimiento de los electrones en las resistencias del amplificador; 3) las ondas acústicas que alcanzan al micrófono, las cuales han sido generadas a distancia por alguna turbulencia atmosférica; 4) las fluctuaciones de presión, debidas al ruido del viento local que afectan la estructura de la antena y al mismo micrófono, y 5) el ruido ambiental que capta la antena debido a fuentes tales como

vehículos e insectos [2].

Cuando el ruido de una fuente no puede reducirse por debajo del nivel objetable debido al aspecto económico, es necesario aislarlo o amortiguarlo; esto puede hacerse mediante, -- la absorción o la reducción en la transmisión del sonido.

Las pérdidas por transmisión ( $P_t$ ), se deben a la reducción del ruido en el aire; y se definen como la diferencia -- en decibeles entre la energía sonora que llega a la superficie de separación de dos espacios y la energía transmitida. No puede medirse directamente pero puede obtenerse de los niveles de presión sonora a ambos lados de las superficies [16].

Absorción.- La absorción del sonido es un proceso, -- en el cual la energía sonora se convierte parcialmente en calor (por fricción y resistencia viscosa de los poros y fibras de materiales acústicos) y parcialmente en vibración mecánica -- de los materiales.

Los materiales acústicos usados para la absorción del sonido se caracterizan por la eficiencia de reducción, la resistencia al flujo, la constante de propagación y el factor de -- estructura. También deben tomarse en cuenta factores tales como la resistencia al fuego, la reflexión de la luz, la exposición a la interperie, la antihigroscopicidad, el aislamiento -- térmico, el peso, la facilidad de instalación y la apariencia.

El coeficiente de absorción del sonido de un material, se define como la fracción decimal de absorción perfecta que -- éste tiene; por ejemplo  $\alpha_s = 0.6$ , significa 60% de absorción, -- y es la eficiencia de un material para absorber la energía sonora a una frecuencia determinada, y varía con el ángulo de --

incidencia y el espesor del material.  $\alpha_s$  se obtiene por un promedio estadístico de la relación entre la energía absorbida y la incidente sobre todos los ángulos posibles.

La cámara anecóica se caracteriza por tener cuñas altamente absorbentes o pirámides largas colocadas sobre las paredes de la misma, para absorber toda la energía sonora incidente, y simula un campo libre o espacio ilimitado. El aislamiento completo del sonido puede realizarse construyendo una cámara anecóica provista de piso flotante, montado antivibracionalmente [16].

#### 1.7 Modelos matemáticos de la potencia en sistemas de eco sondeo.

Por lo que se ha dicho hasta aquí, para obtener un modelo matemático referente a un sistema de eco sondeo acústico, el cual relacione las potencias eléctricas de transmisión y de recepción de acuerdo a la altura que se desea detectar, se tienen que tomar en cuenta los siguientes factores: potencia sonora emitida, atenuación en el aire, velocidad del sonido, duración del tiempo en el cual se envía la señal sonora, rango o distancia de la fuente a la capa donde exista un eco, intensidad del ruido en el medio ambiente, eficiencia del micrófono y de la bocina, ganancia de la antena y directividad de la misma, longitud de onda de la señal sonora, temperatura del medio ambiente, humedad relativa, ángulo de inclinación de la fuente emisora (si es direccional), densidad del medio y la variación de la absorción del aire al cambiar la frecuencia de operación.

Entre los modelos matemáticos, tenemos los siguientes:

Esparcimiento del sonido en la atmósfera.- De acuerdo a Batchelor (1957) y Monin (1962) [5], el eco del sonido es--

parcido en la atmósfera, se produce por irregularidades en las propiedades escalares atmosféricas (temperatura y humedad). La fracción de intensidad acústica  $di$ , la cual es regresada en un cono de ángulo sólido  $d\Omega$  por unidad de volumen y por inhomogeneidades de temperatura, está dada por,

$$\frac{di}{d\Omega} = 0.0075 \lambda^{-1/3} \frac{C_T^2}{T^2} \quad (1.38)$$

donde  $C_T$  es el parámetro de estructura de la temperatura (indica la intensidad de variaciones de temperatura), y está dado por,

$$C_T = (T_1 - T_2)/d^{1/3} \quad (1.39)$$

donde  $d$  es la distancia que separa los dos puntos, donde  $T_1$  y  $T_2$  son medidos.

La ecuación 1.38 nos indica que el esparcimiento del sonido es ligeramente dependiente de la longitud de onda acústica. Consecuentemente, la frecuencia de operación óptima está determinada por una relación entre las pérdidas por propagación y el nivel de ruido ambiental, las primeras se incrementan al aumentar la frecuencia, mientras que el nivel de ruido ambiental decrece bajo la misma condición. Para una frecuencia de 2 Khz ( $\lambda \approx 0.17$  m) y  $T = 293^\circ$  K, el rebote del sonido esparcido por sección es  $di/d\Omega \leq 4 \times 10^{-10} \text{ m}^{-1}$ .

Podemos aplicar la ecuación de radar (Skolnik, 1970) a un receptor acústico monostático, para calcular la potencia de la señal que regresa por efecto del eco, y está dada como,

$$P_r = P_t \alpha^2 \left( \frac{D\lambda^2}{4\pi} \right) \frac{1}{R^2} \left( \frac{C_T}{2} \right) \frac{di}{d\Omega} L \quad (1.40)$$

donde  $P_t$  y  $P_r$  son las potencias eléctricas de transmisión y recepción respectivamente,  $D$  la directividad de la antena,  $R$  el rango del volumen esparcido y  $L$  un término de pérdidas causado por la absorción atmosférica, del cual podemos tomar  $.01$  dB/m como un valor razonable, para  $f = 2$  KHz a una temperatura de  $-20^\circ$  C y una humedad relativa de  $40\%$  o mayor [ 5 ].

Un receptor acústico depende de la relación entre la señal del ruido ambiental y la señal recibida es decir, la propagación del sonido es afectada fuertemente por las condiciones atmosféricas. El eco acústico de la estructura interna de la atmósfera, puede ser usado para derivar información de la misma y procesar la atmósfera en la parte baja (plumas térmicas, inversiones de temperatura, ondas de gravedad interna y ondas de quiebre) y para medir parámetros atmosféricos importantes, tales como viento y perfiles turbulentos.

Modelo matemático sobre teoría del esparcimiento de ondas sonoras por inhomogeneidades y turbulencias [ 2 ]. La turbulencia y las fluctuaciones de temperatura en la atmósfera baja, dan como resultado un medio no homogéneo capaz de esparcir débilmente algo de la energía acústica que incide sobre ellas. El sonido se esparce por las fluctuaciones de velocidades en fase vecinal, que aumentan debido a una velocidad no uniforme y campos de temperatura.

El esparcimiento acústico a través de una sección por unidad de volumen de la atmósfera, debido a las fluctuaciones de velocidad está dado por,

$$n_t = 8\pi^2 K^4 \cos^2 \theta \frac{1}{c^2} E(K) \cos^2 \theta/2 \quad (1.41)$$

donde  $\theta$  es el ángulo a través del cual la onda acústica se esparce y  $E(K)$  es la intensidad espectral de las fluctuaciones de

velocidad en una onda efectiva de número  $k$ , en la cual la onda acústica interroga al medio cuando se esparce con un ángulo  $\theta$ .

El esparcimiento correspondiente a una sección por unidad de volumen, debido a las fluctuaciones de temperatura está dado por

$$n_t = 8\pi^2 k^4 \cos^2 \theta \frac{1}{4T^2} \phi(k) \quad (1.42)$$

donde  $\phi(k)$  es la intensidad espectral de las fluctuaciones de temperatura en una onda de número  $k$ .

Para el subrango inercial de un espectro kolmogorov de turbulencia, suponiendo que las fluctuaciones de velocidad y temperatura de número de onda  $k$  no están correlacionadas, nos da como resultado que el esparcimiento a través de una sección por unidad de volumen en una atmósfera que contiene fluctuaciones de temperatura y velocidad está dado por,

$$n_c = 0.2 k^{1/3} \cos^2 \theta \left[ 1.85 \frac{C_v^2}{c^2} \cos^2 \frac{\theta}{2} + \frac{C_T^2}{4T^2} \right] (\sin \frac{\theta}{2})^{-4/3} \quad (1.43)$$

donde  $C_v^2$  es una medida de la energía turbulenta (equivalente al cuadrado de la diferencia de la velocidad en dos puntos separados una unidad de distancia) y  $C_T^2$  es una medida similar de la intensidad de las variaciones en la temperatura.

Por medio de la ecuación 1.43, nos damos cuenta que la potencia acústica esparcida varía poco con relación a la longitud de onda, y que no existe tal potencia en un ángulo de  $90^\circ$ , también que las fluctuaciones del aire no producen esparcimiento en una dirección inversa y que la mayor parte de la potencia, es esparcida en el hemisferio, poca es la que se refleja  $(\sin \theta/2)^{-4/3}$ .

También esta ecuación nos indica que pueden hacerse - muchas mediciones en función del número de onda y del ángulo de esparcimiento, las cuales son: 1-  $\phi(k)$ , que puede ser medida como una función de la dirección, número de onda, altura y tiempo. Este parámetro es de importancia considerable en comunicaciones y condiciones atmosféricas, siendo directamente proporcional a las fluctuaciones del índice de refracción, el cual es responsable de la amplitud y el centello de fase en las señales ópticas. 2-  $E(k)$ , que puede ser medido como una función de la dirección, número de onda, altura y tiempo. Este espectro tridimensional es de importancia para los meteorólogos y todos los que estén interesados en turbulencias atmosféricas, difusión y contaminación. 3- La velocidad principal del viento y dirección, pueden ser medidos como una función de la altura, usando el efecto - - Doppler.

La ecuación de radar acústico, aplicada al caso monostático (transmisor y receptor), nos da una potencia en la recepción de la siguiente forma [ 2 ],

$$P_r = P_t \frac{n}{4\pi} \frac{C_T}{2} \frac{A_e}{R^2} \alpha_t \alpha_r \exp[-2 \int \alpha(R) dR] \quad (1.44)$$

donde  $P_r$  es la potencia eléctrica recibida,  $P_t$  es la potencia eléctrica de entrada al elemento de transmisión,  $\alpha_t$  es la eficiencia en la conversión de potencia eléctrica en potencia acústica,  $\alpha_r$  es la eficiencia para la conversión de potencia acústica en potencia eléctrica,  $R$  es el rango,  $A_e$  es el área efectiva colectora de la antena y  $\alpha(R)$  es la atenuación acústica constante del aire como una función del rango.

El nivel mínimo de ruido posible en la recepción del sistema está dado por

$$P_{min} = K_r TB \quad (1.45)$$



donde B es el ancho de banda de recepción. Para temperaturas atmosféricas normales, el nivel de ruido correspondiente es de aproximadamente  $4.2 \times 10^{-21}$  W/HZ.

Para hacer la detección por medio de un sistema de eco sondeo acústico, se tiene que considerar constante la velocidad del sonido, con lo cual, el tiempo de regreso de cada eco será relativo a la altura de la cual proviene [2].

### 1.8 Naturaleza del eco del sonido.

Un rebote desde cualquier altura en un sistema de eco sondeo acústico monostático, es proporcional a la función de la estructura de temperatura en una escala igual a la mitad de la longitud de onda del sonido que es regresado. Es importante recalcar que solamente la parte de la función de la estructura, -- que está a una distancia igual a la mitad de la longitud de onda de la señal tiene una capacidad de reflexión significativa [3].

El mecanismo que produce un reflector sónico en una inversión, lo explicaremos enseguida, por medio de la figura 1.11, sobre el diagrama de temperatura-altura. La línea ABCD es el perfil de temperatura hipotética, y la línea AT muestra la pendiente del proceso adiabático seco como propósito de referencia. Si existe una turbulencia en el punto B, una porción del aire será llevado hacia arriba, al nivel x y; si el aire no está saturado, la temperatura de esta porción, seguirá al proceso adiabático seco de B a E, y por lo tanto, estará considerablemente más frío que el aire al mismo nivel, el cual tendrá una temperatura correspondiente al punto F.

Puesto que la base de una inversión es normalmente una turbulencia que produce una zona de corte, y puesto que además-

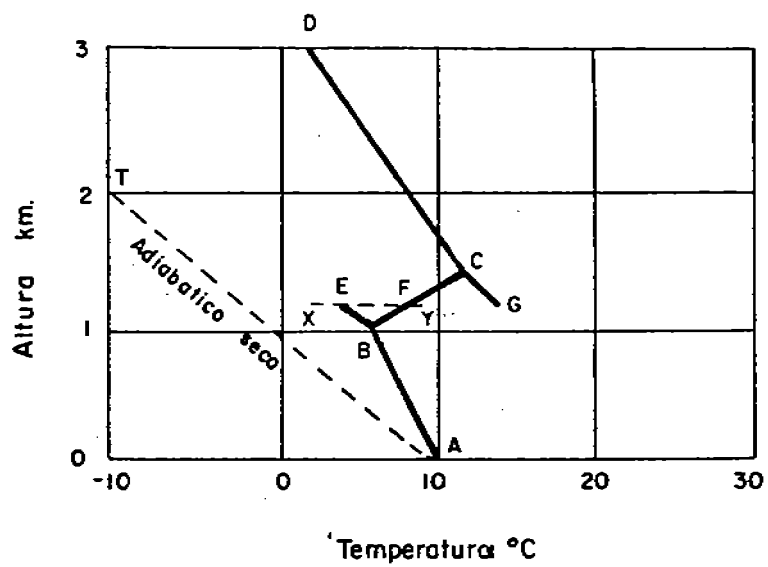


FIG. I.II Diagrama que ilustra la generación de un valor grande de la estructura de la temperatura como función de una inversión .

la gran estabilidad limita severamente la escala de turbulencia, es claro que en la base de una inversión, las diferencias de temperatura a pequeña escala tienden a estar en un máximo, de la -- misma manera, se tiene un argumento similar para el tope de una inversión con la temperatura de una porción del aire moviéndose hacia abajo, siguiendo la línea CG. Así, el rebote más fuerte - del sonido, es de esperarse en el tope y en la base de una inversión [ 3].

## CAPITULO 2

### ETAPA DE HARDWARE

#### 2.1 Proyecto.

El proyecto está enfocado básicamente a observar la estructura de la temperatura en la atmósfera mediante un sistema de eco sondeo, y poder así detectar capas de inversión, para lo cual se aprovechan los fenómenos físicos que el sonido sufre al atravesar un medio fluido como el aire (fenómenos vistos en el capítulo anterior).

El proyecto lo hemos dividido en dos partes o etapas, la primera o etapa de hardware es la relacionada con los circuitos que manejan y controlan la señal en una forma analógica y también hace la conversión de la misma a una forma digital, la segunda o etapa de software es en la que interviene una microcomputadora que se encarga de hacer el análisis de los datos -- provenientes de la primera etapa.

Estas dos etapas se pueden ver en el diagrama de bloques de la figura 2.1, cuya descripción funcional es la siguiente: cuando el usuario de la microcomputadora desea hacer un muestreo, utiliza los programas que previamente han sido cargados, y consecuentemente se inicia un ciclo de la siguiente manera: primero la microcomputadora envía una señal al circuito de control de la etapa de hardware, el cual se encarga de lanzar un sonido a la atmósfera a través de un oscilador que alimenta a un amplificador, y éste a su vez a una bocina, la señal enviada tiene una determinada potencia y frecuencia de operación, y se transmite por cierto período de tiempo el cual es controlado --

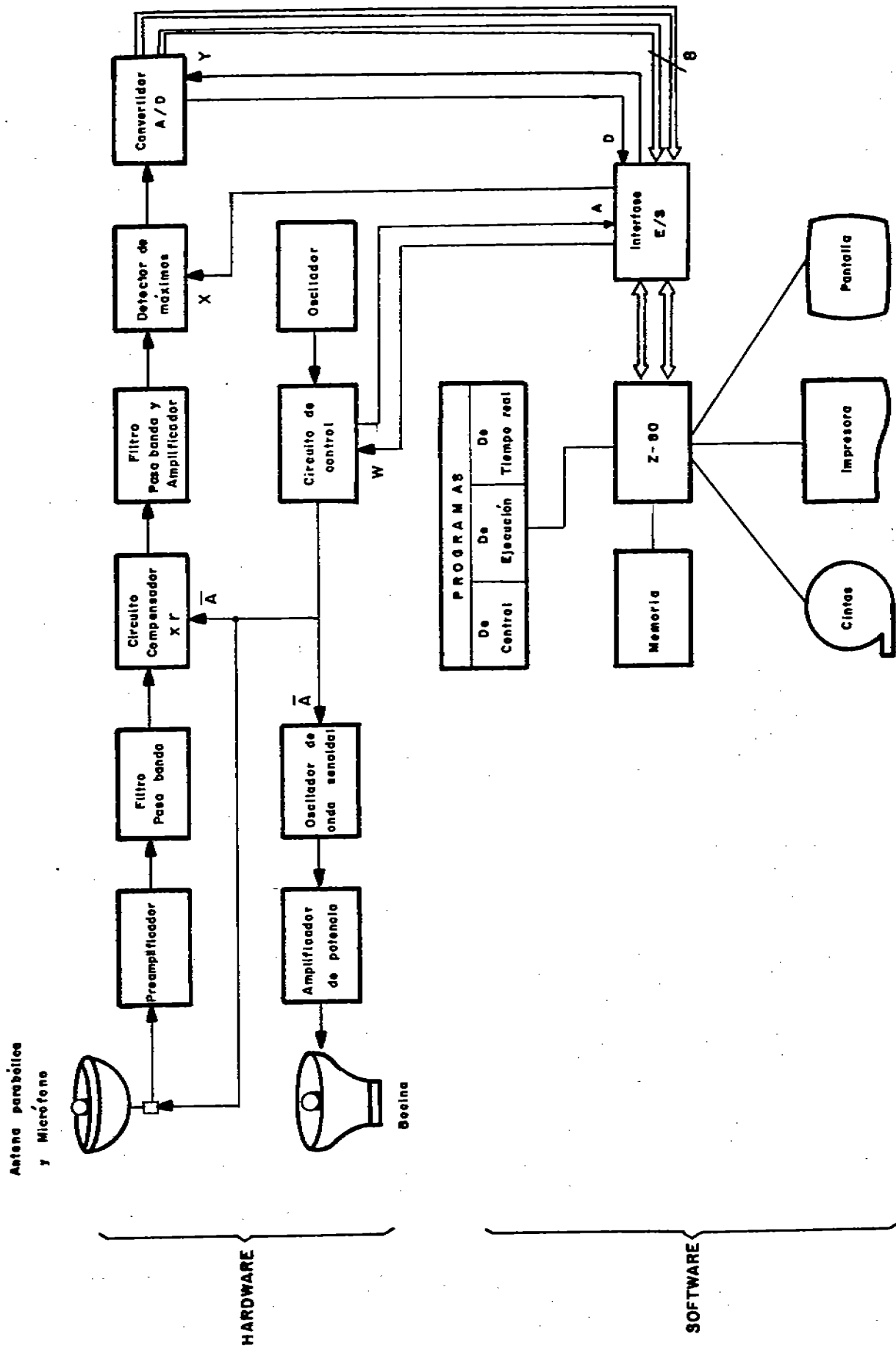


FIG. 2.1 Diagrama a bloques del proyecto.

por el circuito de control referido. Al pasar dicho período -- de tiempo, el circuito de control desactiva al oscilador para -- evitar que se siga enviando sonido por más tiempo, y a la vez en -- vía dos señales, una para que se haga la compensación de la se -- ñal recibida, y la otra la envía a la microcomputadora para que -- empiece el muestreo correspondiente. La señal proveniente del -- micrófono es preamplificada y filtrada, después pasa por un cir -- cuito compensador, para retribuirle las pérdidas por transmi -- sión que sufre el sonido al propagarse por la atmósfera, ense -- guida se le da a la señal una amplificación y un filtrado adi -- cional, para ponerla dentro de ciertos límites, necesarios para -- pasar al detector de máximos y al convertidor analógicos digi -- tal, los cuales se utilizan porque únicamente interesa la ampli -- tud del eco recibido, y por lo tanto, se requiere a la salida -- de la etapa mencionada el nivel más alto de la señal (detector -- de máximos), asimismo, para que la micro computadora pueda re -- cibir dicha señal, se requiere convertirla a digital, con lo -- cual se puede hacer un análisis posterior.

Hasta aquí la función de la etapa de hardware, ense -- guida la señal es procesada por la etapa de software, en la -- cual interviene una microcomputadora con programas de control, -- ejecución, en tiempo real y auxiliares; también se utilizan cin -- tas para almacenamiento de datos.

Los programas de control están en contacto con el -- usuario, los cuales muestran las opciones que puede utilizar pa -- ra manejar los programas de ejecución, de tiempo real y las cin -- tas o unidades de almacenamiento.

Los programas de ejecución hacen el análisis estadís -- tico de los datos obtenidos, y pueden graficarlos o mostrarlos -- en tablas, ya sea en pantalla o en impresora y grabarlos hacia -- o desde cassette.

Los programas en tiempo real relacionan las etapas de hardware con la de software; inician el circuito de control de la etapa de hardware y esperan una señal del mismo para iniciar el muestreo, controlan el tiempo de muestreo, y a la vez van almacenando los datos obtenidos en una porción de memoria, para que después sean procesados por medio de los programas de ejecución. Los programas auxiliares se utilizan para evitar duplicidad de código o para realizar con mayor rapidez un determinado proceso.

Las cintas se utilizan para guardar los datos de los muestreos, y así poder recuperarlos cuando se necesiten posteriormente.

## 2.2 Etapa de hardware.

En esta sección se hace una descripción de cada una de las partes de esta etapa, dando la función de transferencia y los componentes en cada caso. De acuerdo a la figura 2.1, empezaremos la descripción del circuito de control y oscilador, después continuaremos con el oscilador de onda senoidal, el amplificador de potencia, bocina, parábola, micrófono, preamplificador, filtro paso banda, circuito compensador, segundo filtro paso banda, detector de máximos, y terminaremos con el convertidor analógico/digital. Por simplicidad de notación, se utilizan las primeras letras del alfabeto para denotar señales que recibe la microcomputadora, y las últimas letras para las señales que salen de la misma. El diagrama eléctrico general de esta etapa está colocado en el apéndice, con los valores de los componentes.

La etapa de hardware tiene tres secciones: una encargada de la emisión de la señal sonora, otra de la recepción del eco de dicha señal y una tercera encargada de controlar la sin-

cronización de las dos secciones anteriores.

### 2.2.1 Circuito de Control y Oscilador.

Las funciones del circuito de control son las que se mencionaron al inicio de este capítulo; está constituido por circuitos secuenciales síncronos, y el reloj propiamente nos lo da un oscilador, de cuya frecuencia depende la rapidez de funcionamiento de dicho circuito, en otras palabras el oscilador nos determina el tiempo de duración de la emisión del sonido.

El diseño del circuito de control se puede observar en la figura 2. 2a, en donde le hemos llamado W a la señal de entrada, la cual proviene de la microcomputadora, y es la que indica cuando se inicia un ciclo de muestreo; A es la señal de salida que maneja al oscilador de onda senoidal, el cual genera la frecuencia de operación, esta señal también indica el inicio de la compensación de la señal analógica recibida. Las señales A o B pueden servir para indicar a la microcomputadora cuando iniciar el muestreo, puesto que las funciones de cada una de ellas están ligadas.

Dentro de la figura 2.2a se puede también ver el diseño hecho para circuitos secuenciales del tipo D. Se notará que el análisis en la tabla de estados se hizo únicamente para cuando la señal de entrada W es igual a uno lógico, puesto que si nos fijamos en el diagrama de flujo, cuando W es igual a cero, siempre se va al estado inicial 00 con salidas (A, B) también igual a 00, esto se puede lograr alimentando W al clear de los circuitos secuenciales. Por último en esta figura se nos muestra los mapas de Karnaugh para minimizar las funciones puestas en la tabla de estados, y como resultado tenemos las funciones de entrada a los circuitos secuenciales, en función de las señales de salida en su forma mínima, para com-



Entrada de Control = W

Salida hacia el amplificador = A

Salida hacia el preamplificador = B

W/A,B

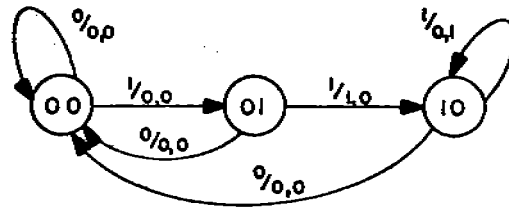


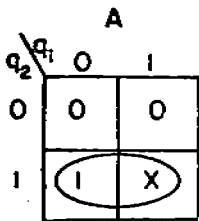
Diagrama de flujo

$q_1$	$q_2$	$q_1^*$	$q_2^*$	A	B	$D_1$	$D_2$
0	0	0	1	0	0	0	1
0	1	1	0	1	0	1	0
1	0	1	0	0	1	1	0
1	1	X	X	X	X	X	X

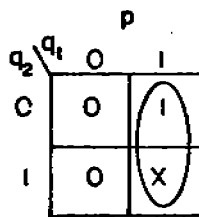
Flip-flops D

W = 1

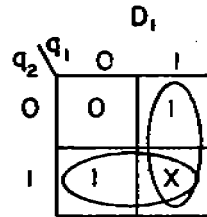
Tabla de estados para W = 1



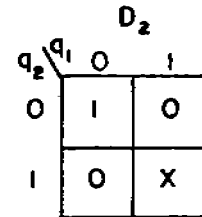
$A = q_2$



$B = q_1$



$D_1 = q_1 + q_2$   
 $D_1 = \overline{q_1} \cdot \overline{q_2}$



$D_2 = \overline{q_1} \cdot \overline{q_2}$   
 $D_2 = \overline{\overline{q_1} \cdot \overline{q_2}}$   
 $D_2 = \overline{D_1}$

W = clear (1,2)

Mapas de Karnaugh

FIG. 2.2a Diseño del circuito de control.

pletar así el diseño del circuito de control [ 7 ].

En la figura 2.2b se puede ver el diagrama de tiempos para las señales que intervienen en el circuito de control, y se puede explicar de la siguiente manera: Los cambios de estado en circuitos secuenciales tipo D, se efectúan a la bajada del reloj (que se indica con flechas); en el momento que se desee hacer un muestreo, la microcomputadora envía una señal, y en ese instante se desactiva el clear en los circuitos secuenciales; las señales A y B tienen hasta ese momento un valor de cero lógico; en cuanto exista una bajada del reloj, A será igual a uno lógico y B a cero lógico, lo que indica que se está transmitiendo una señal sonora a la atmósfera; a la siguiente bajada de reloj A será igual a cero lógico y B a uno lógico, indicando así que se dejó de transmitir el sonido, y se está recibiendo por el micrófono, en ese momento la microcomputadora empieza el muestreo del máximo de la señal detectada. Así continúan los estados de B y A hasta que W cambie a cero lógico, lo cual indica que la microcomputadora terminó de tomar las muestras, y en este caso B y A tendrán un nivel de cero lógico, puesto que el clear queda activado. El ciclo se iniciará de nuevo cuando W vuelva a ser igual a uno lógico.

En la figura 2.2b se tiene el diagrama del circuito de control y oscilador utilizados, donde el circuito de control está constituido por 2 circuitos secuenciales del tipo D, y están conectados de acuerdo a las fórmulas obtenidas en la figura 2.2a; el oscilador está constituido por el circuito integrado LM555, en donde la constante de tiempo está dada por C, Ra y Rb de la siguiente manera: El capacitor externo C se carga a través de Ra + Rb, y se descarga a través de Rb; el tiempo para cargarse está dado por,

$$T_1 = 0.693 (R_a + R_b) C \quad (2.1)$$

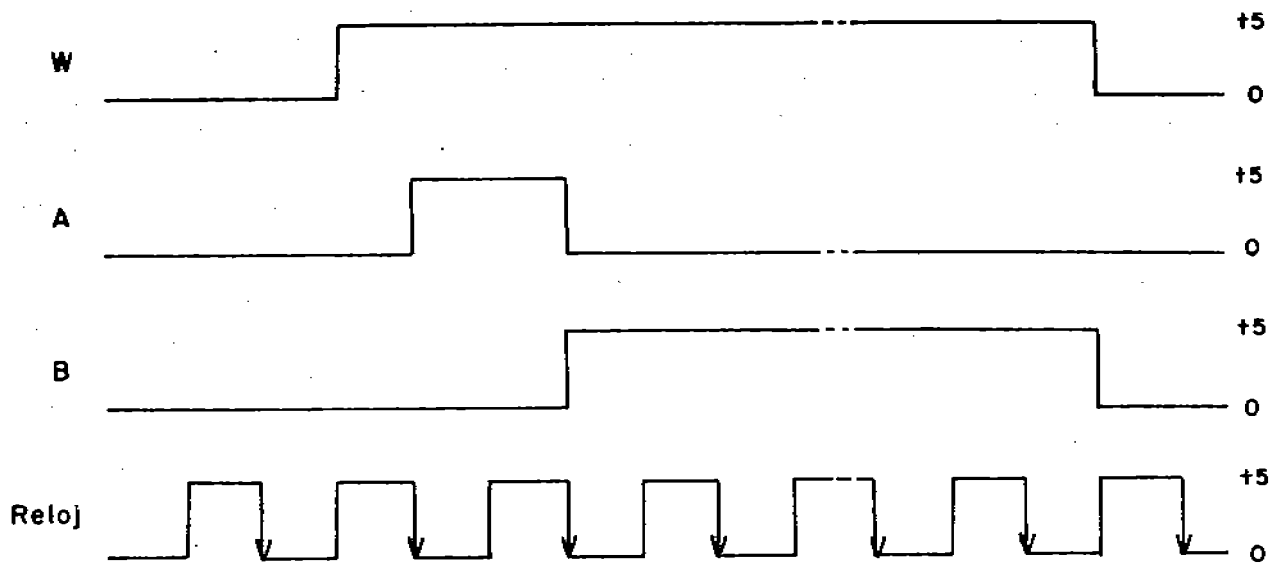
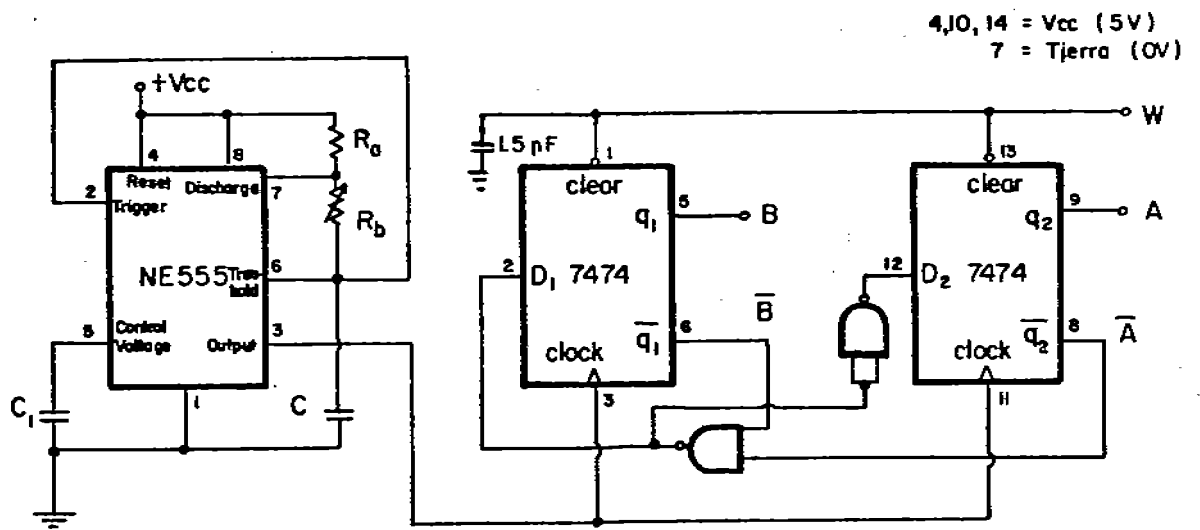


Diagrama de tiempos



Oscilador y circuito de control

FIG. 2.2b Diagramas de tiempos, oscilador y circuito de control.

y el tiempo para descargarse

$$T_2 = 0.693 (R_b)C \quad (2.2)$$

así el período total es

$$T = T_1 + T_2 = 0.693 (R_a + 2R_b) C \quad (2.3)$$

y la frecuencia de oscilación

$$f = 1/T = \frac{1.44}{(R_a + 2R_b) C} \quad (2.4)$$

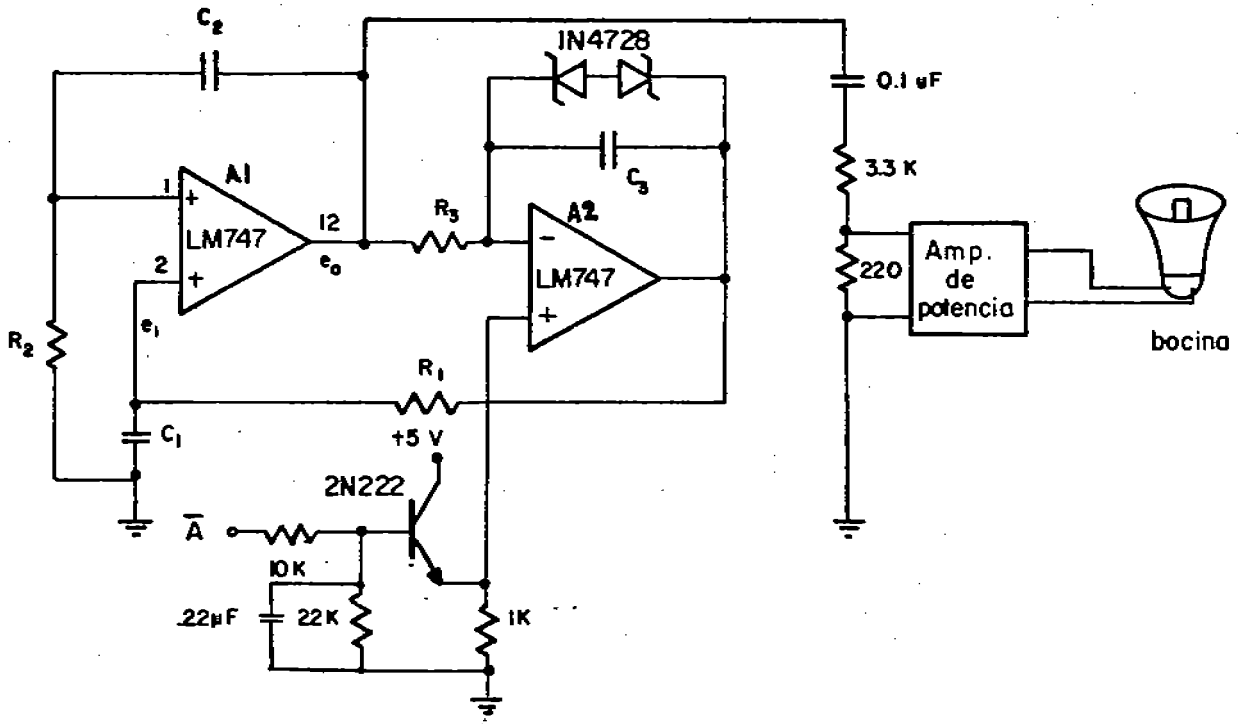
Si se ve el diagrama del oscilador en la figura 2.2b, la resistencia  $R_b$  es variable, lo cual nos da por resultado un período total también variable, y como consecuencia podemos modificar el tiempo de emisión de la señal sonora a la atmósfera. Por ejemplo, si deseamos un tiempo de emisión de 100 milisegundos con  $C=0.1 \mu f$  y  $R_a = 56 K\Omega$ ,  $R_b$  se ajustará a  $693.5 K\Omega$ .

### 2.2.2 Oscilador de onda senoidal y amplificador de potencia.

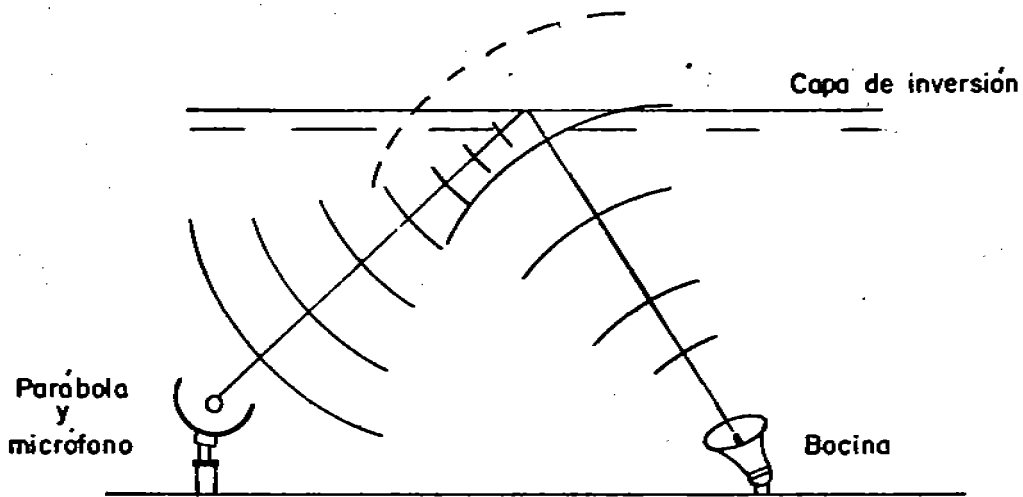
El oscilador de onda senoidal es el que genera la frecuencia de operación, que después transformada a onda acústica, es lanzada a la atmósfera, como un parámetro de medición de la altura de la capa de inversión. La forma de onda generada es del tipo senoidal para evitar que otra de tipo diferente, introduzca armónicas en la señal, que en un momento dado puedan confundir las mediciones que se hagan.

En la figura 2.3a se muestra el diagrama del oscilador de onda senoidal, en el cual se usan dos amplificadores operacionales como integradores. Se aplica al amplificador  $A_2$  una limitación con diodos zener, para que la amplitud del voltaje de salida se mantenga dentro de los límites que impongan éstos, el comportamiento del circuito se entiende mejor si la limitación no lineal en  $A_2$ , no se considera por el momento, y así después de que se describa el comportamiento lineal, puede

13,9 - Vcc (15V)  
 4 - -Vcc (-15V)



a) Diagrama del oscilador de onda senoidal, amplificador de potencia y bocina.



b) Rebote del sonido en una capa de inversión donde se utiliza una bocina y un micrófono.

FIG. 2.3

considerarse el efecto de la no linealidad. Al considerar este comportamiento, vamos a suponer que existe un voltaje inicial - en el capacitor  $C_1$ , al cual llamamos  $e'1$  y que todas las condiciones iniciales son cero, definiendo  $\tau_1 = R_1 C_1$ ,  $\tau_2 = R_2 C_2$  y  $\tau_3 = R_3 C_3$ ; además suponemos que los amplificadores operativos son ideales es decir, su impedancia de entrada infinita, impedancia de salida igual a cero y ganancia infinita, de esta manera si aplicamos la transformada de Laplace, la salida  $E'$  o será (cuando la entrada no inversora de  $A_1$ , sea igual a 0 volts),

$$E_0'(S) = \frac{(S+1/\tau_1)(S+1/\tau_2) V_1'}{S^3 + (1/\tau_1)S^2 + (1/\tau_1\tau_3)S + 1/\tau_1\tau_2\tau_3} \quad (2.5)$$

y si  $\tau_1 = \tau_2$  entonces,

$$E_0'(S) = \frac{(S+1/\tau_1)^2 V_1'}{S^3 + (1/\tau_1)S^2 + (1/\tau_1\tau_3)S + 1/\tau_1^2\tau_3} \quad (2.6)$$

$$E_0'(S) = \frac{(S+1/\tau_1) V_1'}{S^2 + 1/\tau_1\tau_3} \quad (2.7)$$

La solución en función del tiempo se encuentra tomando las transformadas inversas de Laplace; así, obtenemos,

$$e_0'(t) = V_1' \frac{1}{\sqrt{\tau_3/\tau_1 + 1}} \text{sen} \left( \sqrt{\frac{1}{\tau_1\tau_3}} t + \psi \right) \quad (2.8)$$

donde

$$\psi = \text{Tan}^{-1} \sqrt{\tau_1/\tau_3} ,$$

ahora, si  $\tau_1 = \tau_3$  entonces

$$e_0'(t) = V_1' \sqrt{2} \text{sen} (t/\tau_1 + 45^\circ) \quad (2.9)$$

y en este caso la frecuencia de oscilación es,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.10)$$

donde  $R = R_1 = R_2 = R_3$  y  $C = C_1 = C_2 = C_3$  por ejemplo, para obtener una frecuencia de 1562.5 Hz, con  $C = .1 \mu\text{f}$ ,  $R$  deberá - - ser de 1.018  $\text{k}\Omega$  ; tal vez  $R_2$  con un valor más bajo ( $569 \Omega$ ) por

la siguiente razón: En la práctica una ligera desigualdad -- de los componentes hará que el circuito converja o diverja -- lentamente, por lo cual, si la resistencia  $R_2$  se hace ligeramente menor que  $R_1$  se asegura que el oscilador empieza a funcionar inmediatamente después de que se activa. si  $R_1 C_1$  se hacen deliberadamente mayor que  $R_2 C_2$ , la amplitud de salida del oscilador divergirá, pero si los limitadores cortan la salida en  $A_2$ , la amplitud de salida se estabilizará, y la distorsión a la salida será aproximadamente proporcional al grado de desigualdad entre  $R_1 C_1$  y  $R_2 C_2$ , la cual además será generalmente inferior a la salida para  $e^0$  en vez de la salida para  $e^3$ ; en esta última, la salida es un coseno, puesto que se está integrando la señal que proviene de  $e^0$  [10] .

El circuito de la figura 2.3a funcionará como generador de onda senoidal si la entrada no inversora de  $A_2$  es -- igual a 0 volts, pero si a esta entrada se le aplica un voltaje de 2.7 volts o mayor, la salida por  $e^0$  no será una onda senoidal, sino una señal de corriente directa, proporcional al voltaje que se le aplique en la entrada mencionada es decir, el oscilador en este caso deja de oscilar; esto último es lo que se aprovecha para controlar la oscilación, mediante -- la señal  $\bar{A}$  proveniente del circuito de control. Al estar  $\bar{A}$  -- en uno lógico, a la salida del transistor en configuración -- colector común habrá un voltaje de 2.7 volts aproximadamente, lo cual deshabilitará al oscilador. En el otro caso cuando --  $\bar{A}$  esté en cero lógico, el oscilador funcionará. Dicho transistor tiene la función de acoplar la salida del circuito de control con la entrada no inversora del amplificador operacional, además de proporcionar una señal estable [10].

La salida de este oscilador es aplicada al amplificador de potencia a través de un filtro paso alto; la función -- de este filtro es la de eliminar el componente de corriente --

directa, sobre todo en el caso cuando el oscilador esta desactivado, la frecuencia de corte del filtro pasivo es de 450hz. Además tiene la función de disminuir el voltaje de salida -- del oscilador de 3.3 volts a 0.2 volts aproximadamente, para -- evitar que la señal a la salida del amplificador de potencia -- se distorsione debido a una señal de entrada muy grande.

El amplificador de potencia, es un amplificador de audio, con las siguientes características: Opera con 127 volts, 60 hz y la potencia máxima de salida es de 180 watts; tiene 4-entradas con un control de ganancia, y un control maestro que maneja la ganancia de todas las entradas, tiene también control de graves y agudos, y salidas de 4, 8, y 16 ohms, para -- acoplar impedancias de acuerdo a la(s) bocina (s) que se utilice (n).

### 2.2.3 Bocinas, Micrófono y Antena.

Las bocinas que se eligieron en este caso tienen las siguientes características: tipo exponencial de 59 cm. de diámetro y 22 cm. de alto, los excitadores son de 55 watts y 16 - Ohms, su eficiencia es aproximadamente del 10%.

El micrófono que se eligió en este caso tiene las siguientes características: es de carbón, dinámico con una captación unidireccional, construido con una malla enrejada de alambre, con un filtro especial para evitar los efectos del viento y los sonidos del tipo explosivo, tiene una cápsula intercambiable, se puede conectar en baja o en alta impedancia, el nivel de voltaje de salida de circuito abierto a 1000hz (baja impedancia) es de -81.5dB, si 0 dB=1 volt/microbar, y el nivel de potencia es de -60 dB si 0 dB = 1 miliwatt con 10 microbares; - la eficiencia del micrófono es de 10% aproximadamente. Las gráficas de respuesta a la frecuencia y de directividad de este -



micrófono se verán en el capítulo 4.

La antena es una parábola que se utiliza para hacer más direccional y más grande el área de captación de la señal.- Tiene un diámetro de 2.3 metros, con una distancia del foco a la directriz de 1.2 metros, el área efectiva de la antena es  $3m^2$  y la ganancia (para  $f= 1500c/seg$ ) de acuerdo a la ecuación-1.35 es 800.

La parábola esta montada sobre una base móvil de 1.3-metros de alto, lo cual permite moverla fácilmente  $180^\circ$  sobre un plano. Se puede utilizar otra antena parabólica para la emisión del sonido con lo cual se aprovecharían los beneficios mencionados, pero esto implicaría un mayor costo; también se puede utilizar la misma antena para transmisión y recepción, evitando en este caso que se emita y se reciba simultáneamente la señal-sonora. Para evitar que se capte ruido por la parte posterior de la parábola, se le puso un aislante acústico del cual hablaremos más ampliamente en el capítulo 4, en donde también mostraremos las gráficas de directividad de dicha antena.

#### 2.2.4 Preamplificador.

Es utilizado para darle una amplificación inicial a la señal que proviene del micrófono, además de acoplar impedancias entre éste y el filtro pasa banda. Como se requiere una respuesta de bajo ruido, se eligió uno que tiene 0.8 micro -- volts de respuesta de ruido de entrada; además contiene una matriz de resistencias interna, que permite seleccionar una gran variedad de ganancias de lazo cerrado y de respuestas a la frecuencia, por lo cual se puede hacer sintonizado.

En la figura 2.4 se puede observar la configuración de este preamplificador, la cual es además la de un filtro paso

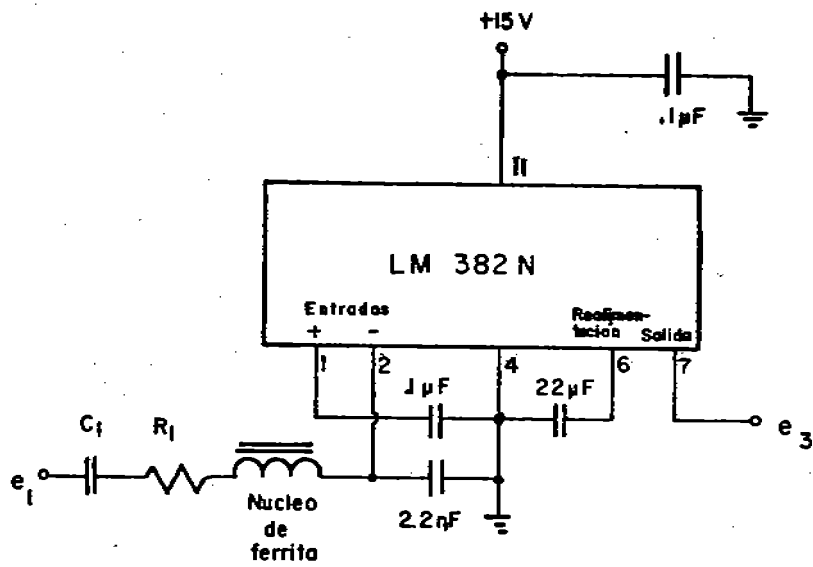


FIG. 2.4 Diagrama del preamplificador de señal acústica.

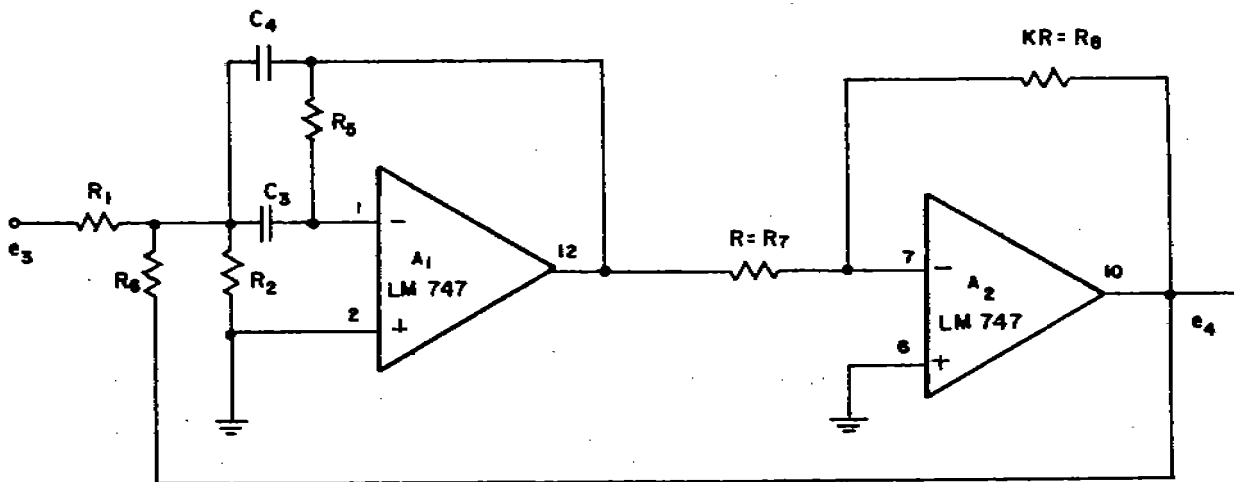


FIG. 2.5 Diagrama filtro pasa banda.

alto, donde la frecuencia de corte a -3 db. está dada por,

$$f = \frac{1}{2\pi C_1 R_1} \quad (2.11)$$

y la ganancia por,

$$e_3/e_1 = \frac{5.1 \times 10^6}{R_1} \quad (2.12)$$

Así, si  $C_1 = .22 \mu\text{f.}$  y  $R_1 = 680 \Omega$ , la frecuencia de corte a -3 db. será de 1064 hz., y la ganancia de 7500.

Este preamplificador en su configuración, tiene a la -- entrada un núcleo de ferrita y un capacitor de 2.2 nf., para -- evitar que se mezclen señales de radio frecuencia con la señal -- de interés. Además se colocó una cubierta de aluminio conectada a tierra, para que le sirva de blindaje, y así evitar que se -- induzcan señales en forma de ruido [ 17 ] .

#### 2.2.5 Filtro paso banda.

Después de preamplificar la señal, se pasa a través de un filtro paso banda, con el propósito de dejar pasar únicamente la frecuencia de operación, y atenuar las demás frecuencias, en este caso, la banda de frecuencias que este filtro deja pasar -- es muy angosta. La configuración del filtro está representada -- en la figura 2.5, este circuito posee la ventaja de tener valores de Q (factor de calidad) elevados (entre 10 y 50) sin tener -- grandes dispersiones en los valores de los elementos, y también -- sin tener elevadas sensibilidades de Q a los cambios de valor -- en los mismos. La transformada de Laplace de la función de -- transferencia es

$$\frac{E_4}{E_3} (s) = \frac{S(K/R_1 C_4)}{S^2 + (S/R_5 C_4) (1 + C_4/C_3 - K R_5/R_6) + (1/C_3 C_4 R_5) (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_6)} \quad (2.13)$$

El término cuadrático de la función de transferencia - (divisor) determina las características del filtro, el cual tiene la siguiente configuración,

$$s^2 + \frac{W_0}{Q} s + W_0^2 \quad (2.14)$$

donde  $W_0$  es la frecuencia central angular (radiantes/segundo).

En este polinomio, se puede observar que  $Q$  determina el ancho de banda del filtro, ya que cuando  $Q > 0.5$ , las raíces del polinomio se hacen complejas, y en este caso el filtro es paso banda. Al aumentar el valor de  $Q$ , el ancho de banda se hace más estrecho, lo cual lo podemos observar en la fórmula siguiente,

$$Q = \frac{f_0}{f_1 - f_2} \quad (2.14')$$

donde  $f_1$  y  $f_2$  son las frecuencias de corte a -3 db., y  $f_0$  la frecuencia central. [ 10 ].

Como  $R_1$  y  $R_6$  son generalmente mayores que  $R_2$ , se usa  $R_2$  para ajustar la frecuencia central. Nótese también que en este circuito  $Q$  puede ajustarse con  $K$  sin influir en la frecuencia central. Por ejemplo, si  $C_3=C_4=.1 \mu f$ ,  $R_1=R_5=7.5K\Omega$ ,  $K=2$ ,  $R_8=15K\Omega$ ,  $R_6 = 8046.4 \Omega$  y  $R_2 = 143.5 \Omega$ , nos dará como resultado una frecuencia central de 1562.5 hz. ( $W_0 = 9817. \text{ rad/seg}$ ) y el valor de  $Q$  es 54.22, lo que implica que las frecuencias de corte a -3 db. están a  $\pm 14.5$  hz. a partir de la frecuencia central. En la figura 2.A se ilustra el diagrama de Bode de respuesta a la frecuencia de este filtro paso banda, con los valores descritos anteriormente, donde podemos observar que las rectas suben y bajan con una pendiente de  $\pm 1$ , o sea  $\pm 45^\circ$ , y que el ancho de banda de este-

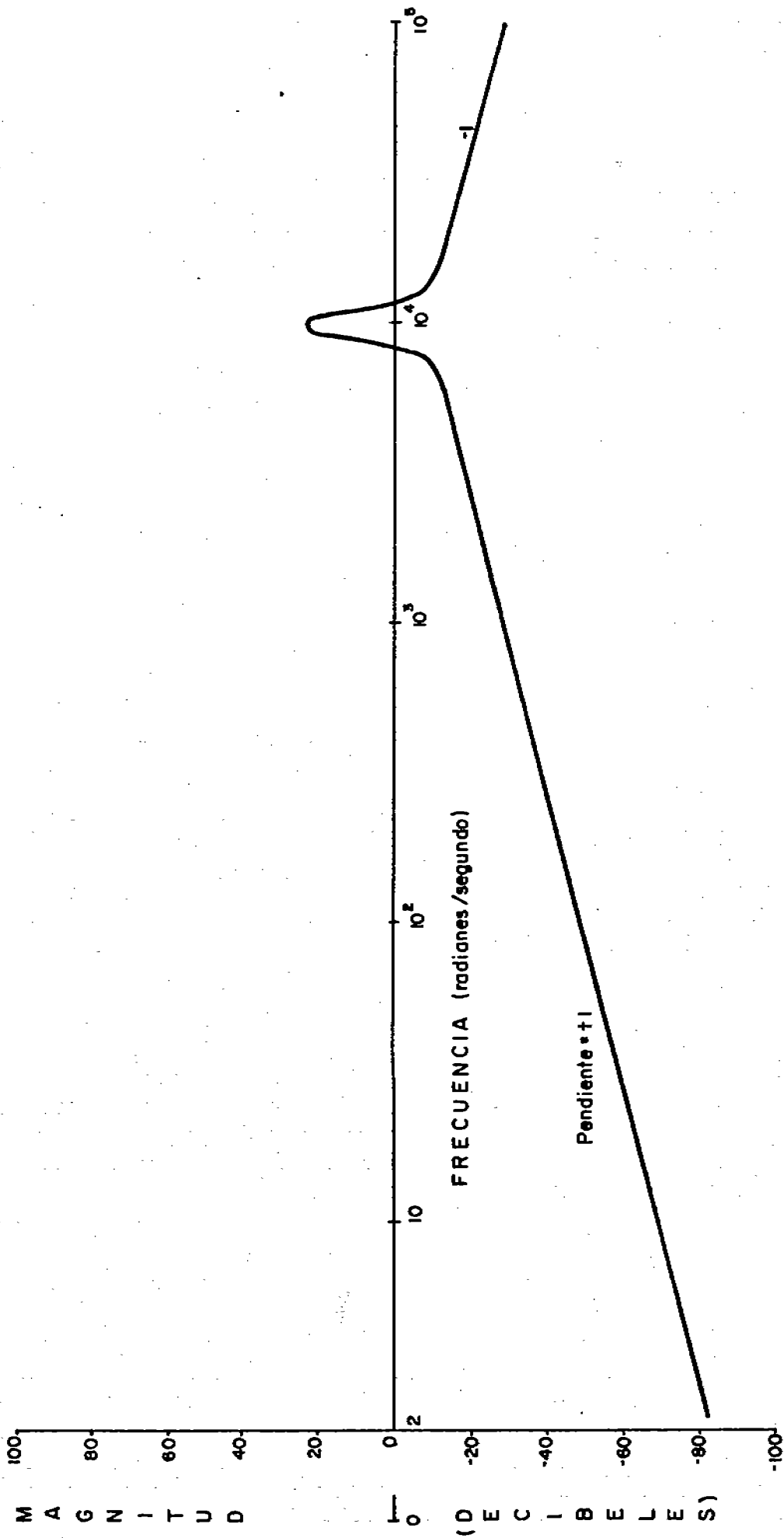


Figura 2- A. Diagrama de Bode del filtro pasa banda (1562.5 Hz.)

filtro es bastante angosto [10].

#### 2.2.6 Circuito Compensador.

Aparte de la atenuación que sufre el sonido al atravesar un medio como el aire, la intensidad del mismo va disminuyendo, debido a la radiación de ondas acústicas esféricas es decir, cada instante que pasa, la esfera que tiene que cubrir una potencia acústica inicial es mayor, por lo que la intensidad en cada punto de la esfera disminuye en una forma proporcional al área de la misma, esto es  $4\pi r^2$ , donde  $r$  es la distancia de la fuente al frente de onda. Por esta razón se le da a la señal una compensación proporcional a  $r$ , la cual se puede lograr de dos formas: una es mediante la amplificación de la señal en una proporción al factor mencionado anteriormente, y en la segunda, se le da a la señal en un principio una atenuación muy grande y se le va quitando conforme pasa el tiempo, en proporción a  $r$ . En este proyecto se eligió la segunda forma de compensación, en donde se genera una rampa, y se multiplica por la señal, lo cual se logró por medio de amplificadores operacionales logarítmicos [10].

En la figura 2.6 se ilustra el circuito compensador y la explicación es la siguiente: Se utiliza el circuito integrado NE555 para generar la rampa, y se controla por la señal que proviene del circuito de control ( $\bar{A}$ ): cuando  $\bar{A}$  es igual a -

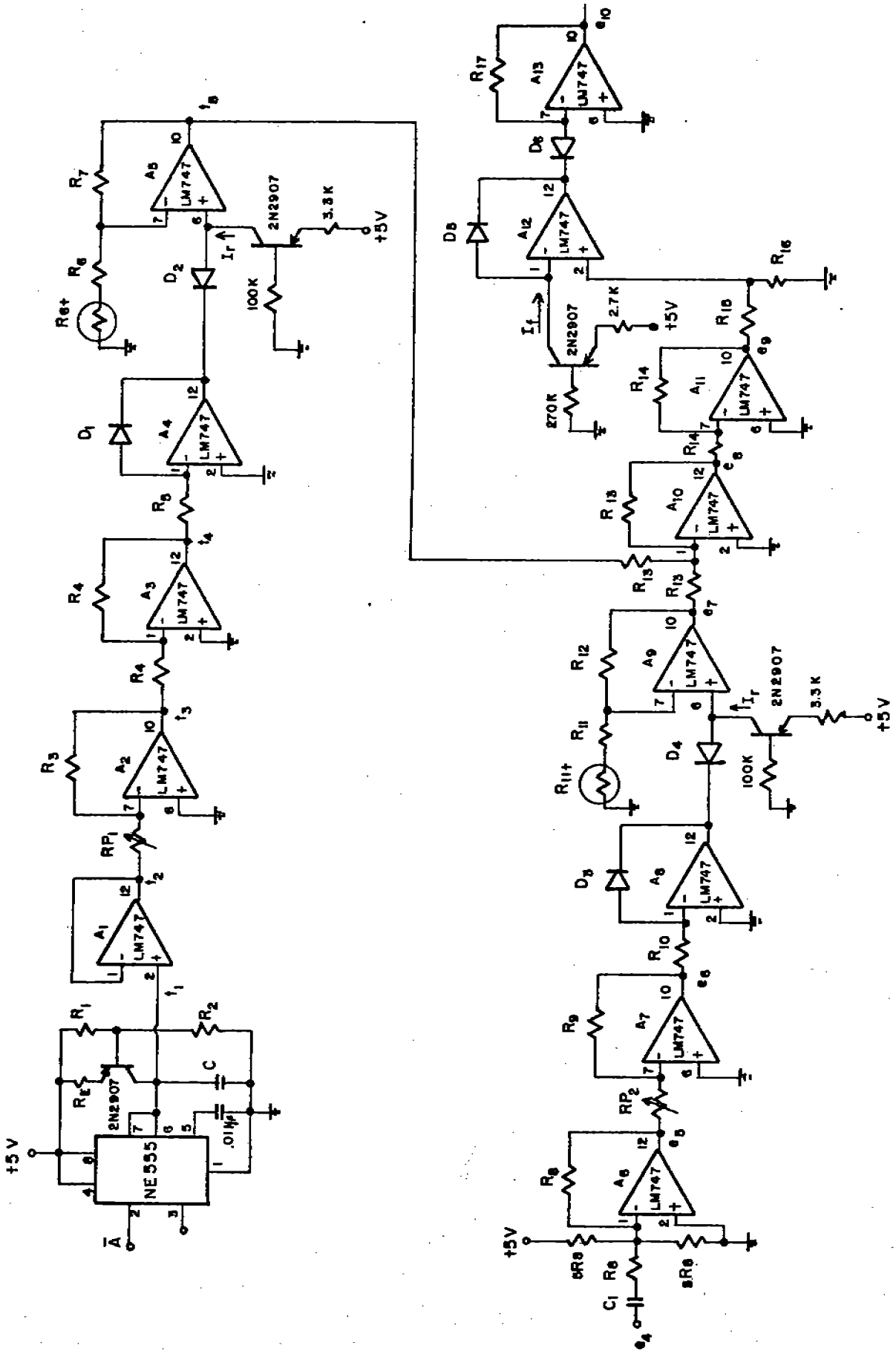


FIG. 2.6 Diagrama del circuito compensador xr utilizando amplificadores logarítmicos.

cero se empieza a generar la rampa, y si al terminar de generarse  $\bar{A}$  es igual a uno, entonces la salida del circuito integrado se hace igual a 0, y empezará de nuevo otra, cuando  $\bar{A}$  vuelva a ser igual a cero, la rampa alcanzará un valor máximo de  $(2/3 V_{CC})$  3.33 volts, y el tiempo de duración está dado por,

$$T = \frac{2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)} \quad (2.15)$$

Si por ejemplo queremos que la rampa dure 5 segundos y  $V_{BE} = .6v$ , se ponen los siguientes valores en los componentes:  $C=22 \mu f$ ,  $R_E=3.3 K\Omega$ ,  $R_1=47 K\Omega$  y  $R_2=315.43 K\Omega$ , - - - y en este caso  $t_1 = 0.666t = K_1 t$ , donde  $K_1$  es la pendiente la cual es igual es igual a 0.666 volts/segundo. Para calcular el valor de las resistencias en base a la ecuación anterior tenemos:

$$(R_1 + R_2) = \frac{T R_1 V_{CC}}{2/3 V_{CC} R_E C + V_{BE} T} \quad (2.16)$$

El amplificador operacional  $A_1$  sirve de aislamiento a la salida del circuito integrado 555, para que el tiempo de duración de la rampa cumpla con la ecuación anterior, y no se vea afectado por otro elemento. En este caso como  $A_1$  es un seguidor de voltaje,  $t_1$  es igual a  $t_2$ . El amplificador  $A_2$  es un amplificador inversor, y se utiliza para variar la pendiente de la rampa por medio del potenciómetro  $RP_1$ . El amplificador  $A_3$  es un amplificador inversor y se utiliza para obtener una rampa positiva, ya que en el paso anterior se invierte, - esto último es necesario porque enseguida tenemos un amplificador logarítmico, y como es sabido no existen logaritmos de - cantidades negativas [10].



La función de transferencia de voltaje hasta este punto es ,

$$\frac{t_4}{t_2} = \frac{t_3}{t_2} \quad \frac{t_4}{t_3} = \left(\frac{-R_3}{R_{P1}}\right) \left(\frac{-R_4}{R_4}\right) = \frac{R_3}{R_{P1}} \quad (2.17)$$

lo que implica que

$$t_4 = \frac{R_3}{R_{P1}} K_1 t = K_2 t \quad (2.18)$$

donde

$$K_2 = \frac{K_1 R_3}{R_{P1}} \text{ volts/seg.}$$

Los amplificadores  $A_4$  y  $A_5$ , conectados en la forma como se ilustra en la figura 2.6, conforman un amplificador logarítmico. Aquí se aprovecha la relación lineal entre el voltaje y la corriente de la unión PN en los diodos, la cual es una relación logarítmica; el transistor PNP utilizado en esta parte hace el equivalente a una fuente de corriente [ 11] el cual proporciona una corriente  $I_r$  al diodo  $D_1$ .  $D_1$  y  $D_2$  están igualados para anular la corriente de saturación inversa de los diodos en la entrada no inversora de  $A_5$ , y como la respuesta de la corriente en el diodo en función del voltaje esta relacionada con la temperatura, se pone una compensación en el amplificador  $A_5$ , haciendo la ganancia de éste sensible a la misma. Esto último se hizo por medio de una resistencia sensible al parámetro mencionado, lo cual se logra por medio del termistor  $R_{6T}$  [ 10 ] . - El voltaje de salida de este amplificador logarítmico está dado por

$$t_5 = \frac{-(R_7 + R_6 + R_{6T})}{R_e + R_{6T}} v V_T \ln \frac{t_4}{R_5 I_r} \quad (2.19)$$

donde  $v \approx 2$  para corrientes pequeñas en dispositivos de silicio y  $V_t = \frac{T}{11000}$  volts (T en grados kelvin).

si por ejemplo hacemos que,

$$\frac{R7 + R6 + R6T}{R6 + R6T} \text{ se hace igual a } \frac{1}{v_{VT}} \text{ y } R5 = \frac{1}{I_r}$$

y sabemos que a temperaturas de 20°C ,  $v_{VT} \approx 53,3$  milivolts,

entonces  $R7=18.2 \text{ K}\Omega$ ,  $R6=1 \text{ K}\Omega$  y  $R6T=25 \Omega$  (variando inversamente la resistencia al variar la temperatura ascendente). Además el transistor proporciona una corriente de 1 ma por lo que  $R_5$  será igual a  $1 \text{ K}\Omega$  . Bajo este criterio, el voltaje de salida del amplificador logarítmico es  $t_5 = -\ln t_4$  (2.20), y sustituyendo la ecuación (2.18) nos queda  $t_5 = -\ln K_2 t$  (2.21)

Claro esta que los valores anteriores funcionarán -- bien si los amplificadores operacionales fueran ideales, pero como no lo son, en la práctica se ajustan los valores un poco; por ejemplo si en  $t_4$  tenemos un volt, se ajusta el valor de  $R_5$  para que la salida  $t_5$  sea igual a cero; de igual forma si aplicamos un voltaje de 0.5 Volts en  $t_4$ , se ajustan los valores de  $R7$  y  $R6$  para que la salida  $t_6$  sea igual a .693 volts.

Si nos fijamos en la figura 2.6,  $t_5$  se alimenta a un sumador formado por el amplificador A9, por lo que antes de seguir la trayectoria de  $t_5$  veremos de donde proviene la señal  $e_7$ , que es la señal que se va a sumar a  $t_5$ .

Sumador de nivel.- En la figura 2.6, se puede ver que la configuración del amplificador operacional A6 es la de un sumador, y como una de las señales que se va a sumar es de corriente directa, decimos que éste es un sumador de nivel. La señal  $e_4$  es la que proviene del filtro paso banda de la figura 2.5, y lo que se trata de hacer aquí, es que la señal  $e_4$  quede sobre una señal de corriente directa, para que toda la señal sea positiva, ya que se va alimentar a un amplificador logarítmico, el

cual no acepta cantidades negativas. Con un valor apropiado de  $C_1$ , la señal  $e_4$  pasará íntegra, por lo que el voltaje de salida en esta parte es,

$$e_5 = - \left( \frac{e_4 R_8}{R_8 + 1/C_1 S} + \frac{5}{2} \frac{R_8}{5/2 R_8} \right) \approx - (e_4 + 1) \quad (2.22)$$

La configuración del amplificador A7 es la de un inversor, el cual tiene dos funciones: La primera es hacer positivo el voltaje  $e_5$ , ya que es una entrada al amplificador logarítmico, y la segunda, es la de ajustar la ganancia de tal manera que cuando la amplificación sea máxima (por ejemplo cuando la rama llegue a sus niveles máximos), la señal  $e_5$  no alcance valores que saturen algún amplificador operacional, con lo cual se perdería la señal; esto último se hace en la práctica ajustando el valor de  $RP_2$ . Aquí la función de transferencia es,

$$\frac{e_6}{e_5} = - \frac{R_9}{RP_2} = - K_3 \quad (2.23)$$

y sustituyendo la ecuación 2.22 nos queda  $e_6 = K_3 (e_4 + 1)$  (2.24)

Los amplificadores A8 y A9 conforman un amplificador-logarítmico con las mismas características del amplificador -- que forman A4 y A5 que ya explicamos anteriormente. Si hacemos las mismas consideraciones que el caso anterior, la función de transferencia nos queda de esta forma,

$$e_7 = -\ln e_6 \quad (2.25)$$

y sustituyendo la ecuación 2.24 tenemos

$$e_7 = -\ln K_3 (e_4 + 1) \quad (2.26)$$

Aquí entramos a un punto de suma, donde la señal de la rampa  $t_5$  se adiciona a  $e_7$ . La configuración del amplificador-A10 es la de un sumador, y como se sabe, matemáticamente la suma de los logaritmos de dos cantidades, es equivalente al logaritmo del producto de las mismas, o sea que lo que se trata de obtener aquí es el producto de la señal  $e_4$  y la rampa  $t_5$ , de esta manera el voltaje de salida es

$$e_8 = - (e_7 + t_5) \quad (2.27)$$

y sustituyendo los valores de acuerdo a las ecuaciones 2.21 y 2.26 tenemos

$$e_8 = - (-\ln K_3 (e_4 + 1) - \ln K_2 t) = \ln K_3 (e_4 + 1) + \ln K_2 t \quad (2.28)$$

aplicando las propiedades de los logaritmos nos da

$$e_8 = \ln K_2 K_3 t (e_4 + 1) \quad (2.29)$$

La configuración del amplificador operacional A11 en la figura 2.6 es la de un inversor; aquí se pretende invertir-

la señal  $e_8$ , porque como veremos más adelante, el amplificador antilogarítmico requiere de una señal negativa para que funcione correctamente. En esta parte la función de transferencia de los voltajes es [10],

$$e_9/e_8 = - \frac{R_{14}}{R_{14}} = - 1 \quad (2.30)$$

y sustituyendo la ecuación 2.29 tenemos,

$$e_9 = -\ln K_2 K_3 t (e_4 + 1) \quad (2.31)$$

**Amplificador antilogarítmico.** - El amplificador antilogarítmico es el que está formado por los amplificadores operacionales A12 y A13, con diodos, resistencias y un transistor PNP, aquí de nuevo se aprovecha la no linealidad entre el voltaje y la corriente en la unión PN de los diodos, la cual es una relación logarítmica, y conectados como se muestra en la figura 2.6, nos da como resultado una función antilogarítmica. - El transistor PNP conectado a la entrada inversora de A12, hace el equivalente a una fuente de corriente  $I_f$ ; una vez más los términos compensadores sensibles a la temperatura  $v, V_t, I_o$ , se invalidan si los diodos están bien igualados. También puede ponerse una resistencia sensible a la temperatura en serie con R16 (un termistor), para compensar la variación en la corriente de los diodos debida a la temperatura [10]. El voltaje de salida de este amplificador es,

$$e_{10} = R_{17} I_f \ln^{-1} \left[ -e_9 \frac{R_{16}}{(R_{16}+R_{15}) vVT} \right] \quad (2.32)$$

y si hacemos que  $\frac{R_{16}}{(R_{16}+R_{15})}$  sea igual a  $vVT$  y  $R_{17} = \frac{1}{I_f}$

y si  $vVT = 53.3$  mvolts a  $20^\circ\text{C}$ ,

entonces  $R_{15} = 21.4K\Omega$  ,  $R_{16} = 1.2K\Omega$  (el transistor proporciona una corriente de 1 ma, por lo que  $R_{17} = 1K\Omega$  ).

Así la ecuación 2.32 nos queda de la siguiente manera,

$$e_{10} = \ln^{-1} (-e_9) \quad (2.33)$$

Si los amplificadores operacionales fueran ideales, - los valores anteriores serían los correctos, pero en la práctica un pequeño ajuste es necesario; por ejemplo, si  $e_9$  es igual a cero volts, se ajusta  $R_{17}$  para que  $e_{10}$  sea igual a 1 volt, y si  $e_9$  es igual a -1 volt se ajustan  $R_{15}$  y  $R_{16}$  para que  $e_{10}$  sea igual a 2.72 volts.

Sustituyendo la ecuación 2.31 en la ecuación 2.33, tenemos que,

$$e_{10} = \ln^{-1} (-(-\ln K_2 K_3 t (e_4 + 1))) = K_2 K_3 t (e_4 + 1) \quad (2.33')$$

en donde se puede ver que a la salida del amplificador logarítmico tenemos la señal que proviene del micrófono amplificada y filtrada, más una señal de corriente directa (1 volt), todo -- esto multiplicado por una constante y una rampa; por lo cual - al mismo tiempo que se va amplificando la señal conforme pasa el tiempo por un factor de  $t$ , también se incrementa el valor - de la componente de corriente directa proporcionalmente al mismo factor, y para evitar que el valor de esta componente alcance un valor que pueda saturar la señal, se ajusta  $K_3$  mediante  $RP_2$ , de acuerdo a lo que ocurra en la práctica, como lo dijimos anteriormente.

### 2.2.7 Segundo filtro paso banda.

El filtro paso banda mostrado en la figura 2.7 tiene como función principal eliminar la componente de corriente di-

recta que proviene del amplificador antilogarítmico, además de darle un filtrado adicional a la señal, este filtro lo forman los amplificadores operacionales A1 y A2 y la función de transferencia es la misma que la ecuación 2.13, con el mismo valor de los elementos de la figura 2.5, por lo tanto tiene las mismas características, pero al actuar los dos filtros simultáneamente con la misma frecuencia de operación, tendríamos por resultado el mismo diagrama de respuesta a la frecuencia mencionado pero las rectas suben y bajan con una pendiente de  $\pm 2$ , o sea  $\pm 63.4^\circ$ , y la amplificación en la cresta se modifica de acuerdo al producto de las ganancias de los dos filtros paso banda [11].

De acuerdo a la figura 2.7, a la salida del segundo filtro paso banda, tenemos un amplificador no inversor; el propósito de este amplificador formado por A3, es el de ajustar la ganancia de la señal dentro de un rango de  $\pm 5$  volts, esto se debe a que en un cierto tiempo la intensidad de la señal es mayor por la compensación lineal que se le da. La ganancia se ajusta con  $R_p$ , aquí la función de transferencia es [10]

$$\frac{e_{12}}{e_{11}} = \left(1 + \frac{R_p}{R_9}\right) \quad (2.34)$$

A la salida del amplificador no inversor mencionado, tenemos un limitador formado por  $R_{10}$  y un diodo de silicio; el propósito de este limitador es el de asegurar el buen funcionamiento del convertidor analógico/digital, el cual lo veremos después, puesto que dicho convertidor necesita ciertos límites para poder digitalizar una señal a su máxima capacidad, y si se excede de estos límites no funcionará adecuadamente. El funcionamiento es el siguiente: cuando la señal en  $e_{12}$ , es menor que 5.7 volts, el diodo no conduce y dicha señal será igual a  $e_{13}$ , puesto que la resistencia de la entrada no inversora en A4 (fig. 2.7) es muy grande comparada con  $R_{10}$ , pero al ser mayor que 5.7 volts la señal en  $e_{12}$ , el diodo conducirá -

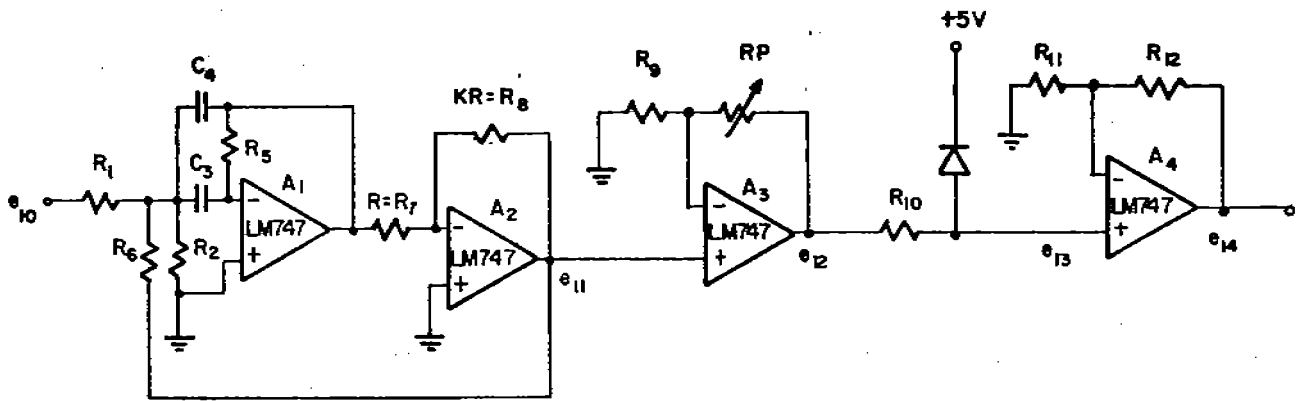


FIG. 2.7 Diagrama del segundo filtro paso banda con limitador y amplificación adicional.

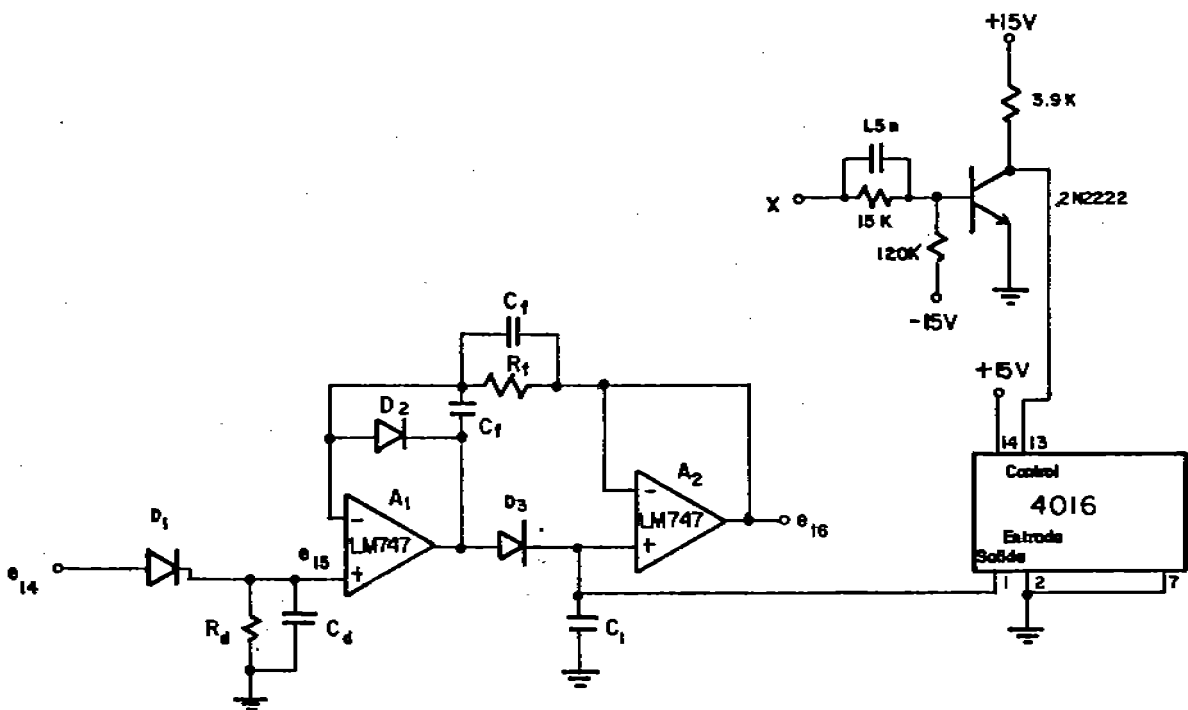


FIG. 2.8. Diagrama del detector de maximos y control del mismo.



y el voltaje en e13 será [11] ,

$$e_{13} = (e_{12} - 5.7) \frac{R_f}{R_{10} + R_f} + 5.7 \quad (2.35)$$

donde  $R_f$  es la resistencia de conducción del diodo (diodo de silicio). Si por ejemplo  $R_{10} = 15 \text{ K}\Omega$  y  $R_f = 400\Omega$  ,

$$e_{13} = (e_{12} - 5.7) (.026) + 5.7$$

Con lo cual e13 quedaría con un valor ligeramente más alto a 5.7 volts, por lo cual podemos considerar que el límite de este circuito es de 5.7 volts.

El amplificador no inversor formado por A4 en la figura 2.7 tiene por objeto ajustar el valor del límite visto en el párrafo anterior, para el funcionamiento adecuado del convertidor analógico/digital. La función de transferencia en esta parte es

$$e_{14}/e_{13} = \left(1 + \frac{R_{12}}{R_{11}}\right) \quad (2.36)$$

si por ejemplo  $R_{12} = 1\text{K}\Omega$  , y  $R_{11} = 3.3 \text{ K}\Omega$  , tendremos que  $e_{14} = 1.303 e_{13}$ ; con lo que el límite cambia a 7.43 volts, dicho de otra forma, cuando e14 sea igual a 7.43 volts, el convertidor analógico/digital de 8 bits de resolución, tendrá a su salida todos los bits puestos en uno, lo que equivale a un valor de 255 decimal.

#### 2.2.8 Detector de máximos.

Debido a que lo que interesa es la amplitud de la señal recibida, la cual nos da la información sobre la estructu-

ra de la temperatura en la atmósfera, tratamos de obtener la envolvente positiva de la señal para tomar muestras de la misma y digitalizar cada una de ellas, la envolvente la podemos -- obtener tomando los puntos máximos de la señal, para lo cual -- utilizamos un detector de máximos como el que se muestra en la figura 2.8, la siguiente explicación es con referencia a dicha figura: el diodo  $D_1$ , la resistencia  $R_d$  y el capacitor  $C_d$ , forman un rectificador de media onda, cuyo propósito es el de obtener el valor del pico de la señal, y hacen la función de un demodulador de amplitud de la siguiente manera: cuando  $e_{14}$  -- es mayor que  $e_{15}$ , el diodo  $D_1$  conduce, y la señal  $e_{15}$  en este caso es casi igual a la señal  $e_{14}$ , diferenciándose únicamente por la afección de la resistencia y la caída de voltaje en el diodo  $D_1$ , aquí decimos que  $e_{15}$  sigue a  $e_{14}$ ; pero cuando  $e_{14}$  se hace menor que  $e_{15}$ , el diodo no conduce, y el voltaje en  $e_{15}$  -- no varía instantáneamente, sino que el capacitor  $C_d$  se descarga en la resistencia  $R_d$ , produciéndose así una constante de -- tiempo de descarga del capacitor. Por ejemplo si  $R_d = 15 \text{ K}\Omega$  y  $C_d = .1 \mu\text{f}$ , la constante de tiempo es 1.5 milisegundos, que es el tiempo necesario para que la señal baje en una forma expo-- tencial a un 36.8% de su valor inicial.

Para tratar de evitar la caída de la señal por la -- constante de tiempo mencionada, utilizamos el detector de máximos. La configuración de  $A_1$  y  $A_2$  en la figura 2.8 es la del -- detector, y su funcionamiento es el siguiente: cuando  $e_{15}$  se -- hace mayor que  $e_{16}$ ,  $D_2$  y  $D_3$  conducen, y como la configuración de  $A_1$  es la de un seguidor de voltaje, el voltaje  $e_{15}$  se trans-- mite a la entrada no inversora de  $A_2$ , y como la configuración de  $A_2$  también es de un seguidor de voltaje,  $e_{16}$  es igual a  $e_{15}$ ; en el otro caso cuando  $e_{15}$  es menor que  $e_{16}$ ,  $D_2$  si conduce, su ministrando realimentación a  $A_1$ , para evitar que se sobrecar-- que, pero  $D_3$  no conduce, y como la entrada no inversora de  $A_2$  --

tiene una impedancia muy grande que evita que se descargue rápidamente el capacitor C1, la salida e16 mantiene el voltaje máximo que tuvo anteriormente e15, que es el voltaje del capacitor C1; Cf se requiere para estabilizar el anillo de retroalimentación, y evitar el sobre tiro en una señal escalonada de entrada [10].

Cuando se obtiene el valor máximo de la señal en cierto período de tiempo, y se requiere el valor máximo en otro, -- es necesario inicializar el detector de máximos antes de tomar el segundo máximo, esto se hace poniendo en corto el capacitor C1 mostrado en la figura 2.8, con lo cual e16 se hace igual a cero, que es el valor mínimo que puede proporcionar este detector; después de esto, al quitar el corto del capacitor, se puede iniciar otra detección

El circuito integrado 4016 es un conjunto de switches analógicos, de los cuales uno se encarga de controlar el corto en el capacitor C1, las patas 1 y 2 del integrado en la figura 2.8 lo forman, y el control de este switch esta situado en la pata 13. Cuando el control es igual a 15v, el switch esta cerrado, y como la pata 2 esta conectada a tierra, pone en corto el capacitor C1 y lo descarga, cuando el control es igual a 0 volts, el switch se abre quitando el corto del capacitor, con lo cual se empieza a detectar un máximo.

El transistor que actúa sobre el control mencionado en el párrafo anterior, es un translador de nivel, de 0 a + 15 volts, y de +5 a 0 volts [11], lo cual se hace porque la señal enviada por la microcomputadora (X), tiene niveles de 0-5 volts, y para el manejo de los switches analógicos, se requiere los niveles dichos anteriormente. Claro está, cuando la microcomputadora requiera obtener el nivel máximo en una muestra, primero inicializa al detector de máximos, después lo activa, y espera

un determinado tiempo para tomar la muestra.

Cuando se desea tomar muestras en períodos de tiempo más cortos que el período de la señal de operación, pudiera haber el problema de que se muestreara, la parte negativa de la señal, y el máximo sería en este caso una cantidad negativa, pero esto queda descartado por la acción del rectificador de media onda formado por  $D_1$ ,  $R_d$  y  $C_d$  explicados anteriormente.

#### 2.2.9 Convertidor analógico/digital.

Para que la señal que proviene del circuito detector de máximos pueda ser analizada por una microcomputadora, se requiere extraer muestras cada determinado tiempo, y que dichas muestras sean convertidas de analógicas a digitales, que es la forma que la microcomputadora entiende; esto se logra por medio del convertidor analógico/digital mostrado en la figura 2.9, el cual tiene las siguientes características; tiene 8 bits de resolución, polarizado con +5 volts y tierra, puede ser usado como convertidor analógico/digital o digital/analógico, contiene 8 switches que manejan un circuito especial de gran precisión formado por resistencias, tiene también una entrada de referencia de precisión de 2.5 volts, un contador binario de 8 bits que maneja a los switches y una entrada lógica para seleccionar los mismos. Su funcionamiento interno es el siguiente: cuando se inicializa el contador, por cada incremento que éste haga, habrá un aumento en la señal analógica de salida, es decir cuando el contador está en cero, la salida analógica estará en cero, y cuando el contador esté en 255, la salida analógica estará en 2.5 volts, por lo que podemos decir que existe una correspondencia entre cada combinación de salida del contador y la señal analógica, la cual es  $9.8 \text{ mili volts/número del contador}$  [24].

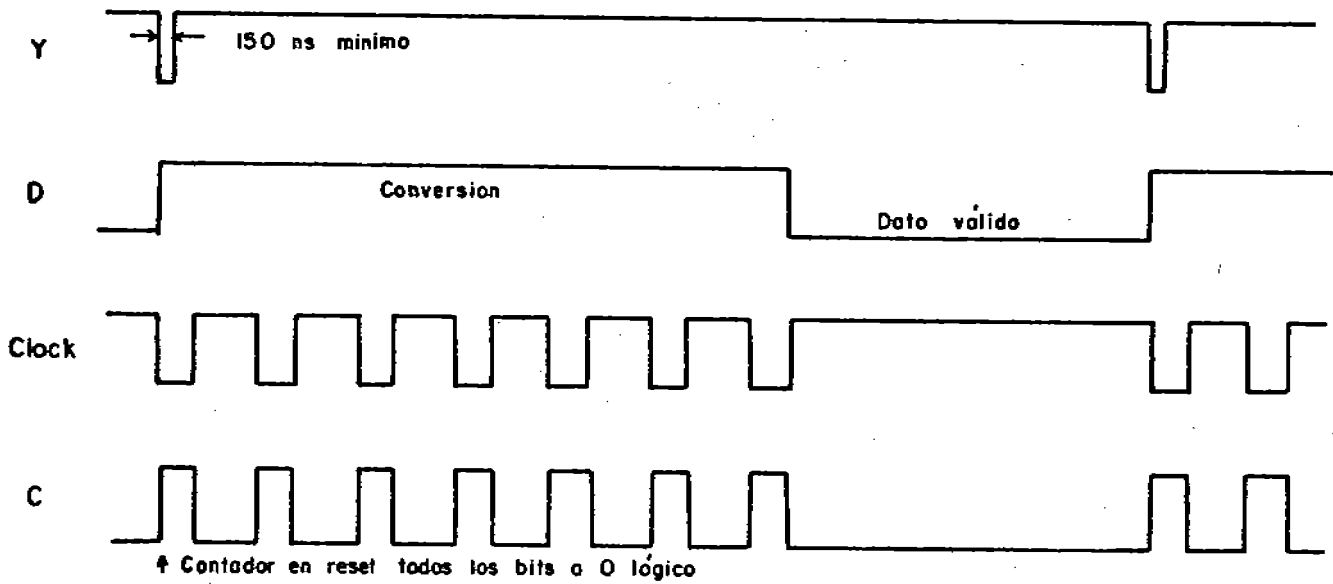
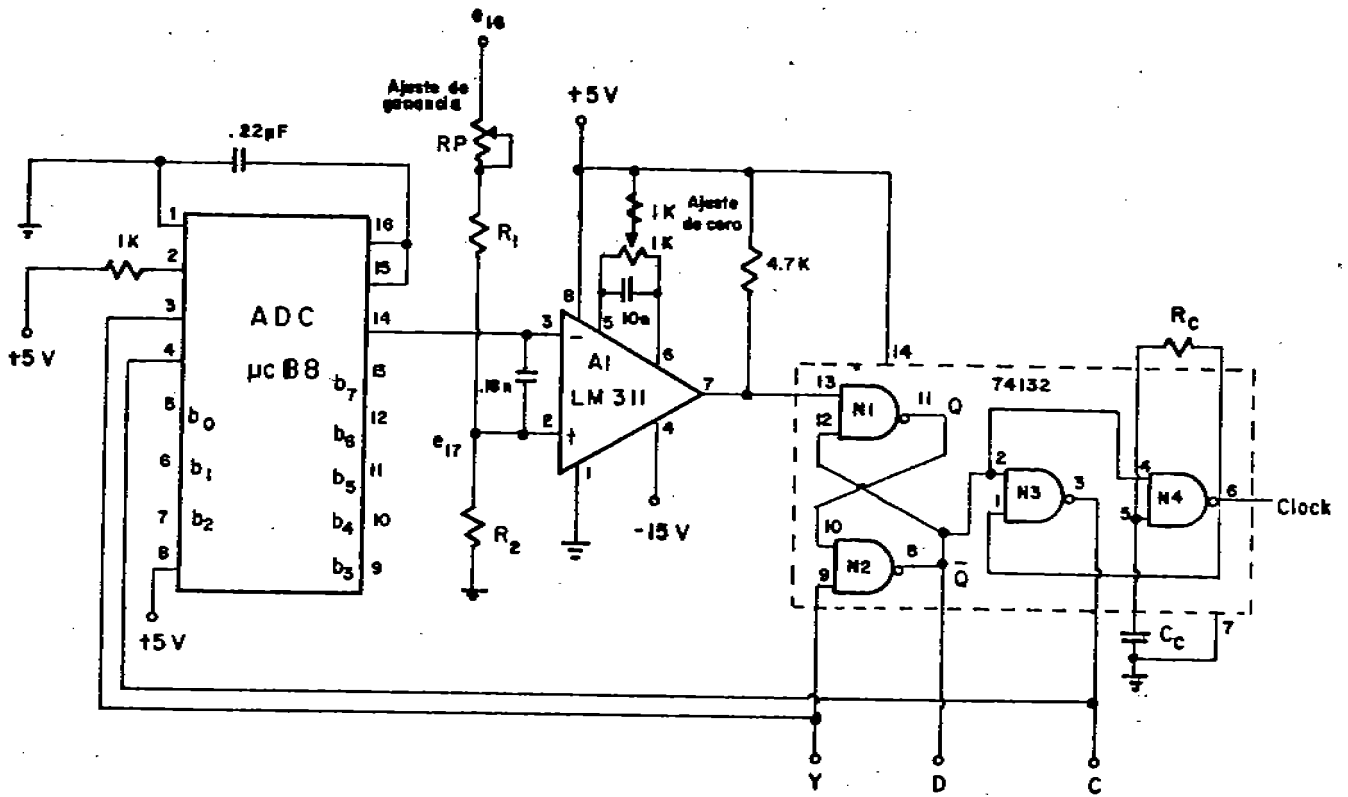


FIG. 2.9 Diagrama del convertidor analógico/digital y diagrama de tiempos

En la figura 2.9 observamos que la salida de la señal analógica y la señal e17 están conectadas a un comparador formado por un amplificador operacional. La señal e17 es la señal que proviene del detector de máximos (e16) pasada a través de un divisor de voltajes, lo cual se hace para ajustar los voltajes del convertidor y de e16, es decir, el máximo nivel de voltaje que pueda provenir de e16, se ajusta a 2.5 volts que es el máximo voltaje que se obtiene del convertidor analógico/digital, para que así le corresponda el número binario máximo que pueda proporcionar el contador del convertidor. La función de transferencia de los voltajes e17 y e16 es:

$$\frac{e_{17}}{e_{16}} = \frac{R_2}{R_2 + R_1 + R_P} \quad (2.37)$$

donde  $R_p$  es el potenciómetro de ajuste. Por ejemplo, si el nivel máximo de voltaje en e16 es igual a 7.7 volts,  $R_1 = 10K\Omega$  y  $R_2 = 18K\Omega$ ;  $R_p$  se ajustará a  $2.8K\Omega$ , para que el nivel máximo en e17 sea igual a 2.5 volts.

Interviene también en este convertidor como medida de control un circuito integrado, que contiene 4 compuertas NAND-Smith Trigger, donde de acuerdo a la figura 2.9, N1 y N2 se utilizan como un latch (una cerradura), y N3, N4 como un oscilador cuya oscilación depende de  $R_c$  y  $C_c$ ; para este caso, con  $R_c = 560\Omega$  y  $C_c = 2.2nF$  la frecuencia de oscilación es de 512 KHz, dicho oscilador es el contador del convertidor analógico/digital [24].

El funcionamiento del convertidor manejado por la microcomputadora es como sigue: la microcomputadora maneja la señal Y, y recibe la señal D; en el diagrama de tiempos de la figura 2.9 vemos que inicialmente Y es igual a uno lógico, la salida de N1 es igual a uno lógico y la salida de N2 (D) = cero --

lógico. El oscilador no funciona en este momento puesto que es controlado por la salida de N2.

Cuando se desea obtener una muestra, la microcomputadora pone en Y un cero lógico por un instante; en el cual se pone en cero el contador (se limpia), puesto que Y además de controlar el latch, esta conectada al clear del contador, también la salida de N1 cambia a cero lógico y la salida de N2 a uno lógico, con lo que se habilita el oscilador; enseguida, la microcomputadora pone un uno lógico en Y antes del primer ciclo del oscilador, para habilitar el latch, que es el que va a indicar cuando un dato está listo por medio de D (salida de N2). Si las señales en las entradas del comparador no son iguales, a la salida del mismo habrá un uno lógico, y un cero lógico en caso contrario. Continuando con la secuencia, si la salida analógica del convertidor es menor que e17, el contador se incrementa en un bit, aumentando consecuentemente la salida analógica del convertidor, estas comparaciones continúan hasta que las dos señales sean iguales, en cuyo caso la salida del comparador cambiará de uno a cero lógico, afectando las salidas del latch que amarrará la señal (aunque vuelva a cambiar la salida del comparador, las salidas del latch no se afectan), modificando así la salida de N1 a uno lógico y la salida de N2 a cero lógico, provocando que el oscilador se detenga, interrumpiendo de esta manera el avance del contador. La salida D indicará a la microcomputadora que el dato de 8 bits del convertidor es válido, con lo que la microcomputadora obtendrá el dato para iniciar otro ciclo de muestreo, dicho dato es proporcional al voltaje en e16 y está indicado como b0 a b7 en la figura 2.9, donde b0 es el bit menos significativo.

El potenciómetro de 1K $\Omega$  en el comparador, sirve para ajustar el valor mínimo de e17 que va a ser comparado en co - -

rrespondencia con el valor mínimo del convertidor analógico/digital. En este caso el valor mínimo es 0 volts.

Así con este convertidor analógico/digital, termina la etapa de hardware. Después que la microcomputadora recolecta los datos, se inicia la segunda etapa de este proyecto, que es la etapa de software, donde se analizan los datos obtenidos.



## CAPITULO 3

### ETAPA DE SOFTWARE

En el capítulo anterior vimos como la señal acústica recibida es convertida a señal eléctrica, procesada y finalmente convertida de señal analógica a digital, para ser alimentada a la microcomputadora en forma de muestras, cada determinado tiempo. En este capítulo veremos como dichas muestras son alimentadas a la microcomputadora y consecuentemente analizadas.

Las muestras obtenidas de la etapa anterior, pueden ser graficadas en Impresora o pantalla, en forma de coordenadas cartesianas (tiempo contra amplitud de la señal) o en forma tabular (valor de los datos). Se pueden obtener los valores estadísticos de los datos (desviación estandar, media aritmética, valor máximo y valor mínimo), y también se pueden grabar los datos desde o hacia cassette.

Primeramente veremos algunas características importantes de la microcomputadora que se usa en este proyecto, después la utilización de memoria, así como las características de los datos obtenidos; enseguida se verán los programas de aplicación en una interacción conjunta, y por último mostraremos cada uno de los programas con su debida explicación de acuerdo a la forma como se han dividido (programas de control, de ejecución, de tiempo real y auxiliares).

#### 3.1 Características de la Microcomputadora.

La microcomputadora que utilizamos, es el modelo TRS-80 que utiliza un microprocesador Z-80, las características que a continuación mencionamos están dadas en una forma muy generalizada, dando énfasis a los datos que más nos interesan en este proyecto; primero hablaremos sobre el microprocesador Z-80 [15] enseguida sobre las características de la microcomputadora en general.

### 3.1.1 Arquitectura del Microprocesador.

La arquitectura del microprocesador Z-80 la mostramos en la figura 3.1, de la cual podemos decir que 13 señales del sistema de control y CPU (Unidad Central de Procesamiento) son enviadas o generadas en la decodificación de las instrucciones, y la porción de control de CPU del microprocesador. El bus de datos tiene 8 bits de ancho y es la trayectoria de todos los datos que son transferidos entre la memoria externa, los dispositivos de entrada/salida y los registros del CPU. El bus de direccionamiento tiene 16 bits de ancho y normalmente especifica una dirección de memoria externa, de 0 a 65535 (0 a 64 Kbytes-1).

Debido a que el Z-80 tiene bien complementadas las instrucciones de entrada/salida, podría no requerirse el mapeo de memoria para ellas (en el mapeo de memoria, una porción del direccionamiento, debe estar dedicado a los dispositivos de entrada/salida). La trayectoria principal de los datos dentro del CPU, es un bus interno, el cual conecta los registros del CPU, la unidad aritmética/lógica, el control del bus de datos, y el registro de la instrucción. La unidad aritmética/lógica realiza la adición, la substracción, funciones lógicas de AND, OR y OR exclusivo, y las operaciones de cambio (shift) entre dos operandos de 8 bits. Adicionalmente, en este procesador se pueden realizar operaciones en código decimal manejado en binario (BCD), bajo el control de una instrucción de ajuste decimal en el acumulador.

Los registros de Z-80 constan de 14 bytes (1 byte=8 bits) de propósito general, designados A, B, C, D, E, H y L, y A', B', C', D', E', H', y L'. Únicamente un conjunto de 7 registros y su correspondiente registro de banderas F o F', pueden ser activados en un determinado momento.

Existen también otros registros de 16 bits de propósito especial en el CPU, que están disponibles al programador, és-

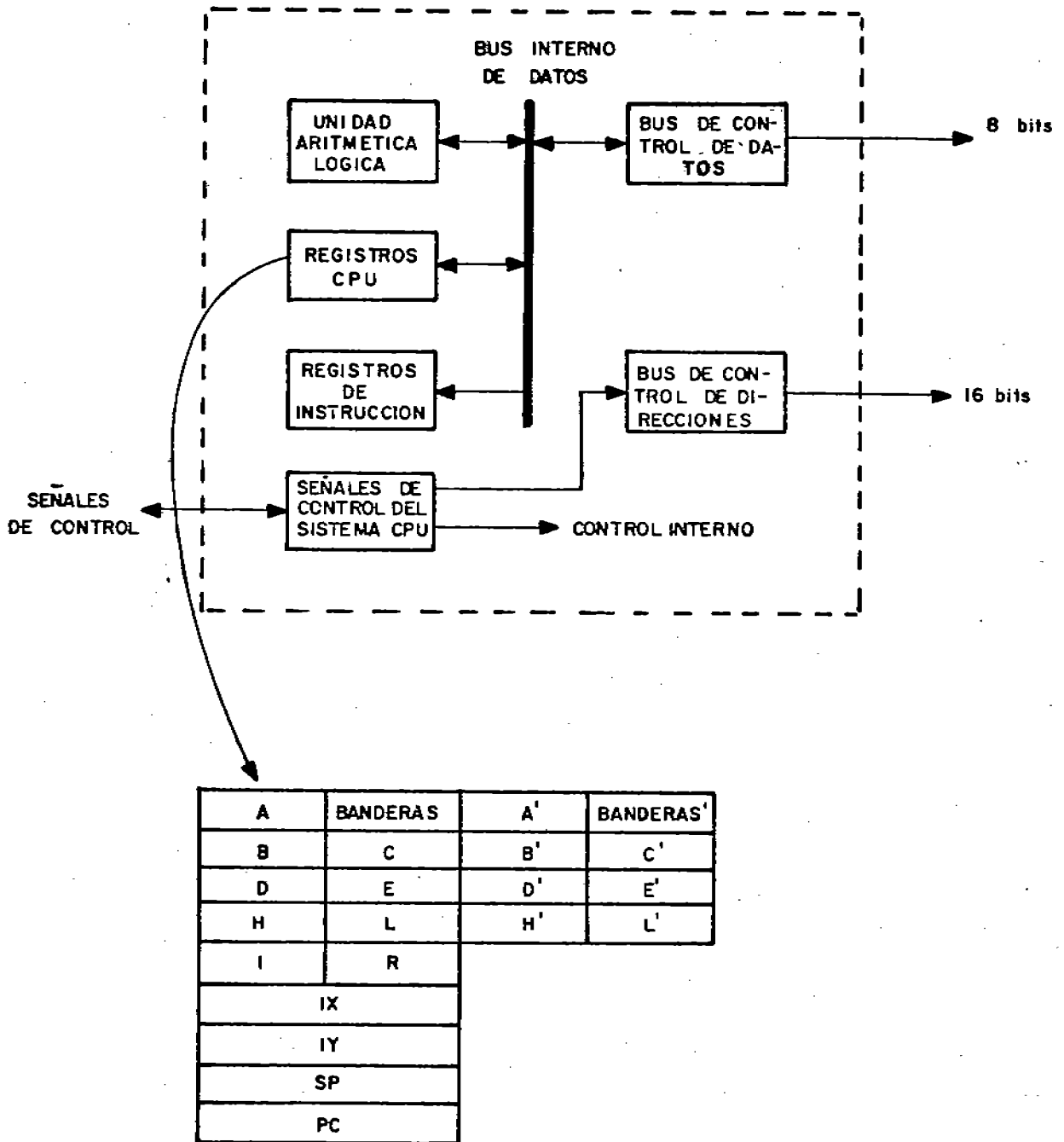


FIG. 3.1 Arquitectura del microprocesador Z-80

tos son: SP (apuntador de stack), PC (contador de programa), IX, - IY, (registros indicadores o de índice) y 2 registros de 8 bits, tam- bién de propósito especial los cuales son: I (registro de inte- rrupciones o vector de interrupciones) y R (registro de refresco) [15].

El reloj del microprocesador es el que determina con -- que rapidez se efectúan las operaciones (de acuerdo al número de ciclos que requiera la operación). En este caso, el microproce- sador que usamos utiliza un reloj, con una frecuencia 1.7736 MHz., que proviene de un oscilador de frecuencia, más alta, del cual se obtienen otras que se utilizan para la operación de dispositivos de entrada/salida. El microprocesador en sí no constituye el -- sistema de computo, sino que necesita de otros dispositivos ta- les como memoria externa, controladores de entrada/salida y un - panel lógico de control (opcional). En la figura 3.2 podemos -- ver las partes componentes de un típico sistema Z-80.

Las señales de control se pasan entre el CPU y memoria- externa, la dirección de memoria pasa a través del bus de 16 - - bits, y los datos pasan a través del bus de 8 bits. La memoria- externa puede ser cualquier combinación de los muchos tipos de - memorias disponibles actualmente, los cuales pueden ser: RAM - - (Random Access Memory), que es una memoria hecha con elementos - de semiconductor, donde se puede leer y escribir; la ROM (Read - Only Memory), es una memoria de cierto tipo de producción, que pue- de contener programas, datos o ambos, los cuales pueden ser lef- dos pero no alterados; PROM (Programmable Read Only Memory), que puede ser programada con equipo no muy costoso, pero no puede -- ser alterada una vez que se haya programado; EPROM (Erasable Pro- gramable Read Only Memory) la cual puede ser programada para la - operación de leer solamente, pero puede ser borrada periodicamen- te mediante luz ultravioleta, y otro tipo menos usado es le WOM- (Write Only Memory), en la cual se puede escribir pero no leer.

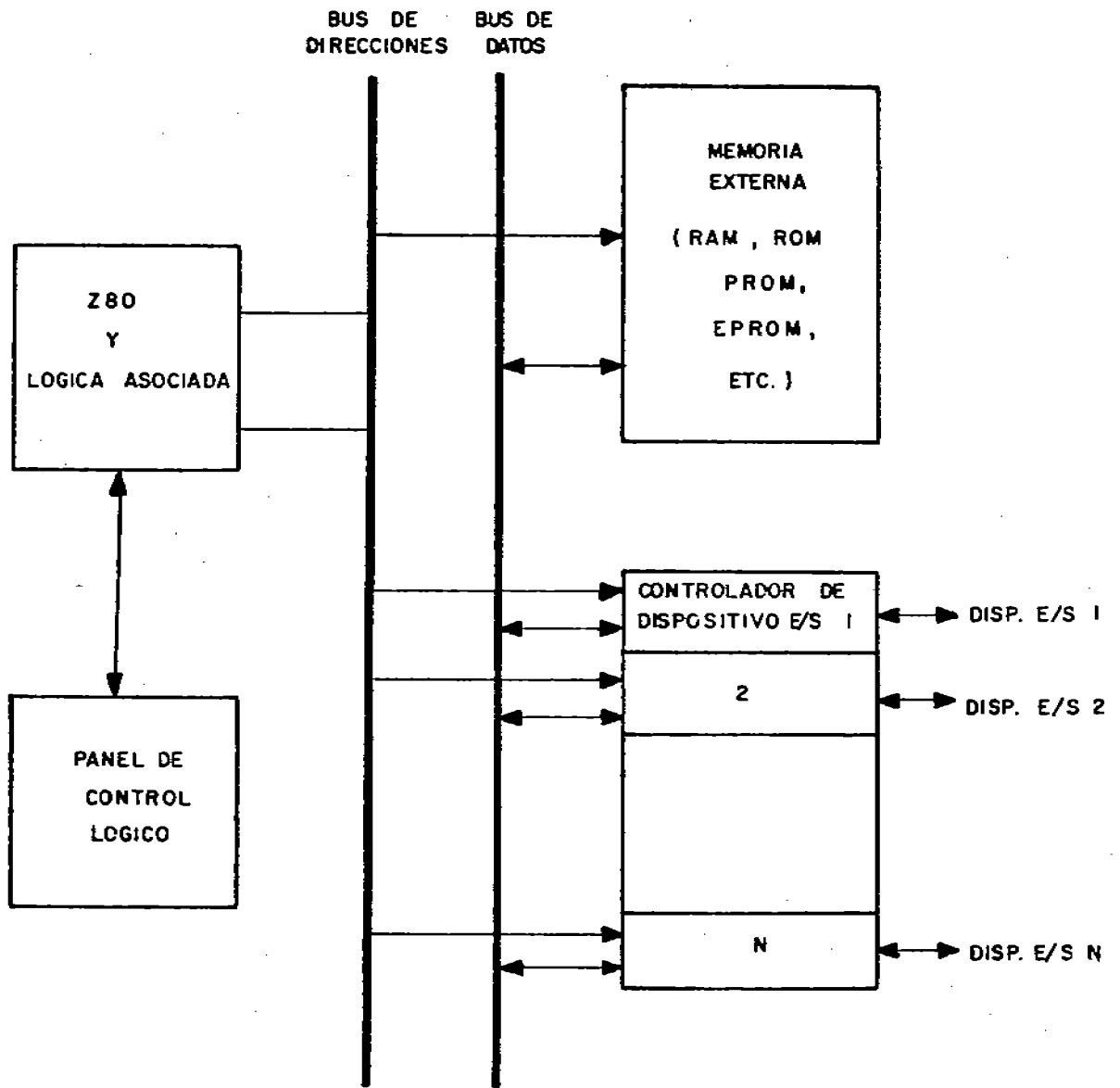


FIG. 3.2 Componentes de la microcomputadora Z80

El microprocesador Z-80 y la interfase de circuiteria - del CPU asociada, utilizan los controladores de entrada/salida - para comunicarse con la memoria externa. El dispositivo controlador de entrada/salida realiza varias funciones, entre las cuales tenemos:

- El control del buffer de los datos que pasan entre los registros del CPU o de la memoria externa y los dispositivos de entrada/salida. Este control sincroniza la gran velocidad de transferencia del CPU y la velocidad relativamente baja de los dispositivos de entrada/salida.
- Formateo de datos. Donde se puede convertir datos en forma seriada a forma en paralelo o viceversa.
- Conversión de nivel. Para pasar del nivel TTL (0-5 volts) a otro nivel, por ejemplo para manejar la graficadora.
- Control de tiempo. El cual sincroniza señales en la transmisión y en la recepción, controla también el hand shaking (protocolo entre señales que se localizan en el bus de entrada/salida).

El panel de control efectúa las mismas funciones que un programa monitor, esto es, permite al usuario ver las localidades de memoria, cambia el contenido de las localidades en la misma, modifica registros, carga y guarda programas en dispositivos de entrada/salida. De esta manera podemos decir que para ejecutar programas se requiere únicamente del CPU, de la memoria y -- del panel de control [15].

### 3.1.2 Sistema TRS-80.

El sistema consta de una tablilla que contiene una microcomputadora con el microprocesador Z-80 encerrados dentro de un gabinete, y tiene un teclado de 53 caracteres, manejados en código ASCII.-

Contiene también un monitor de 12 pulgadas (pantalla) que se usa como mostrador de video, donde pueden ser mostradas 16 líneas de 64 caracteres, así como también el movimiento ascendente de las líneas o del texto automáticamente. Adicionalmente es provista de una cierta capacidad de graficación, de 128 elementos horizontales y 48 elementos verticales. Se tiene también una grabadora de cassettes para almacenamiento secundario, y la relación de transferencia en la misma es de 500 baudios (bits/segundo).

La memoria en el sistema TRS-80 es de 12 Kbytes de ROM y 20 Kbytes de RAM dinámica. El ROM está dedicado al intérprete de basic, rutinas rastreadoras de teclado, y manejadores para el mostrador de video y de cassette. De los 20 Kbytes de RAM, poco más de 4 bytes se utilizan para controlar los dispositivos de entrada salida, los restantes casi 16 Kbytes se pueden utilizar para programas en basic, programas en el lenguaje de máquina o para datos; esto último se puede observar más claramente en el apéndice, mediante el mapa de la memoria. Este sistema, puede ser expandido hasta 62 Kbytes de memoria adicional.

Aunque el sistema incluye todo el cableado y conexiones para el display de video y grabadora de cassettes, los dispositivos de entrada/salida adicionales pueden ser incluidos por medio de un conector externo de 40 terminales que se encuentra en la parte trasera del gabinete. En dicho conector están disponibles el bus de direccionamiento del Z-80, bus de datos, señales de entrada/salida, escritura, lectura, interrupciones y reconocimiento de interrupciones, impresora, discos, unidades de entrada/salida en serie y modems, que son algunos de los periféricos disponibles.

El sistema TRS-80 que se encuentra en el laboratorio RAM SES-IIMAS-UNAM, está integrado con una impresora y una serie de puertos de entrada/salida de 8 bits en paralelo.

Software del sistema TRS-80.- La versión de basic del sistema TRS-80 incluye aritmética de punto flotante, manipulación numérica de arreglos y de cadenas de caracteres, también comandos para graficar en vídeo y comandos para grabar hacia o desde cassette, y los fundamentales para los programas en basic [12]; Tiene además editores, ensambladores y sistemas operativos de discos (esto último no está implantado en la microcomputadora utilizada) [15].

### 3.1.3 Memoria.

Como mencionamos anteriormente, el sistema TRS-80 tiene 16 Kbytes para los programas en basic. programas en lenguaje de máquina, y los datos del muestreo. Aquí veremos la utilización de la memoria para almacenar los programas y los datos [12].

La figura 3.3, nos muestra la memoria utilizada para guardar los datos, y la utilizada para almacenar los programas que manejan y analizan dichos datos, cada posición consta de 1-byte. De acuerdo a dicha figura, vemos que los programas en basic son almacenados de la posición 17129 a la posición 30264, en este rango se almacena el texto del programa, variables, arreglos espacio para cadenas de caracteres, stack y memoria que utilizan los programas en basic, los cuales veremos más adelante; existen también 6 programas en lenguaje de máquina que realizan el muestreo, obtienen el valor máximo y mínimo del mismo, graban los datos desde o hacia cassette y sirven como auxiliares para aumentar la velocidad de ejecución; dichos programas se almacenan de la posición 32390 a la posición 32749.

En la memoria se almacenan 2000 datos (muestras) a partir de la posición 30390, por lo que el último dato queda en la-



Dirección  
 Decimal    Hexadecimal

Decimal	Hexadecimal			
0	0000			
			<b>MONITOR</b>	
17128	42E8		Texto de programación, variables, arreglos, programas en basic, stack y espacio para cadenas y caracteres.	
17129	42E9			
30364	769C			
30365	769D	JP-25	Indicador de control	} = 45 hay datos grabados = 41 hay datos no grabados ≠ 45 ≠ 41 no hay datos
			Año (7 primeros bits) Mes (último bit Msb)	
			Mes (3 primeros bits Lsb) Día (5 últimos bits)	
			Hora	
			Minutos	
30370	76A2	JP-20	LSB	} Número proporcional al tiempo de duración de la señal sonora
30371	76A3		MSB	
			Ventana de muestreo	
			Temperatura (°C + 73)	
			LSB	} Media aritmética
30375	76A7	JP-15	MSB siguiente	
			MSB	
			Valor del exponente	
			LSB	} Desviación standard
30380	76AC	JP-10	MSB siguiente	
			MSB	
			Valor del exponente	
			Valor mínimo	} Dirección del valor mínimo
			LSB	
			MSB	
30385	76B1	JP-5	Valor máximo	} Dirección del valor máximo
			LSB	
			MSB	
30389	76B5	JP-1	LSB	} Número de datos = 2000
30390	76B6	JP	MSB	
			2000 datos (muestras)	
32389	7E85		Subrutina de muestreo	
32390	7E87			
32539	7F1B		Subrutina valores maxmin	
32540	7F1C			
32599	7F57		Subrutina suma 125 datos	
32600	7F58			
32627	7F73		Subrutina graba de memoria a cassette	
32628	7F74			
32656	7F92		Subrutina graba de cassette a memoria	
32659	7F93			
32689	7FB1		Subrutina checa datos grabados	
32690	7FB2			
32732	7FDC		Terminan subrutinas	
32767	7FFF		Termina memoria	

FIG. 3.3 Mapa de memoria

posición 32389, todos los datos son números positivos y cada uno ocupa 1 byte por lo que el rango de su valor está comprendido entre 0 y 255 (decimal). Los datos tienen un encabezado, el cual contiene una información muy completa sobre los mismos, este encabezado está situado inmediatamente antes de los datos, consta de 25 bytes y toma un papel muy importante en la ejecución de los programas mencionados anteriormente, ya que esta área de memoria es accesada por casi todos los programas y sirve de comunicación entre ellos.

Al grabar los datos a cassette, se hace con los últimos 24 bytes del encabezado. El primer byte no se graba porque se utiliza como control entre programas.

El área de encabezado se puede observar en la figura 3.3 y el significado de los bytes es el siguiente: el primer byte (localidad 30365), es el de control, que nos indica lo siguiente; si es igual a 41, indica que si existen datos en memoria, y que aún no han sido grabados a cassette, si el byte es igual a 45, indica que si existen datos en memoria, y que ya han sido grabados a cassette, y si contiene cualquier otro valor, indica que no existen datos en memoria.

Los siguientes 4 bytes (30366 -30369) indican la fecha y hora en que fueron tomados los datos de la siguiente manera: los primeros 7 bits del primer byte indican el año (0-99), el último bit del mismo y los 3 primeros bits del segundo byte indican el mes (1-12), los últimos 5 bits del segundo byte indican el día (1-31), el tercer byte indica la hora (0-23) y el cuarto los minutos (0-59).

Los siguientes dos bytes (posiciones 30370 y 30371), almacenan un número que es proporcional al tiempo que dura el sonido que es lanzado a la atmósfera, esto es importante, porque como -

vimos en el capítulo anterior, se puede variar la duración de dicho tiempo; el primer byte es el menos significativo y el segundo el más significativo (de acuerdo a como el intérprete de basic almacena las variables enteras).

El siguiente byte (30372) almacena la ventana de muestreo en la cual se tomaron los datos, ya que la duración del muestreo dura 1 segundo y se pueden realizar muestreos desde el primero al quinto segundo.

El siguiente byte (30373) almacena una cantidad que es proporcional a la temperatura que había cuando se realizó el muestreo, esto se hace para estimar la velocidad del sonido, ya que dicha velocidad varía con la temperatura ( $T^{\circ}\text{C} = \text{valor almacenado} + 73$ ).

En los siguientes 4 bytes (30374-30377), se almacena la media aritmética de los datos, de acuerdo a como se almacenan las variables reales de precisión simple en basic es decir, el primer byte es el menos significativo, el segundo es más significativo que el anterior, el siguiente es el más significativo, y el cuarto byte es el valor del exponente. De la misma forma en los siguientes 4 bytes (30378-30381) se almacena la desviación estándar de los datos.

En el siguiente byte (30382) se almacena el primer valor mínimo de la lista de datos, y la dirección de éste se guarda en los siguientes dos bytes (30383-30384), poniendo en primer lugar el menos significativo y enseguida el más significativo; de la misma forma en los tres siguientes bytes se almacena el primer valor máximo de la lista y su dirección (30385-30387). Al final del encabezado se almacena el número de datos que contiene la lista (30388-30389), guardando primeramente el byte menos

significativo, y después el más significativo.

El encabezado es un resumen de la lista de datos y nos permite diferenciar entre los datos de un muestreo y los de otro diferente.

### 3.2 Programas.

En esta parte veremos los programas que en conjunto recolectan, controlan, analizan, grafican y graban los datos obtenidos [12].

Tabla de variables:

Primera letra de la variable	Tipo de variable	No. de bytes en memorias
B, H, I, J, K, L, M, N, T, X, Y,	entera	2
	real, precisión simple	4
A, E, F,	cadena alfanumérica	No. de caracteres + 3

Significado de las variables:

Enteras.- Variables auxiliares utilizadas como valores temporales, como variables de conteo en un FOR-LOOP. I1, I2, I3, K1, L1, L2, L3, L4, L5, IA, IM, IO, IN, I4, I5, I6, variables utilizadas para el control de impresión de letreros, control de impresión del margen de los mismos, B1, B2, H1, IE.

HA almacena el año en que fueron tomados los datos,  
HM almacena el mes,  
HD almacena el día,

HO almacena la hora,  
HN almacena los minutos  
JP contiene la dirección inicial de la tabla de datos,  
LI, LS indican respectivamente, desde cual y hasta cual dato, se hace un proceso,  
MA, MI almacenan los primeros valores máximo y mínimo respectivamente de la lista de datos,  
MD, almacena la diferencia MA-MI,  
NI generalmente almacena el número de datos que se van a procesar.

Variables reales de precisión simple.

Tx, TB se utilizan para guardar valores en forma temporal, casi siempre con referencias al tiempo,  
TI, TA indican los tiempos en que se toman los datos con los cuales se inicia y se termina un proceso respectivamente,  
TD es la diferencia TA-TI,  
TO indica el tiempo que tarda la transmisión de la señal sonora,  
TE almacena la velocidad del sonido,  
XR almacena el valor del intervalo de muestreo  
XM, XD almacenan la media aritmética y la desviación estándar de la lista de datos,  
X, Y almacenan las abscisas y ordenadas respectivamente para la graficación de datos en pantalla,  
Y1 almacena valor temporal para graficación en impresora,  
YI, YA almacenan los límites inferiores y superiores respectivamente para la graficación de datos en impresora.

Cadenas alfanuméricas.

A1 generalmente almacena caracteres que identifican los diferentes procesos,  
E1, E2 almacenan caracteres que se van a mostrar en graficadora o en pantalla.  
A2, A3 almacenan caracteres en forma temporal.

F arreglo alfanumérico que almacena los nombres de los meses - para graficación, o almacena los apuntadores de los archivos - en el manejo del directorio.

El intérprete de basic en el sistema TRS-80, maneja las variables en una forma global, y por lo tanto si algún proceso - cambia el valor de alguna variable, dicho cambio se hará para to dos los procesos en general, es decir, los parámetros entre módu los o procesos se pasan por referencia (valor de la dirección -- del dato en memoria).

Los programas de control son los que están en contacto con el usuario, los cuales muestran las opciones que puede utili zar para manejar los programas de ejecución, de tiempo real y -- las cintas. Los programas de ejecución son aquellos que hacen - el análisis estadístico de los datos obtenidos, pueden graficarlos mostrarlos en tablas, por medio de pantalla o impresora, y - graban los datos obtenidos desde o hacia cassette. Los programas - de tiempo real son los que relacionan la etapa de hardware con la etapa de software, manejando el inicio de un muestreo y contro-- lando la obtención de los datos; los programas auxiliares se -- utilizan para evitar duplicidad de código o para aumentar la rapi-- dez de ejecución. Por último, las cintas se utilizan como unida des de almacenamiento de los datos.

La comunicación entre módulos o procesos puede ser de dos formas; una mediante el uso de memoria compartida, constituida - por el encabezado de los datos (explicada anteriormente), la otra se hace por medio de variables que se pasan como parámetros de refe-- rencia entre los procesos.

La figura 3.4, muestra los módulos que integran la pro-- gramación de la etapa de software, en forma de diagrama jerárqui-- co, en donde cada bloque constituye un proceso. En la parte me--

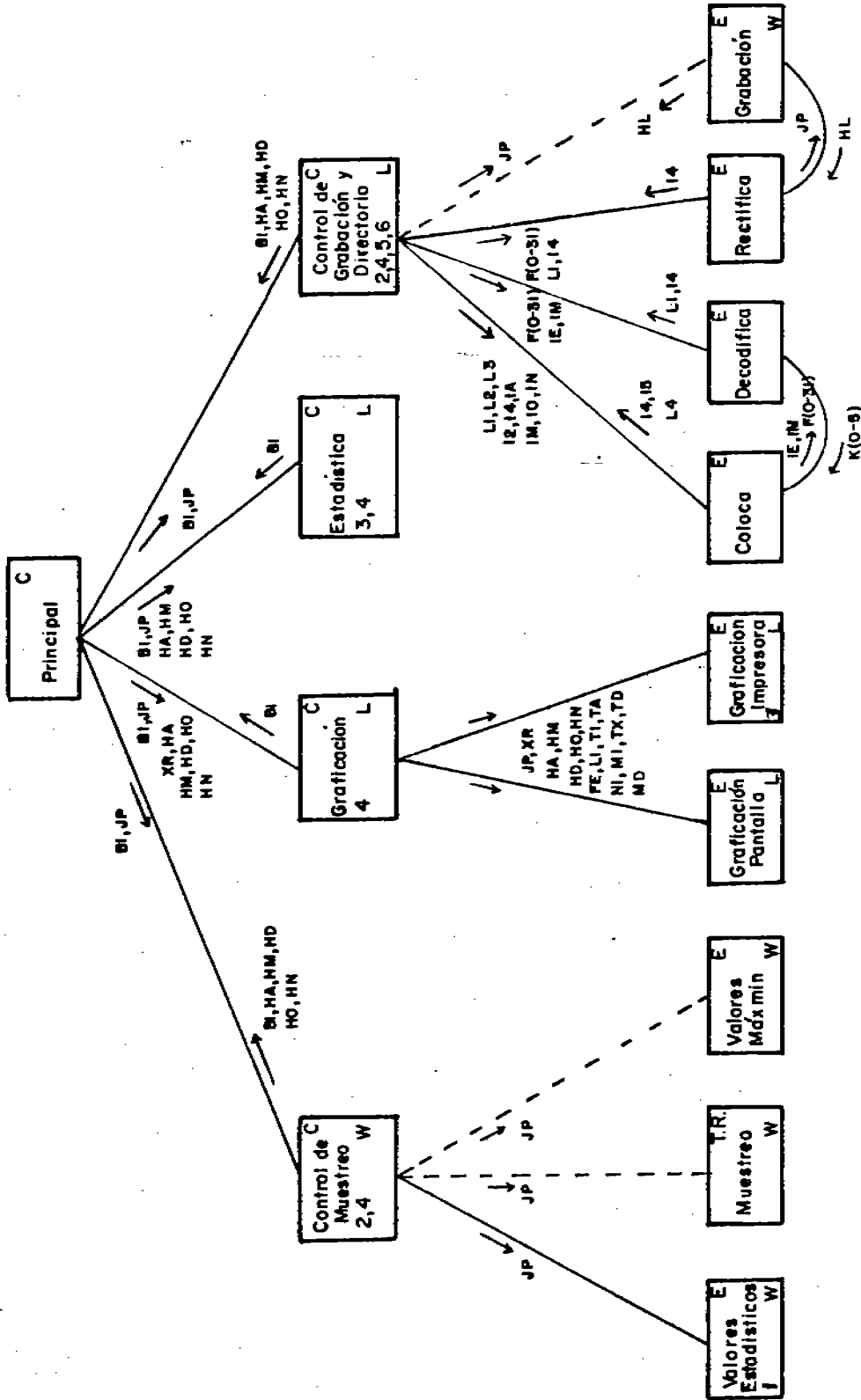


FIG. 3-4 Diagrama Jerárquico de los programas y comunicación entre procesos

dia del bloque está el nombre del proceso, en la esquina superior derecha está indicado el tipo de proceso (control, ejecución, tiempo real, auxiliar); en la esquina inferior derecha está indicado si el proceso escribe sobre el encabezado de los datos (memoria compartida) o los toma de ahí (W=escribe, L=lee), en la esquina inferior izquierda se indica cuáles programas auxiliares son utilizados por dicho proceso, los programas auxiliares están representados a la derecha del diagrama de la figura mencionada.

Las llamadas entre los módulos se hacen en orden descendente dentro del diagrama jerárquico; a los módulos que llega una línea punteada, están hechos en lenguaje de máquina, los cuales han sido ensamblados anteriormente [15]. Los demás programas están en basic [12]. Las flechas que salen de cada módulo indican la dirección como son pasadas las variables. El número de niveles del diagrama jerárquico es de 4, y la programación es estructurada.

A continuación veremos con más detalle los programas en el siguiente orden: Programas de control (principal, muestreo, graficación, estadística, grabación y directorio), de ejecución (graficación, pantalla, graficación impresora, valores estadísticos, valores max min, coloca, decodifica rectifica, grabación), de tiempo real (muestreo) y programas auxiliares (adornos, estadística, fecha y hora, suma 125 datos, letrero, busca, inicio).

### 3.2.1 Programas de Control

Programa principal.- Este es el programa de entrada, que despliega en la pantalla todo lo que la etapa de software puede realizar, es decir, se puede muestrear, graficar, obtener datos estadísticos y grabar datos. El usuario puede escoger cualquiera de estas cuatro opciones, y el programa se encarga de llamar a la subrutina correspondiente; claro está que para obtener datos estadísticos o graficar datos, primeramente se necesita haber tomado - -



muestras, o haber grabado los datos de un muestreo anterior. - -  
En la figura 3.5 se muestra el diagrama de flujo de este programa y el programa P.1 es la implementación en basic.

Programa de control del muestreo.- Este programa es el que inicia el muestreo propiamente; primero obtiene los datos necesarios para efectuarlo, datos tales como la ventana de muestreo (en cual segundo del 1 al 5 se desea realizar el muestreo), número de datos que se van a tomar, temperatura ambiental, y la fecha y hora en que se realiza, esto último lo hace mediante un programa auxiliar. Los datos que mencionamos son puestos en el encabezado, de acuerdo a la figura 3.3, después de esto, el programa llama a la subrutina que realiza el muestreo en tiempo real, lanzándose así la señal sonora y obteniéndose las muestras de acuerdo a la ventana de muestreo, después se obtiene los valores mínimo y máximo de los datos muestreados, por medio de un programa auxiliar, enseguida llama a la subrutina de valores estadísticos para obtener la media aritmética y la desviación estándar de los datos, y por último pone en el encabezado (en la primera posición) el número que indica que ya existen datos del muestreo en memoria. En la figura 3.6 se muestra el diagrama de flujo de este programa. El programa P.2 es la implementación en basic.

Programa de control de graficación.- este es el programa de entrada para graficar los datos, ya sea en pantalla o en impresora, en coordenadas cartesianas o en forma de lista.

Primeramente el programa ve si existen datos en memoria, fijándose en la primera posición del encabezado de los datos (ver figura 3.3), en caso de haberlos, ya sea porque se efectuó un muestreo o porque se grabaron de cassette, el programa continúa su curso, en el caso contrario pone un letrero que indica que no existen datos y termina su ejecución. Si ocurrió el primer caso el programa despliega en pantalla las opciones que tiene el usua-

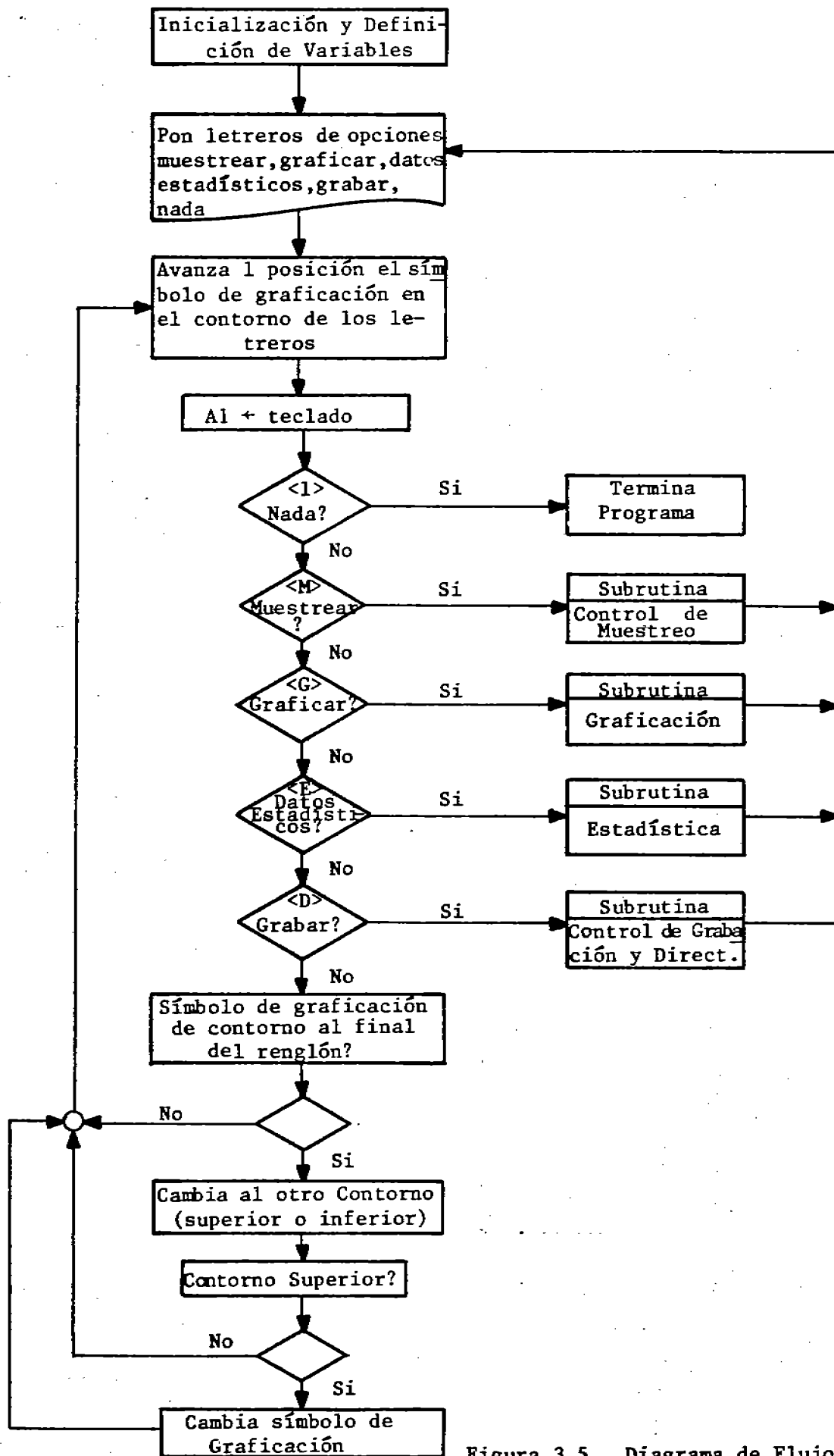


Figura 3.5 . Diagrama de Flujo del Programa Principal

```

104      *Programa Principal
106 CLEAR 410: DEFINT B,H,I,J,K,L,M,N: DEFSNG T,X,Y
108 DEFSTR A,E,F: DIM F(63): DIM K(5)
110 OUT 2,2: B1=0: B2=0: H1=256: JP=30390: XR=.5
112 E1="####":E2=" >><ENTER>":E3="EXISTE ERROR":E4="NO HAY DATOS"
114 IF A1="/" CLS: END ELSE IF B1 <> 0 THEN 124
118 CLS: PRINT @320,"QUE DESEAS?: ! MUESTREAR <M>, GRAFICAR <G>,"
120 PRINT TAB(13)"! OBTENER DATOS ESTADISTICOS <E>,"
122 PRINT TAB(13)"! GRABAR DATOS <D>, NADA </>": B1=1
124 FOR I1=H1 TO H1+61
126     IF B2 < 2 THEN PRINT @I1,"-->"; ELSE PRINT @I1," >";
128     A1=INKEY$: IF A1="/" THEN 144 ELSE IF A1="M" GOSUB 150
130     IF A1="G" GOSUB 300 ELSE IF A1="E" GOSUB 650
132     IF A1="D" GOSUB 770
138 NEXT I1: IF B2<2 THEN PRINT @H1+63,"-"; ELSE PRINT @H1+63," ";
140 IF H1=256 THEN H1=512 ELSE H1=256
142 B2=B2+1: IF B2=4 THEN B2=0
144 GOTO 114

```

Programa P.1 Programa Principal.

```

148      *Programa de Control del Muestreo
150 B1=0: CLS: L1=320: L2=704:GOSUB 800
158 PRINT @448,::INPUT"TEMPERATURA <GRADOS CENTIGRADOS>":I2:POKE JP-17,I2+73
162 PRINT @448,::INPUT"VENTANA DE MUESTREO <1 A 5 SEGUNDOS>":I2
164 IF (I2-1)*(I2-5) > 0 THEN 162 ELSE POKE JP-18,I2
166 PRINT @384,"SEGUNDO "I2-1" AL SEGUNDO "I2"<<<"
168 POKE JP-1,7:POKE JP-2,208:POKE 16526,135: POKE 16527,126:I2=USR(JP)
170 IF I2=0 PRINT E3+E2:INPUT I2: POKE JP-25,0: GOTO 174
172 GOSUB 1015: GOSUB 200: POKE JP-25,41
174 RETURN

```

Programa P.2 Programa de Control del Muestreo.

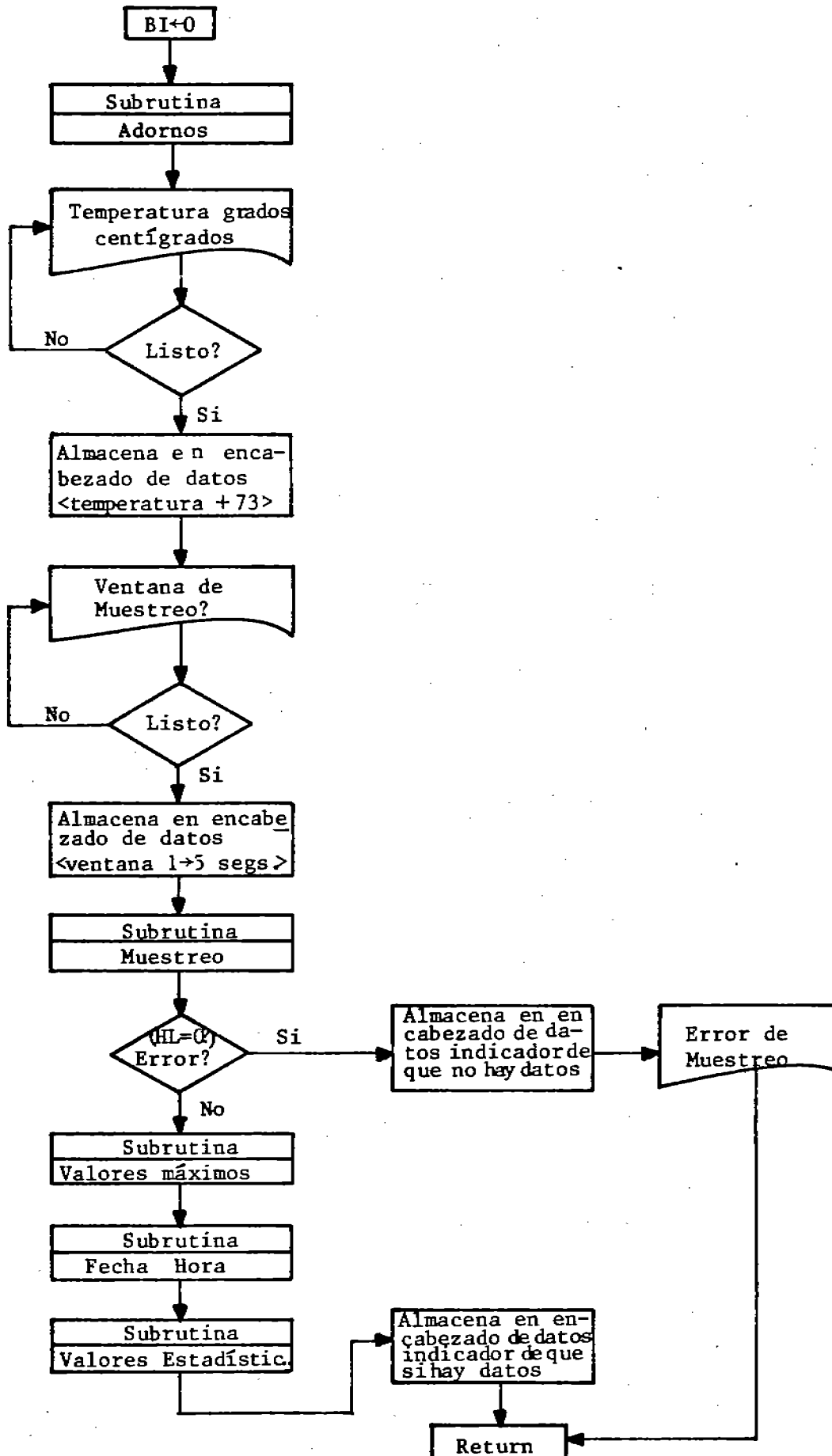


Figura 3.6 . Diagrama de Flujo del programa de Control de Muestreo

rio, el cual puede elegir desde cual y hasta cual dato se desea graficar, y el intervalo para tomarlos, también elige si desea graficar en pantalla o en impresora, en forma de lista o en forma de coordenadas cartesianas.

Además, el programa obtiene del encabezado los valores máximo y mínimo de los datos, así como también tiempo correspondiente en que fueron tomados; de esta forma el usuario puede hacer la graficación mas flexible, donde puede cambiar los límites de graficación si desea verla con más detalle o si desea observar solo una parte de los datos tomados, solo necesita variar los límites mínimo y máximo de graficación.

Así pues de acuerdo a los datos aportados por el usuario, este programa llama a los programas de graficación en pantalla o graficación en impresora, pasándoles algunas variables como parámetros.

El tiempo en que se toma cada dato se obtiene fácilmente, ya que son tomados con una diferencia de tiempo que es fija; así, sabiendo la ventana del muestreo (que esta en el encabezado) y conociendo el número de dato, se puede sacar fácilmente el tiempo en que es tomado, únicamente multiplicando el número de dato por el tiempo que existe entre uno y otro en el momento de muestreo, y agregándole el tiempo que se tardó en empezar a tomarlos (ventana de muestreo + tiempo de duración de la señal sonora). El tiempo que tarda la señal sonora en ser lanzada se puede ver con mas detalle en el programa de muestreo en tiempo real. En la figura 3.7 se muestra el diagrama de flujo de este programa. El Programa P.3 es su implementación en basic.

Programa de control de estadística.- Este programa muestra los datos estadísticos de las muestras existentes en memoria. Primeramente ve si existen datos en memoria, y si no

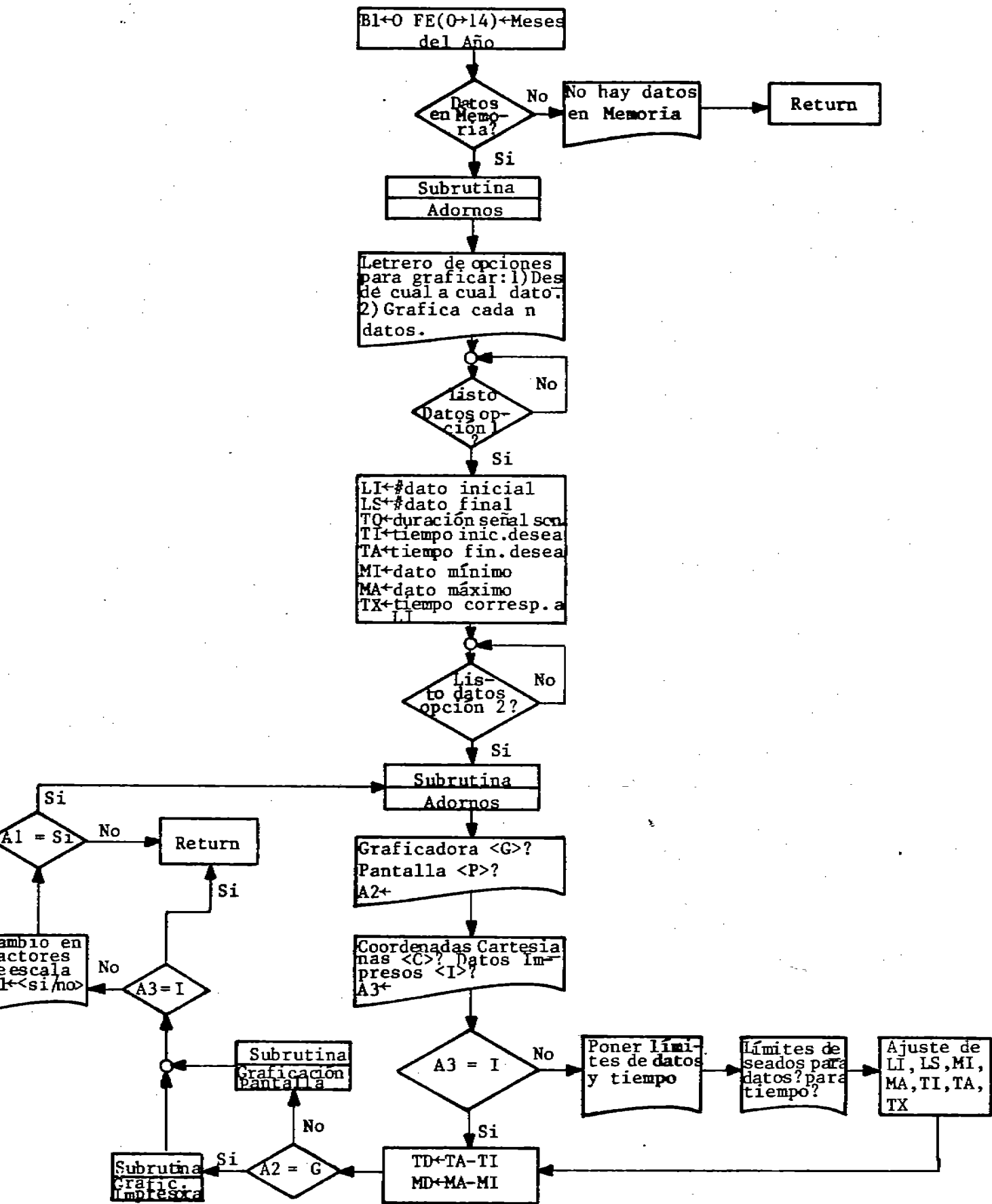


Figura 3.7 . Diagrama de flujo del programa de control de Graficación.

```

298 'Programa de Control de Graficacion
300 CLS: B1=0: F(0)="ENERO":F(1)="FEBRERO":F(2)="MARZO"
306 F(3)="ABRIL": F(4)="MAYO": F(5)="JUNIO": F(6)="JULIO"
308 F(7)="AGOSTO": F(8)="SEPTIEMBRE": F(9)="OCTUBRE"
310 F(10)="NOVIEMBRE": F(11)="DICIEMBRE"
312 IF PEEK(JP-25)=41 OR PEEK(JP-25)=45 THEN 322
314 PRINT@448,E4+E2::INPUT I2:GOTO 392
322 CLS: L1=256: L2=704: GOSUB 800:GOSUB 795
324 PRINT@320,"SI GRAFICAS TODOS LOS DATOS OCUPARAN 30 HOJAS <APROX.>."
326 PRINT"OPCIONES:"
332 PRINT@512," 1) GRAFICAR DESDE DATO N1 HASTA DATO N2 (N= 1 -> 2000)"
334 PRINT@576," 2) GRAFICAR 1 DATO POR CADA N DATOS <T(N)=K*500 MICRO SEG.>"
342 PRINT @768,,: INPUT"1) LIMITES DE DATOS <MIN,MAX>";LI,LS
344 IF LI => LS OR LI*(LS-2001) =>0 THEN 342 ELSE K1=VARPTR(I2)
345 POKE K1,PEEK(JP-20):POKE K1+1,PEEK(JP-19):T0=(47+I2*45)/1773.6
346 TX=(PEEK(JP-18)-1)*1000+T0:TY=TX:TI=TX+(LI-1)*XR:TA=TI+(LS-LI)*XR
350 PRINT @832,,: INPUT"2) INTERVALO PARA TOMAR DATOS <N= 1-> 1000>";N1
352 IF (N1-1)*(N1-1000) >0 THEN 350 ELSE MI=PEEK(JP-8): MA=PEEK(JP-5)
356 CLS: L1=320: L2=576: GOSUB 800
358 PRINT @384,,: INPUT"GRAFICADORA <G> O PANTALLA <P>";A2
360 INPUT"COORDENADAS CARTESIANAS <C> O DATOS IMPRESOS <I>";A3
362 IF A3="I" THEN 383
366 PRINT @384,"VALORES MIN,MAX DE LOS DATOS:"MI,"MA"
370 PRINT"LIMITES MIN,MAX DEL TIEMPO:":PRINT TI,"TA" MILISEGUNDOS";
374 PRINT @640,,: INPUT"LIMITES DESEADOS PARA DATOS <MIN,MAX>";MI,MA
376 IF MI=> MA THEN 374
380 PRINT @704,,:INPUT"LIMITES DESEADOS PARA EL TIEMPO <MIN,MAX>";TI,TA
381 LI=(TI-TY)/XR+1:LS=(TA-TY)/XR+1.5
382 IF LI=> LS OR LI*(LS-2001) => 0 THEN 380
383 TX=TY+(LI-1)*XR:A1="####.##"
384 TD=TA-TI: MD=MA-MI: IF A2="G" GOSUB 500 ELSE GOSUB 400
386 IF A3="I" THEN 392
388 PRINT@960,,: INPUT"CAMBIAS LOS FACTORES DE ESCALA <SI/NO>";A1
390 IF A1="SI" THEN 356
392 RETURN
795 HA=(PEEK(JP-24) AND 254)/2-1: HO=PEEK(JP-22)-1:HN=PEEK(JP-21)-1
797 HM=(PEEK(JP-24) AND 1)*8+(PEEK(JP-23) AND 224)/32
798 HD= PEEK(JP-23) AND 31: RETURN

```

Programa P.3 Programa de Control de Graficación.

existen pone un letrero que lo indica, y termina el programa; en caso contrario despliega en pantalla la fecha y la hora en que fueron tomados, así como también la ventana de muestreo y la temperatura correspondiente a los mismos. Después llama a la subrutina auxiliar estadística para mostrar la media aritmética la desviación estándar, los datos máximos y mínimo con el número que les corresponde, el tiempo en que fueron tomados y la altura de detección calculada de acuerdo a la velocidad del sonido. El programa llama a la subrutina adornos para poner margen a los letreros desplegados.

Es importante hacer mención de que los valores estadísticos nos dan una idea de entre que límites se encuentran los datos, así como la dispersión de los mismos con respecto a un valor promedio.

Debido a la simplicidad de este programa únicamente mostramos el programa P.4 que es la implementación en basic del mismo, ya que consideramos que el diagrama de flujo sería demasiado obvio.

Programa de control de grabación y directorio.- este programa se utiliza para grabar los datos obtenidos desde o hacia cassette. Se pueden grabar directamente, o se puede hacer uso del directorio, el cual contiene apuntadores a donde se encuentran grabados.

Si se desea grabar los datos de cassette a memoria directamente, se tiene que conocer el cassette y la posición donde se encuentran los datos grabados, de la misma forma, si se desea grabar directamente de memoria a cassette, se tiene que disponer de algún lugar en cassette y después de grabados anotar el cassette y la posición; esta última operación se puede lograr teclean-



```

648      'Programa de Control de Estadística
650 CLS: B1=0: GOSUB 795
654 IF PEEK(JP-25)<>41 AND PEEK(JP-25)<>45 PRINT@448,E4+E2;:GOTO 668
656 PRINT@150,"VALORES ESTADISTICOS":PRINT@201,"TOMADOS EL "HD"/"HM"/ 19";
658 PRINT USING"##";HA;:PRINT"      "HO":"HN" HS."
660 PRINT TAB(5)"DEL SEGUNDO"PEEK(JP-18)-1" AL SEGUNDO"PEEK(JP-18)".":
662 PRINT"      <TEMPERATURA="PEEK(JP-17)-73" 'C>"
664 L1=320: L2=832: GOSUB 800: IE=0
666 PRINT@384;: GOSUB 700:PRINT@960,E2;
668 INPUT I2:RETURN
795 HA=(PEEK(JP-24) AND 254)/2-1: HO=PEEK(JP-22)-1:HN=PEEK(JP-21)-1
797 HM=(PEEK(JP-24) AND 1)*8+(PEEK(JP-23) AND 224)/32
798 HD= PEEK(JP-23) AND 31: RETURN

```

Programa P.4 Programa de Control de Estadística.

do el símbolo \$, lo decimos porque esta instrucción es transparente al usuario, y si no la conoce no podrá hacer la operación; esto para que la mayor parte de las grabaciones se hagan a través del directorio, y se pueda tener un control de las mismas.

El directorio es un conjunto de registros que contienen información sobre los datos grabados, información tal como fecha y hora en que fueren tomados, así como también un apuntador al -- lugar donde se encuentran.

Los datos son grabados en cassette, puesto que hasta -- ahora es la única forma de almacenarlos; si después con el tiempo se emplearan disquetes para almacenarlos, se disminuiría considerablemente el tiempo de búsqueda y almacenamiento de los mismos, -- así como también los problemas relacionados con la grabación en -- cassette.

El directorio se sitúa en un área de almacenamiento secundario (cassette), y está organizado de la siguiente manera (como se muestra en la figura 3.8): al inicio del directorio existe un bit map, o conjunto de bits sucesivos, que indican cuáles bloques de memoria destinados para grabar los datos están ocupados -- y cuáles no (bit=1 indica bloque ocupado, desocupado en caso contrario); después del bit map existe un conjunto de áreas de memoria denominadas cubetas, que contienen registros, los cuales a su vez contienen los apuntadores a los datos grabados. Las cubetas son accesadas por medio de hash, y ya dentro de la cubeta, se accesan los registros en forma secuencial; después de las cubetas -- existe un área de overflow para guardar los apuntadores que no ca -- ben en una determinada cubeta [9].

Cada cubeta está dividida en bloques, y los bloques a -- su vez en registros, y éstos en bytes como lo podemos observar en

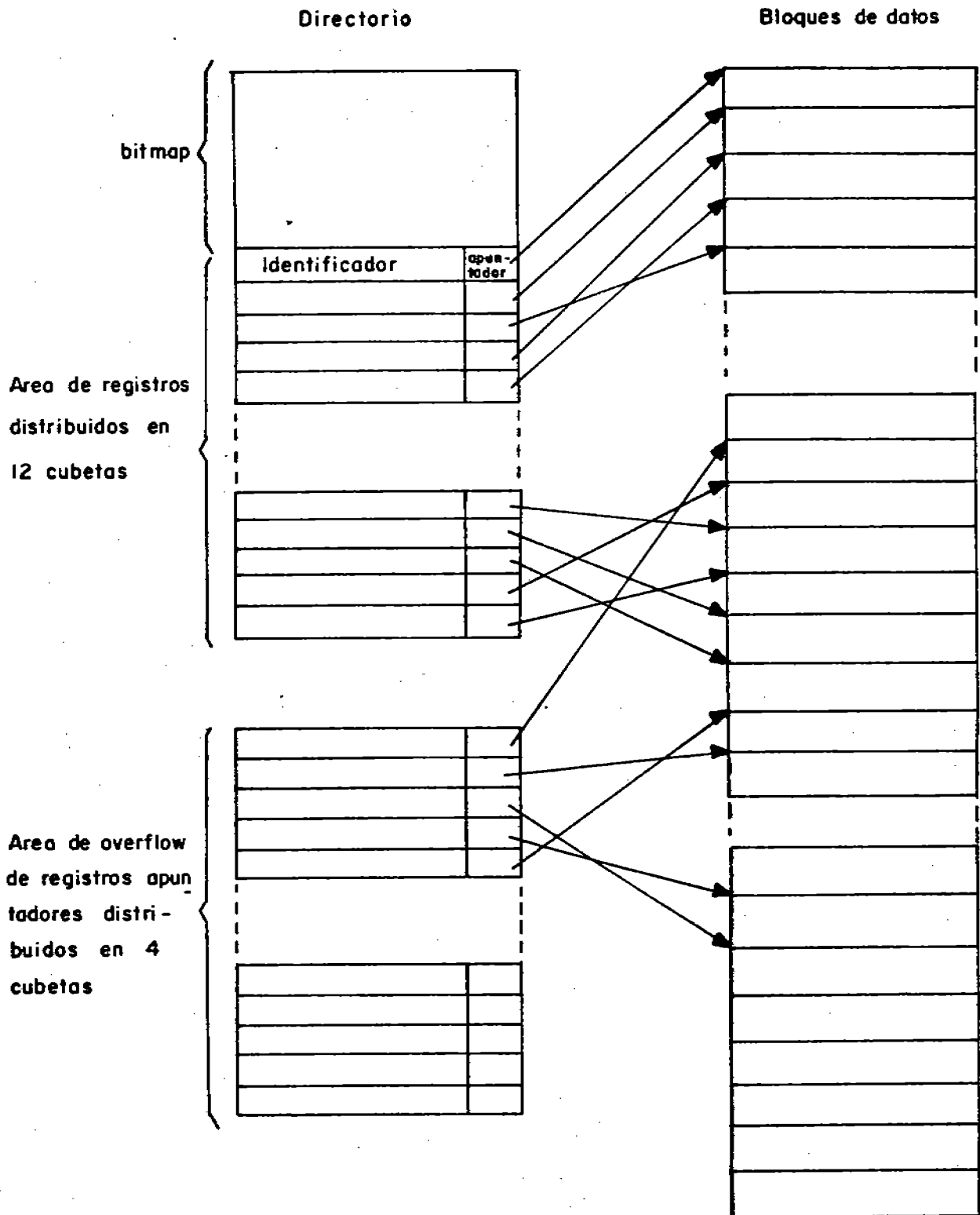


FIG. 3.8 Organización del directorio.

la figura 3.9; al inicio de cada conjunto de bloques hay un indicador, cuya función es precisamente la de indicar donde empiezan los bloques, porque si se desea hacer una modificación al directorio, el cassette se tiene que situar en una posición muy exacta, ya que en caso contrario se podría modificar una sección de memoria que causaría daños muy serios, los cuales pudieran traducirse en la pérdida de información. Los bytes que constituyen los registros, se manejan como caracteres alfanuméricos, por la flexibilidad que ofrecen, y debido a que dichos caracteres no se graban si tienen un valor de cero (por características de la máquina), se evita que los bytes de los registros tengan dicho valor.

El bit map está constituido por un indicador, 4 bloques ( $M=4$  en la figura 3.9) y 32 registros/bloque, cada registro tiene 5 bytes, y de cada byte se utilizan 7 bits, el primer bit siempre es igual a uno, lo cual nos da una capacidad para representar 4480 bloques de datos, y si consideramos que a cada lado de un cassette le caben 32 bloques, se tiene como resultado que la capacidad de representación es de 32 cassettes de datos.

El área de apuntadores está constituida por 12 cubetas, y un indicador por cada una. Se tiene 15 bloques por cubeta ( $M=15$  en la figura 3.9) y 32 registros por bloque; cada registro contiene 6 bytes, en los cuales se indica la fecha y la hora en que fueron tomados los datos, como podemos ver en la figura 3.10; cuando los 6 bytes del registro contienen un uno, es señal de que está vacío. Las cubetas se accesan por medio de hash, y la llave para accesarlas es el mes en que se toman los datos. Se podría pensar que como cada cubeta tiene la misma cantidad de bloques, la forma de acceso sería muy sencilla, pero en realidad si existen problemas, puesto que como se esta trabajando con cassettes, aunque cada cubeta ocupe la misma longitud de cinta, el contador de la grabadora no marca igual al principio o al final de la misma, puesto que al irse enrollando, por cada revolución que se da, mayor longitud de

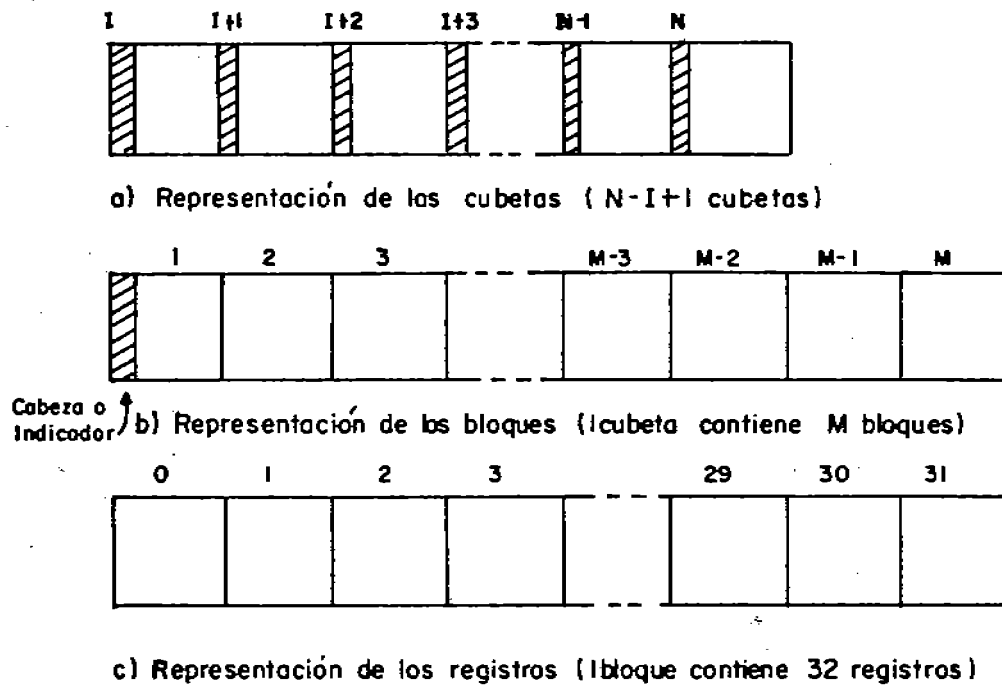


FIG. 3.9 Representación de cubetas, bloques y registros

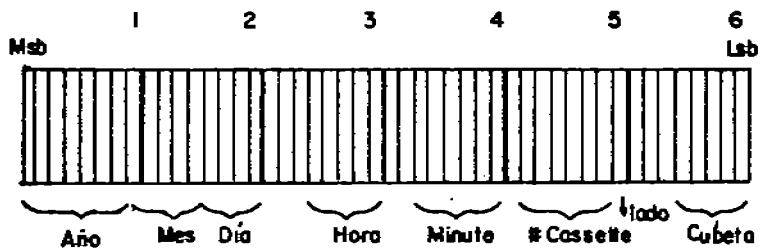


FIG. 3.10 Representación del registro apuntador de datos grabados  
(1 registro = 6 bytes)

cinta absorberá; por lo cual para una misma longitud de cinta, el marcador avanzará más al principio de la cinta que al final, y como las posiciones se toman en base a dicho marcador, existen algunos problemas. La solución que se dió es la de tomar los datos del marcador de acuerdo a cada cubeta, y en base a los datos recabados, se hizo una curva de regresión [20], para ajustar los valores del marcador, por lo cual la función de hash quedó de la siguiente manera:

$$Y = -.1722 * X^2 + 19.3213 X + 5.85$$

Donde X es la llave y Y es la posición del marcador.

El área de overflow está constituida por 4 cubetas con 1 indicador por cubeta y 50 bloques/cubeta, cada bloque contiene 32 registros y cada registro 6 bytes de acuerdo a la figura 3.10. Las cubetas se accesan por hash y la llave es (el mes que se toman los datos) /3; la función de hash es la misma que se vió en el párrafo anterior.

Cada lado del cassette de datos esta constituido por 32-cubetas con un indicador y un bloque por cubeta, cada bloque puede contener una serie de datos correspondientes a un muestreo; las cubetas se accesan por hash de acuerdo al número de bloque, que es la llave. La función de hash es la misma que se utiliza para las cubetas de los apuntadores.

El bit map y el área de apuntadores se situaron en un lado del cassette del directorio, y en el otro lado se situó el área de overflow. El programa P.5a se utiliza para inicializar cualquiera de las áreas mencionadas o los cassettes de datos; única---mente se le necesitan dar datos como el número de cubetas, número de bloques por cubeta y registros por bloque. El programa incia---liza los registros poniendo un uno por byte, y en el caso de los cassettes de datos, únicamente pone los indicadores.

El directorio efectúa 4 funciones, las cuales son: grabar a cassette, grabar de cassette, ver grabaciones por mes y remover datos.

La primera y la cuarta función, afectan directamente al bit map y al área de apuntadores; en el primer caso se modifica el bit (bit map) correspondiente al bloque de datos que se va a ocupar, y se toma un registro apuntador para ponerlo en el área de apuntadores, después se ponen las muestras en el bloque de datos de acuerdo al bit cambiado. La cuarta función inicializa el registro apuntador de datos de acuerdo las muestras que se vayan a remover y después cambia el bit (bit map) correspondiente al bloque de datos que se desea remover. La segunda y tercera función únicamente observan los registros apuntadores, para conocer la ubicación de algún bloque de datos requerido, y lo accesan en caso necesario (leyéndolo). El programa del directorio utiliza 3 subrutinas en basic para evitar duplicidad de código (coloca, decodifica y rectifica) y utiliza una subrutina en lenguaje de máquina para grabar los datos desde o hacia cassette, o para checar los datos de alguna grabación; todos estos programas los veremos más adelante. En la figura 3.11 mostramos el diagrama de flujo de este programa. El programa P.5 es la implementación en basic.

### 3.2.2 Programas de ejecución.

Subrutina graficación pantalla. Esta subrutina es la encargada de graficar los datos del muestreo en la pantalla, los parámetros que necesita son: los límites de los datos que se deseen graficar (L1, LS), los límites del tiempo de graficación (TI, TA), los valores mínimo y máximo deseados (MI, MA), y algún otro dato como la diferencia de los límites del tiempo y del valor de los datos (TD, MD), la fecha y hora en que se tomaron, la posición de inicio de los datos (JP) y una variable que indique si se van a graficar en coordenadas cartesianas o como datos impresos (A3).

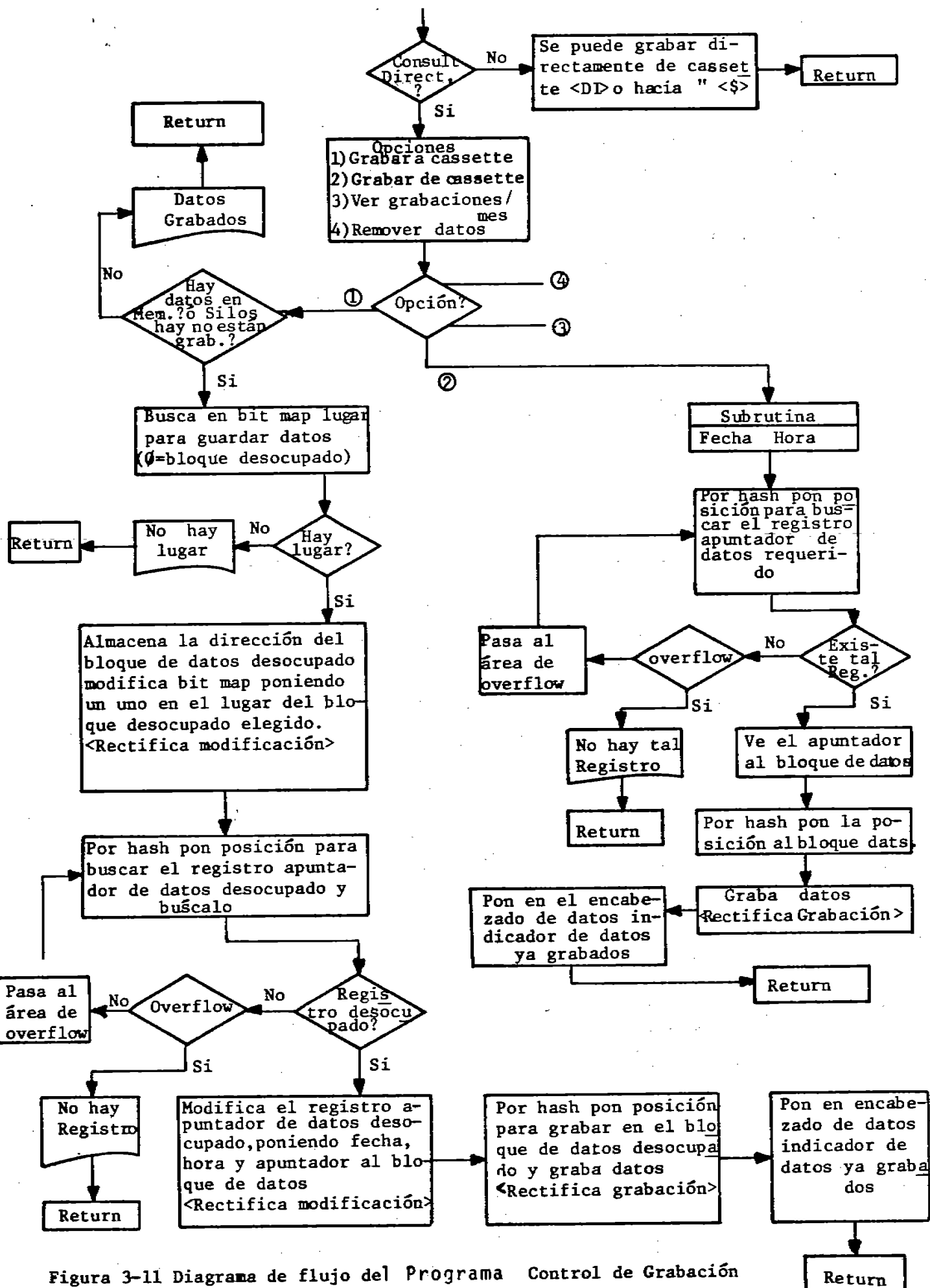


Figura 3-11 Diagrama de flujo del Programa Control de Grabación y Directorio.



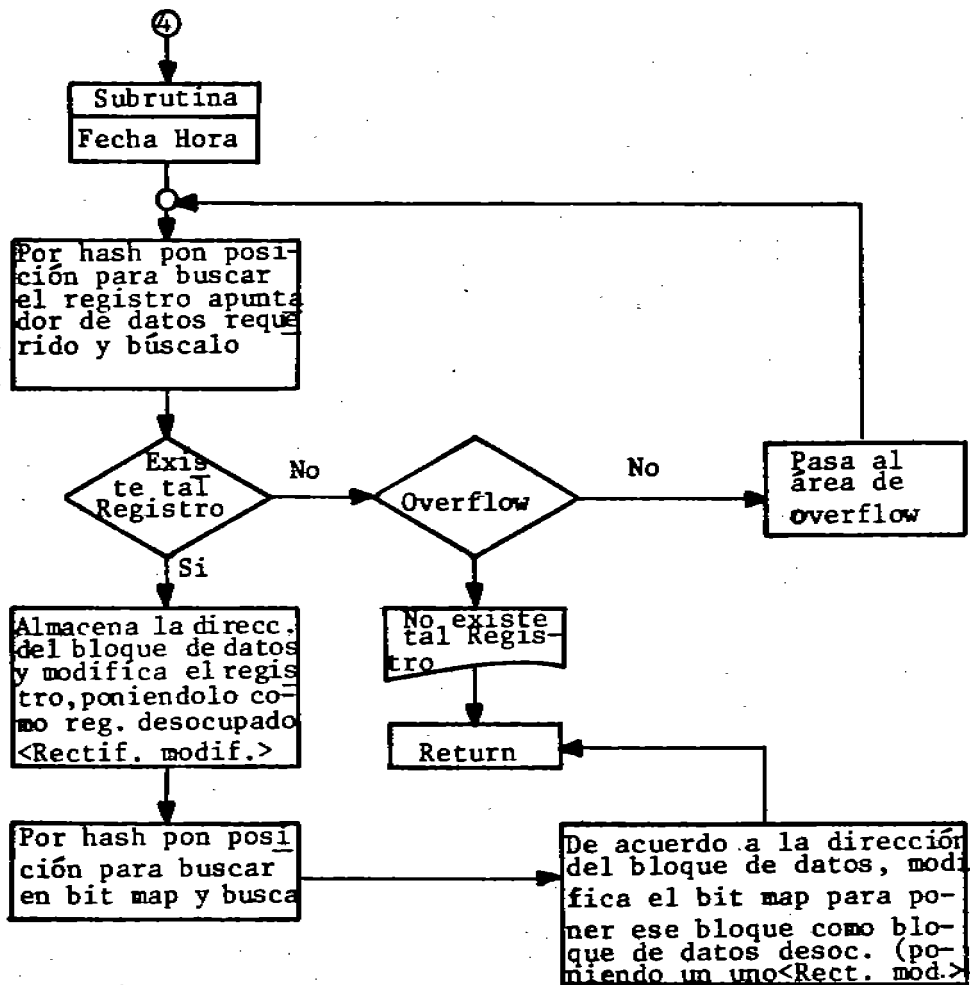
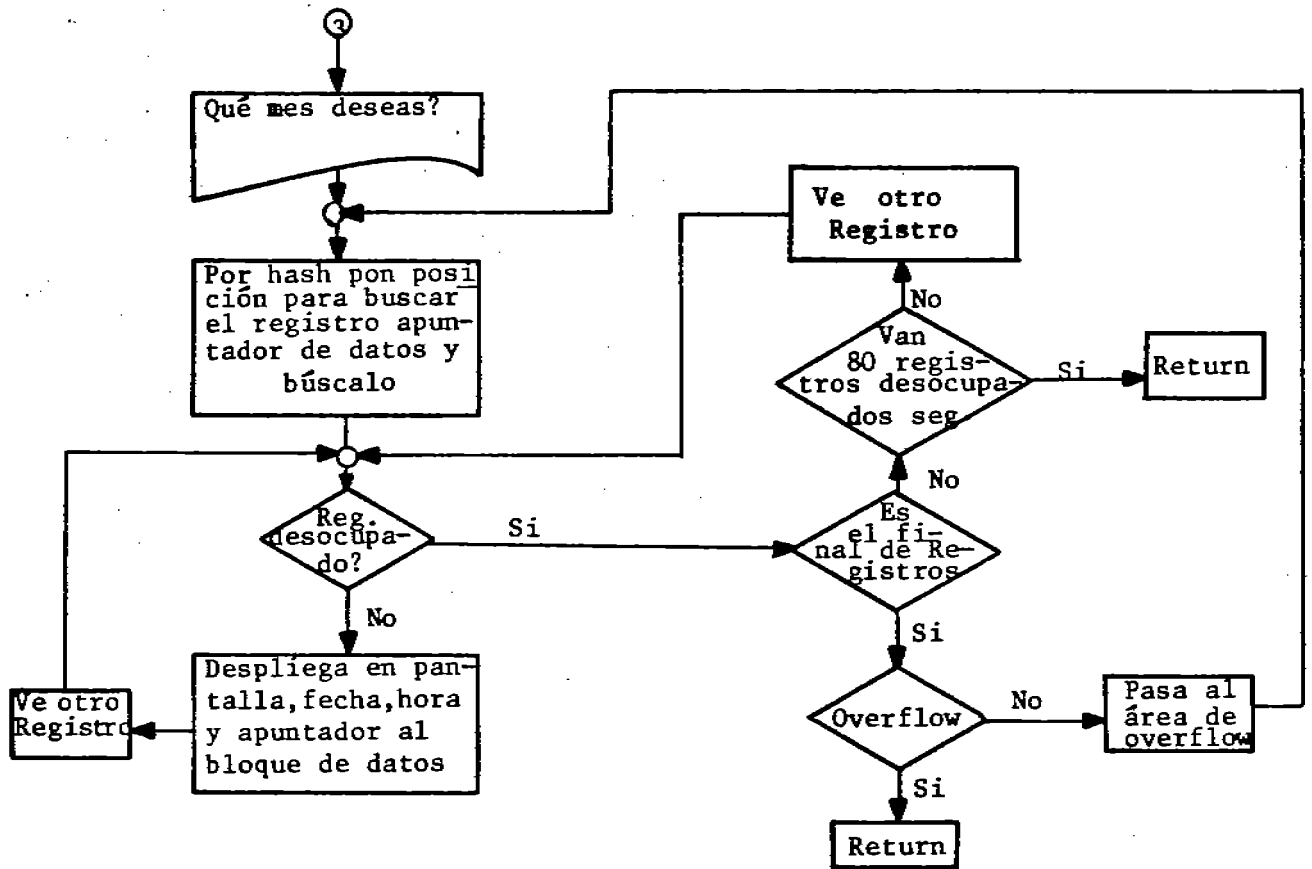


Figura 3.11 Continuación.

```

768 'Programa de Control de Grabacion y Directorio
770 CLS:B1=0
778 PRINT@448,"CONSULTAS DIRECTORIO <SI/NO>,";
779 INPUT "0 GRABAS DIRECTAMENTE <DI>":A1
780 IF A1="DI" THEN 786 ELSE IF A1<>"SI" THEN 790 ELSE 810
786 PRINT "CASSETE DE DATOS EN <PLAY>"E2::INPUT I2
787 INPUT#-1,I2:POKE 16526,147: POKE 16527,127: I2=USR(JP): POKE JP-25,45
790 POKE 16526,116: POKE 16527,127
791 IF A1="S" INPUT "*":I2:PRINT#-1,I2:I2=USR(JP)
792 RETURN
795 HA=(PEEK(JP-24) AND 254)/2-1: HO=PEEK(JP-22)-1:HN=PEEK(JP-21)-1
797 HM=(PEEK(JP-24) AND 1)*8+(PEEK(JP-23) AND 224)/32
798 HD= PEEK(JP-23) AND 31: RETURN
810 ON ERROR GOTO 1012:GOSUB 795:CLS:PRINT@155,"DIRECTORIO":L1=256:L2=768
812 GOSUB 800: PRINT@320,"OPCIONES <DATOS>:";PRINT@448,"1)- GRABAR A CASSETE"
814 PRINT"2)- GRABAR DE CASSETE";PRINT"3)- VER GRABACIONES/MES"
816 PRINT"4)- REMOVER DATOS"
818 PRINT@878,"OPCION";:INPUT I2: IF (I2-1)*(I2-4)>0 THEN 818
820 L1=0: L2=1: ON I2 GOTO 822,858,878,908
822 IF PEEK(JP-25)<>45 AND PEEK(JP-25)=41 THEN 824
823 PRINT@896,"DATOS YA GRABADOS"E2::INPUT K1: GOTO 1013
824 GOSUB 924: L3=0:IM=0:I4=1
826 FOR IA=1 TO 4: GOSUB 940: L3=33
828 FOR IE=0 TO 31: IM=1: GOSUB 988: IM=0
830 FOR IO=0 TO 4
832 FOR IN=1 TO 7: IF (K(IO) AND 2[IN] <>0 THEN 840
834 K(IO)=K(IO)+2[IN: GOSUB 988:L3=0: I4=IA-1:I2=0:GOSUB 940
836 GOSUB 996: IF L5>34 THEN 834 ELSE L6=(IA-1)*1120+IE*35+IO*7+IN-1
838 IA=6: IE=32:I0=5:IN=8
840 NEXT IN,I0,IE,IA:IF IA<6 PRINT@896,"NO HAY LUGAR"E2::INPUT I2:GOTO 1013
842 L3=HM: IA=1:IM=1:I0=1:IN=1:I4=15:I2=1: GOSUB 940
844 IF L4<I4+3 THEN L2=2:I4=50:GOSUB 940: IF L4<I4+3 GOTO 1013
846 FOR K1=0 TO 3: K(K1)=PEEK(JP-24+K1):NEXT K1
848 X=L6/64:L4=X+1:X=X-L4+1:L4=L4*2:K(4)=L4:IF INT(X/.499+1)<>1 THEN K(4)=L4+1
850 L4=X*64+1.001: K(5)=L4: IM=0: GOSUB 988
852 L3=HM:I4=I4-1:I2=0:GOSUB 940:GOSUB 996:IF L5>34 THEN 852
854 IF (K(4) AND 1)=1 THEN L2=2: K(4)=K(4)-1 ELSE L2=1
856 L1=K(4)/2:L3=K(5):I2=0:I4=0:GOSUB 940:GOSUB 996
857 IF L5>34 THEN 854 ELSE GOTO 1013
858 GOSUB 930:IF L4<I4+3 INPUT I5:GOTO 1013
860 IF (K(4) AND 1)=1 THEN L2=2:K(4)=K(4)-1 ELSE L2=1
862 L1=K(4)/2:L3=K(5):I4=0:I2=1:GOSUB 940
864 POKE 16526,147:POKE 16527,127: I5=USR(JP):POKE JP-25,45
866 PRINT@896,"CHECAS DATOS <SI/NO>": INPUT A2
868 IF A2="SI" GOSUB 200: K1=VARPTR(XM):L4=VARPTR(XD) ELSE GOTO 1013

```

Programa P.5 Programa de Control de Grabación y Directorio.

```

870 FOR L5=0 TO 3
872 IF PEEK(K1+L5)=PEEK(JP-16+L5) AND PEEK(L4+L5)=PEEK(JP-12+L5) THEN 876
874 PRINT@896,E3: L5=6
876 NEXT L5: IF L5=6 THEN 862 ELSE 1013
878 PRINT@896,"MES (1 -> 12)":INPUT L3: IM=0
880 I4=0: GOSUB 924:GOSUB 940:CLS:PRINT@7,"FECHA":PRINT@22,"HORA"
882 PRINT@31,"CASSETTE #":PRINT@45,"LADO":PRINT@53,"POSICION":I6=15:I4=1
884 IO=0:K2=0:L3=33
886 FOR N1=1 TO I6: GOSUB 940: IE=0
888 IM=1:GOSUB 988:IM=0:IF K2=0 THEN PRINT@128,;
890 IF K(0)<>1 THEN IO=0 ELSE IO=IO+1:IF IO=80 THEN N1=I6+1:GOTO 904 ELSE 902
892 IA=(K(0) AND 254)/2:IN=(K(0) AND 1)*8+(K(1) AND 224)/32
894 PRINT TAB(2) (K(1) AND 31)"/"IN"/19"IA-1":PRINT TAB(20) K(2)-1":K(3)-1;
896 PRINT TAB(35) (K(4) AND 126)/2:PRINT TAB(46) (K(4) AND 1)+1;
898 IF K(5)=1 THEN IA=2: GOTO 900
899 X=(K(5)-1)*29.8/32: IA=-.1722*(X)[2+19.3213*X+4.35
900 PRINT TAB(55)IA: K2=K2+1: IF K2=12 THEN K2=0:PRINT E2:INPUT IA
902 IE=IE+1: IF IE<32 THEN 888
904 NEXT N1: IF IO<80 THEN L2=2: I6=50: GOTO 880
906 PRINT E2:INPUT IA:GOTO 1013
908 GOSUB 930: IF L4<I4+3 INPUT K1:GOTO 1013
910 I6=(K(4) AND 126)/2: I6=(I6-1)*64+(K(4) AND 1)*32 +K(5)
912 FOR L5= 0 TO 5: K(L5)=1: NEXT L5
914 IM=0: GOSUB 988
916 I4=I4-1: I2=0: GOSUB 940: GOSUB 996: IF L5>34 THEN 916
918 Y=I6/1120.2:I4=Y+1: Y=Y-I4+1:L3=0:I2=1: GOSUB 940
920 IE=Y*32: Y=Y-IE: IM=1: GOSUB 988: IA=Y*5: Y=Y-IA
922 IO=Y*7+1: K(IA)=K(IA)-2[IO:IM=0:GOSUB 988
923 I4=I4-1: I2=0: GOSUB 940: GOSUB 996: IF L5>34 THEN 923 ELSE GOTO 1013
1012 PRINT@896,E3:IF ERL=956 OR ERL=958 RESUME 956 ELSE ERROR(ERR/2+1)
1013 ON ERROR GOTO 0: RETURN

```

Programa P.5 Continuación.

```

B      'Programa de Inicializacion del Directorio
10 CLEAR 200: DEFINT I,J: DEFSTR F: DEFSNG X: DIM F(31)
12 CLS: INPUT"# DE BYTES/REGISTRO":I1: X=5.35:J1=1:I3=0
13 IF I1<5 THEN J2=32: GOTO 28
14 IF I1=5 THEN J2=0: J1=0 ELSE INPUT"# DE CUBETAS":J2: IF J2>4 THEN X=14.35
16 FOR J=0 TO 31: F(J)=CHR$(1)
20 FOR I=1 TO I1-1: F(J)=F(J)+CHR$(1)
22 NEXT I,J
26 INPUT"# ARCHIVOS/CUBETA":I2
28 IF J2=12 THEN INPUT"POSICION=18":I ELSE INPUT"POSICION=3":I
30 FOR J=J1 TO J2: IF J+1=2 AND J2=12 THEN J0=64: GOTO 34
32 IF J2<>0 THEN X1=J*29.8/J2:J0=-.1722*(X1)[2+19.3213*X1+X
34 PRINT"SIGUIENTE POSICION="J0: PRINT#-1,J
36 IF I1<5 THEN 44
38 FOR I=1 TO I2
40 PRINT#-1,F(0),F(1),F(2),F(3),F(4),F(5),F(6),F(7),F(8),F(9),F(10),F(11),F(1
21),F(22),F(23),F(24),F(25),F(26),F(27),F(28),F(29),F(30),F(31)
42 NEXT I
44 INPUT"YA POSICIONASTE <ENTER>":I
46 NEXT J: END

```

Programa P.5a Programa de Inicialización del Directorio.

La graficación puede ser de dos formas, como datos impresos o como coordenadas cartesianas. En el primer caso, empezando por el dato inicial LI, se ponen en la pantalla el valor de los datos, desplegando 16 por renglón y 15 por columna, o hasta que se ponga el dato final (LS), cada vez que se llene la pantalla o sea fin de graficación, se pone en el último renglón el tiempo del primero y último datos puestos en pantalla.

Si se van a graficar los datos como coordenadas cartesianas, en el eje de las abscisas se pone el tiempo, y en el de las ordenadas los valores de los datos, y se van tomando desde el dato inicial hasta el final para graficarlos de la siguiente manera: al dato que le corresponde el tiempo inicial (TI), le toca el valor 19 en el eje de las abscisas, y al dato que le corresponde el tiempo final de graficación (TA), le toca el valor de 119 en el mismo eje; lo mismo para el valor de los datos, al valor máximo (MA), le corresponde un valor de 0 en el eje de las ordenadas, y al valor mínimo (MI), le toca valor de 35 en el mismo eje. Los datos que están dentro de los límites mencionados anteriormente se proporcionan linealmente a estos límites, para así efectuar la graficación, los datos que están fuera de dichos límites, no se grafican [13]. En la figura 3.12 se muestra el diagrama, de flujo de esta subrutina. El programa P.6 es la implementación en basic.

Subrutina graficación impresora.- Esta es la subrutina encargada de graficar los datos del muestreo en impresora; los parámetros que necesita son los mismos que en la subrutina de graficación pantalla, y las funciones que realiza son las mismas, nada más que en impresora; puede imprimir con formato para impresión corta (8 líneas/pulgada) ó en formato para impresión larga (6 líneas/pulgada) [14].

Si la impresión se hace como datos impresos, imprime el valor de los datos, 33 por renglón o hasta el dato final (LS). Si -

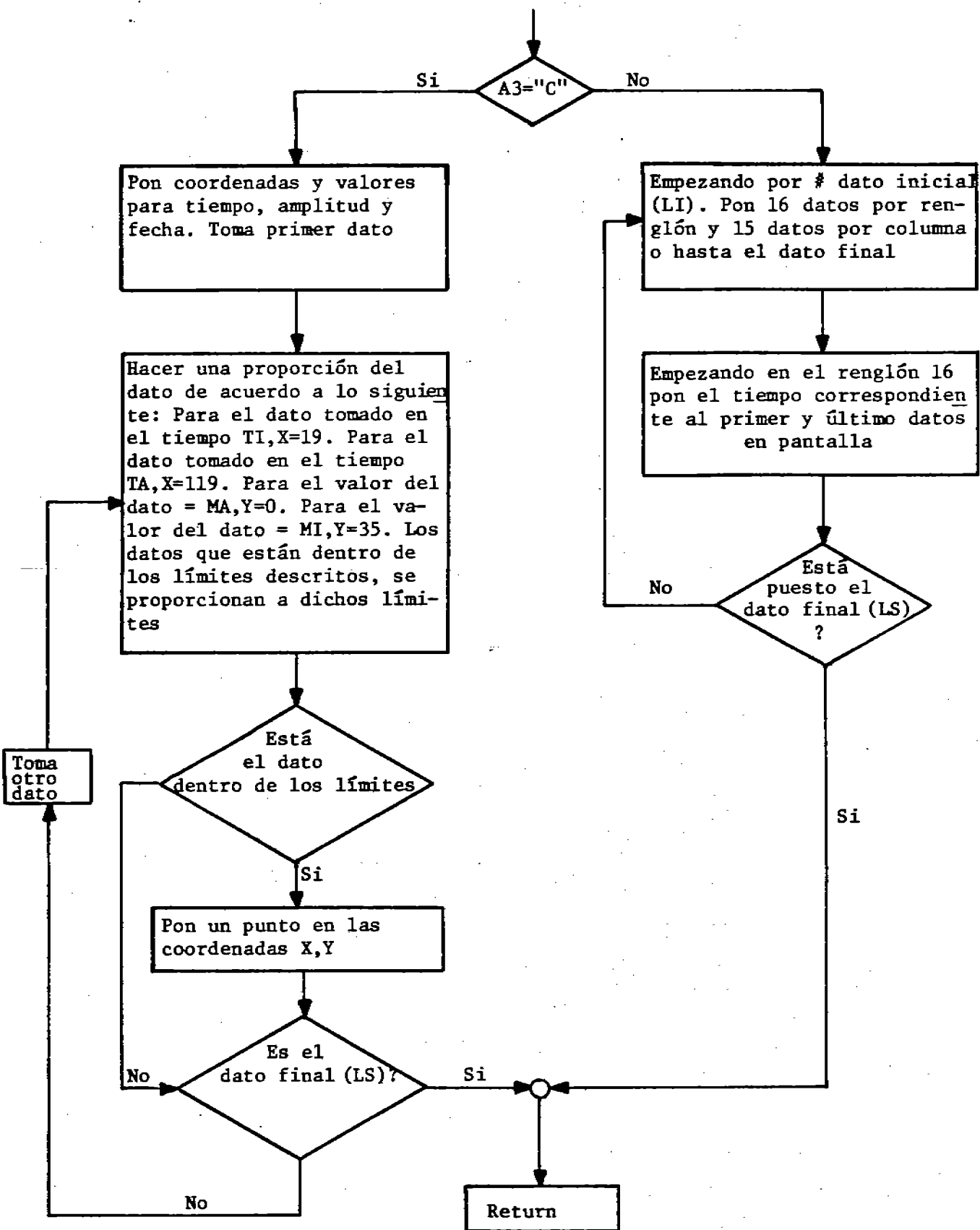


Figura 3.12. Diagrama de flujo de la Subrutina Graficación Pantalla

```

398 'Subrutina Graficacion Pantalla
400 CLS: IF A3="C" THEN 422 ELSE L2=LI: L1=0
406 FOR I2=LI TO LS STEP N1
408 PRINT USING E1;PEEK(JP-1+I2):: L1=L1+1
410 IF L1 <> 240 AND I2<= LS-N1 THEN 418 ELSE TB=TX+(I2-L2)*XR
414 PRINT @960,"TIEMPO=("TX"->"TB")MILISEGUNDOS";
416 PRINT E2::INPUT L2: L2=I2+1: TX=TB+XR: L1=0: CLS
418 NEXT I2: GOTO 458
422 PRINT @128,"A": PRINT@192,"M": PRINT@256,"P": PRINT@320,"L"
424 PRINT@384,"I": PRINT@448,"T": PRINT@512,"U": PRINT@576,"D"
426 PRINT@2,MA: PRINT@130,MI+MD*4/5::PRINT@258,MI+MD*3/5:
428 PRINT@450,MI+MD*2/5:: PRINT @578,MI+MD/5: PRINT @706,MI
430 FOR I2=0 TO 35: SET(17,I2): NEXT I2
432 FOR I2=19 TO 119: SET(I2,37): NEXT I2
434 FOR I2=19 TO 119 STEP 10: SET(I2,38): NEXT I2
436 FOR I2=0 TO 35 STEP 7: SET(16,I2): NEXT I2
438 PRINT @838,TI: PRINT @848,TI+TD/5: PRINT @858,TI+TD*2/5
440 PRINT @868,TI+TD*3/5: PRINT @878,TI+TD*4/5: PRINT @888,USING A1;TA
442 PRINT @912,"TIEMPO (MILISEGUNDOS)":PRINT@971,HD"-F(HM-1)"-19"HA:
444 PRINT " "H0":"HN"HS.";
446 FOR I2=LI TO LS STEP N1: TB=TX+(I2-LI)*XR: X=119-(TA-TB)*100/TD
450 Y=35-(PEEK(I2+JP-1)-MI)*35/MD
452 IF X<19 OR X>119 OR Y<0 OR Y>35 THEN 455 ELSE SET(X,Y)
455 NEXT I2
456 PRINT E2::INPUT I2: CLS
458 RETURN

```

Programa P.6 Subrutina Graficaci3n Pantalla.

la impresión es en forma de coordenadas cartesianas, en el eje -- de las abscisas pone el valor del dato, y en el eje de las ordena-- das el tiempo correspondiente, y para imprimir el valor, se des-- plaza la impresión en una forma proporcional al valor del dato, - así para el valor del dato mínimo (MI) el desplazamiento será de 13.5 espacios, y para el valor del dato máximo (MA), el desplaza-- miento será de 113.5 espacios, por lo que se tiene una resolu-- ción de 100 espacios para graficación. Los datos que esten den-- tro de los dichos límites se proporcionan a éstos para su grafi-- cación, los que estan fuera de ellos, no se grafican. A la dere-- cha de la gráfica, se coloca la altura de detección calculada - y después de cada impresión, se ponen los valores estadísticos -- de los datos.

En la figura 3.13 se muestra el diagrama de flujo de esta subtribuna, y el programa P.7 es la implementación en basic- [13].

Subrutina valores estadísticos.- Esta subrutina ob-- tiene algunos valores estadísticos de los datos, valores tales co-- mo la media aritmética y la desviación estándar. Los parámetros - que necesita son la dirección del dato inicial (JP) y el número - de datos. Obtiene la media aritmética como la suma de todos los-- datos entre el número de éstos, aquí utiliza la subrutina suma -- 125 datos para aumentar la velocidad de ejecución; antes de utili-- zar esta última subrutina, se tardaba más de un minuto para obte-- ner la media, después de utilizarla se tarda menos de 5 segundos. La desviación estándar se obtiene como la sumatoria del cuadrado-- de la diferencia de los datos y la media aritmética, dividida en-- tre el número de datos, y finalmente la raíz cuadrada del resulta-- do anterior. Esta subrutina también guarda en el encabezado - -- (ver figura 3.3) la media aritmética y la desviación estándar en-- el lugar que le corresponde. El programa P.8 es la implementa-- ción en basic de esta subrutina.



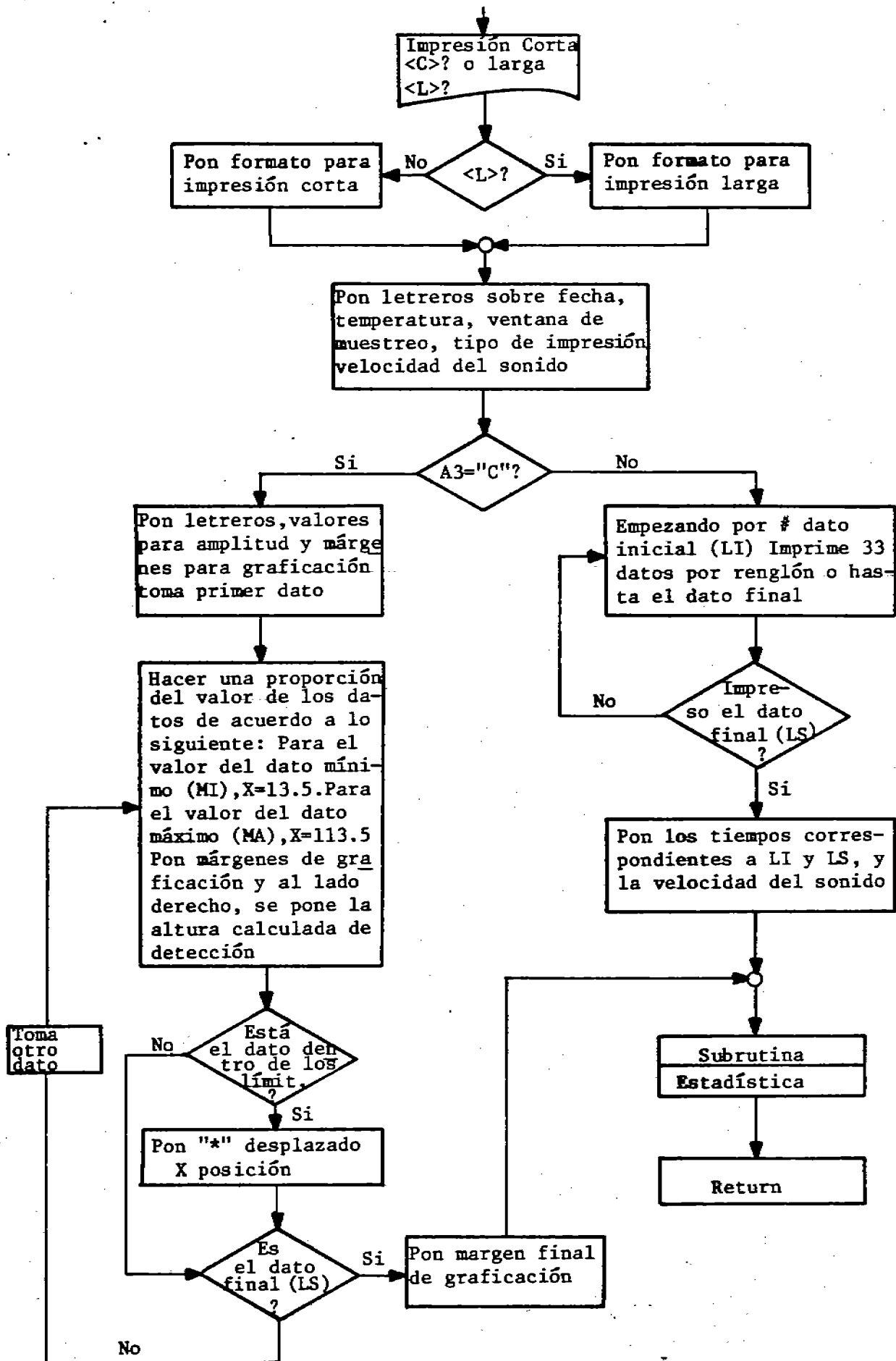


Figura 3.13. Diagrama de flujo de la Subrutina Graficación Impresora.

```

498      'Subrutina Graficacion Impresora
500 CLS:PRINT@448,;:INPUT"IMPRESION?: CORTA <C> O LARGA <L>";A2:CLS
502 IF A2="L" THEN LPRINT CHR$(27) CHR$(54) ELSE LPRINT CHR$(27) CHR$(56)
504 LPRINT CHR$(31);TAB(8)"DATOS TOMADOS EL "HD"- "F(HM-1)" - 19";
506 LPRINT USING"##";HA;: LPRINT " ";: LPRINT USING"##";HO;
508 LPRINT " ";: LPRINT USING "##";HN;:LPRINT " HS.":LPRINT " "
510 LPRINT TAB(7)"Del segundo"PEEK(JP-18)-1"al segundo"PEEK(JP-18)". ";
512 LPRINT TAB(39)"Temperatura="PEEK(JP-17)-73"C"
513 LPRINT TAB(18)"Impresion <-> cada"N1"dato(s)"
514 PRINT@463;"IMPRESION EN PROCESO"
516 LPRINT " ";LPRINT " ";LPRINT " "; LPRINT CHR$(30)
524 TE=20.0987*SQR(PEEK(JP-17)+200): IF A3="C" THEN 548 ELSE L1=0
530 FOR I2=LI TO LS STEP N1
532   IF L1=32 LPRINT USING E1;PEEK(JP-1+I2):L1=0: GOTO 538
534   LPRINT USING E1;PEEK(JP-1+I2);:L1=L1+1
538 NEXT I2: LPRINT " "; LPRINT " "; LPRINT CHR$(31);
540 LPRINT TAB(12)"Tiempo=("TX"->"TX+(LS-LI)*XR")milise9undos"
542 LPRINT TAB(9)"Velocidad del sonido="TE"metros/se9undo":GOTO 586
548 Y1=MD/100: YI=MI-Y1/2: YA=MA+Y1/2
552 LPRINT CHR$(31) TAB(16)"Amplitud (volts <escala 1:0.029>)"
554 LPRINT CHR$(30);TAB(119)"Altura (mts.)": LPRINT " "
556 FOR I2=0 TO 10:LPRINT TAB(I2*10+10);:LPRINT USING"###.##";I2*10*Y1+MI;
558 NEXT I2: LPRINT " ";GOSUB 600:L1=0
566 FOR I2=LI TO LS STEP N1: TB=TX+(I2-LI)*XR: IF L1>22 THEN 570
568   L1=L1+1:LPRINT CHR$(31);MID$(" Tiempo -milise9undos-",L1,1);
570   LPRINT CHR$(30) TAB(4);: LPRINT USING A1;TB;:LPRINT TAB(12)"I";
572   IF PEEK(I2+JP-1)=> YA OR PEEK(I2+JP-1)<YI THEN 576
574   LPRINT TAB((PEEK(I2+JP-1)-MI)/Y1+13.5);"*";
576   LPRINT TAB(114)"I";
578   LPRINT TAB(121);:LPRINT USING A1;(TB/2000)*TE
586 NEXT I2:GOSUB 600:LPRINT " "; LPRINT " "; LPRINT " "
588 LPRINT CHR$(31);TAB(16)"Datos estadisticos del muestreo":LPRINT " "
590 IE=1: LPRINT CHR$(30): POKE 16414,141
592 POKE 16415,5: GOSUB 700: POKE 16414,88: POKE 16415,4:RETURN
600 LPRINT TAB(12);:FOR I2=1 TO 20: LPRINT"+----";:NEXT I2:LPRINT"+":RETURN

```

Programa P.7 Subrutina Graficaci6n Impresora.

```

198      'Subrutina Valores Estadisticos
200 PRINT@1018,"*****";: N1=2000
208 XM=0: POKE 16526,88: POKE 16527,127
210 FOR I2=JP TO JP+N1-125 STEP 125:L1=USR(I2):XM=XM+L1:NEXT I2
222 XM=XM/N1: XD=0:PRINT@1018,"-----";
226 FOR I2=JP TO N1+JP-1: XD=XD+(PEEK(I2)-XM)*(PEEK(I2)-XM):NEXT I2
230 XD=SQR(XD/N1):IF A1 <>"M" RETURN
238 K1=VARPTR(XM): K2=VARPTR(XD)
240 FOR I2=0 TO 3:POKE JP-16+I2,PEEK(K1+I2): POKE JP-12+I2,PEEK(K2+I2)
241 NEXT I2
242 RETURN

```

Programa P.8 Subrutina Valores Estadísticos.

Subrutina valores maxmin.- Esta subrutina obtiene - - los primeros valores máximo y mínimo de la lista de datos. Los parámetros que necesita son la dirección del dato inicial, y el número de datos.

El primer dato lo guarda como un valor máximo y también como valor mínimo, después ve en orden sucesivo cada uno de los datos, hasta el final, y si el dato que está viendo es mayor que el valor máximo, lo pone como valor máximo, almacenado también - su dirección; y por el otro lado, si el dato es menor que el valor mínimo, lo pone como valor mínimo almacenando su dirección. Finalmente pone en el encabezado de datos el valor máximo, mínimo y sus respectivas direcciones (ver figura 3.3). Esta subrutina se ejecuta inmediatamente después de la subrutina de muestreo. - [8]. El programa P.9 es la implementación en lenguaje ensamblador y en lenguaje de máquina de esta subrutina.

Subrutina coloca.- La subrutina realiza 3 funciones -- útiles para el programa de control de grabación y directorio; la primera función es la que pone en la pantalla las indicaciones - al usuario de cual cassette colocar, y la posición que debe poner; aquí se necesitan los siguientes parámetros: L1 (número de cassette) L2 (lado del cassette), L3 (llave para la función de - hash); esta función utiliza la función de hash para direccionar las cubetas en el directorio, y checa además si se está en la cubeta correcta de acuerdo a la cabeza o indicador que existe al - principio de cada cubeta, como se indica en la figura 3.9. Esta - primera función operará únicamente si L3 es igual o menor a 32.- La segunda función es la de grabar de cassette a un arreglo alfa numérico un bloque de registros apuntadores para un análisis posterior, el bloque contiene 32 registros apuntadores como se indica en la figura 3.9; esta función también puede buscar algún registro apuntador que se requiera y si lo encuentra termina su función; - En esta parte se necesita de los siguientes parámetros: I4 que indica hasta

```

00810 ;PROGRAMA PARA OBTENER VALORES MAXIMO Y MINIMO.
7F1C 00820 ORG 7F1CH ;POSICION DE INICIO
7F1C 21B676 00830 LD HL,30390D ;POS. INICIAL DE DATOS
7F1F 56 00840 LD D,(HL) ;VALOR MINIMO
7F20 5E 00850 LD E,(HL) ;VALOR MAXIMO
7F21 22AF76 00860 LD (30383D),HL ;DIR. VAL. MIN.
7F24 22B276 00870 LD (30386D),HL ;DIR. VAL. MAX.
7F27 ED48B476 00880 LD BC,(30388D) ;BC <- # DE DATOS
7F2B 23 00890 AUN INC HL ;INCREMENTA APUNTADOR
7F2C 0B 00900 DEC BC ;DECREMENTA CONTADOR
7F2D 78 00910 LD A,B ;A<-B
7F2E B1 00920 OR C ;BC=0?
7F2F C23B7F 00930 JP NZ,CARGA
7F32 7A 00940 LD A,D ;A<-D
7F33 32AE76 00950 LD (30382D),A ;EL VALOR MINIMO
7F36 7B 00960 LD A,E ;A<-E
7F37 32B176 00970 LD (30385D),A ;EL VALOR MAXIMO
7F3A C9 00980 RET
7F3B 7E 00990 CARGA LD A,(HL)
7F3C BA 01000 CP D ;A-D
7F3D CA2B7F 01010 JP Z,AUN ;=0?
7F40 D24A7F 01020 JP NC,MAX ;>0?
7F43 57 01030 LD D,A
7F44 22AF76 01040 LD (30383D),HL ;DIR. DEL MINIMO
7F47 C32B7F 01050 JP AUN
7F4A BB 01060 MAX CP E ;A-E
7F4B CA2B7F 01070 JP Z,AUN ;=0?
7F4E DA2B7F 01080 JP C,AUN ;<0?
7F51 5F 01090 LD E,A ;E<-A
7F52 22B276 01100 LD (30386D),HL ;DIR. DEL MAXIMO
7F55 C32B7F 01110 JP AUN

```

Programa P.9 Subrutina Valores Max Min.

que número de bloques se desea leer, si  $I4=0$ , la segunda función no se realiza;  $IM$ , que es la variable que indica si se busca algún registro apuntador determinado, o no; si  $IM=0$  entonces no se busca el registro, pero si  $IM$  tiene un valor diferente se busca el registro (figura 3-10) de la siguiente manera: en  $IA$  se pasa el parámetro que se va a comparar con el byte 1 (año, mes),  $IM$  se compara con el byte 2 (mes, día),  $I0$  con el byte 3 (hora) e  $IN$  con el byte 4 (minuto), siendo estos 4 bytes el identificador para distinguir entre los datos de un muestreo y los de otro. La segunda función envía como parámetro de salida  $I4$  con el número de bloque donde se encontró el registro apuntador, si es que se requiere, también a  $I5$  que indica si se leyeron 80 registros apuntadores vacíos (sin información) seguidos, y  $L4$  que indica si algo anormal ocurrió es decir, si  $L4$  es menor que  $I4 + 3$ , entonces ocurrió algo anormal, como por ejemplo no encontrar el archivo requerido.

La tercera función de esta subrutina es la de grabar un bloque de registros apuntadores al cassette de directorio, o grabar los datos de un muestreo en la cubeta que le corresponda. Esta función se utiliza generalmente cuando se desea modificar algún registro apuntador de un determinado bloque es decir, si se desea cambiar algún registro, se cambia éste y se graba todo el bloque que contiene dicho registro. Los parámetros que necesita esta función son:  $L1$  (número de cassette) e  $I2$  que indica si se realiza o no esta función (si  $I2=0$  si se realiza). El programa P-10 es la implementación en basic de esta subrutina.

Subrutina decodifica.- Esta subrutina actúa sobre los registros apuntadores o los registros del bit map (figura 3.9), ya sea cambiando un registro u obteniendo cada uno de sus bytes. Recordemos que los registros son caracteres alfanuméricos, y para manejarlos como números se tiene que hacer una transformación a caracteres enteros o numéricos. Los paráme--

tros que necesita esta subrutina son: IE, que indica el número de registro que se va a tratar en el bloque que esta en el arreglo alfanumérico; IM que indica si se va a cambiar el registro o se van a obtener los bytes del mismo, Si IM=0 nos indica que el registro se va a modificar, en caso contrario se obtienen -- los bytes. Esta subrutina utiliza un arreglo de números enteros para transferir los bytes obtenidos del registro en caso de que IM sea diferente de cero, y utiliza este mismo arreglo para disponer de los bytes pasados como parámetros, con lo cual se va a modificar el registro en caso de que IM=0.

En la implementación en basic, se utiliza el arreglo alfanumérico P(X) para almacenar el bloque de datos que se está tratando, y se utiliza el arreglo entero K(X) para hacer la -- transferencia de parámetros. El programa P.11 es la implementación en basic de esta subrutina.

Subrutina rectifica.- esta subrutina rectifica una grabación recién hecha, ya sea de bloques de registros o de datos de un muestreo; en el primer caso lee el bloque que ha sido grabado, y lo compara con el bloque original, y en caso de haber diferencias se vuelve a grabar, hasta que la transferencia sea correcta. En el segundo caso se manda llamar de la subrutina grabación. un programa en lenguaje de máquina que checa la grabación de los datos del muestreo byte por byte, y en caso de diferencia, se vuelve hacer la grabación de los datos. El programa P.12 muestra la implementación de esta subrutina en basic.

Subrutina grabación.- Esta subrutina está compuesta de tres partes, las cuales tienen relación con los datos obtenidos en un muestreo; en la primera parte se graban los datos, y el encabezado de los mismos de memoria principal a cassette, en la segunda se graban los datos y el encabezado del cassette a memoria, y en la tercera se checan si los datos están bien gra-

```

0 'Subrutina Coloca
1 IF L3>32 THEN 960
2 X=4.35:IF L1>0 THEN I3=32:PRINT@581,"DATOS #":L1: GOTO 952
4 PRINT@581,"DIRECTORIO":IF L2=2 THEN L3=L3/3.2+1: I3=4: GOTO 952
6 IF L3>2 THEN X=13.35:I3=12:GOTO 952
8 IF L3=0 THEN K1=2 ELSE IF L3=1 THEN K1=17 ELSE K1=63
0 GOTO 954
2 IF L3=1 THEN K1=2 ELSE TX=(L3-1)*29.8/I3:K1=-.1722*(TX)[2+19.3213*TX+X
4 PRINT@600,L2:PRINT@609,K1" ":PRINT@619," <PLAY> "
6 PRINT@878,"LISTO"E2::INPUT K1:PRINT@878,"-----":INPUT#-1,K1
8 IF K1<>L3 THEN K1=1/0 ELSE PRINT@895,
0 IF I4=0 THEN 978 ELSE I5=0
2 FOR L4=1 TO I4
4 INPUT#-1,F(0),F(1),F(2),F(3),F(4),F(5),F(6),F(7),F(8),F(9),F(10),F(11),F(12)
),F(22),F(23),F(24),F(25),F(26),F(27),F(28),F(29),F(30),F(31)
6 IF IM=0 THEN 976 ELSE IE=0
7 GOSUB 988
8 IF K(0)<>1 THEN I5=0 ELSE I5=I5+1:IF I5=80 THEN L4=I4+1:GOTO 976
0 IF IA <> K(0) OR IM<>K(1) THEN 974
2 IF IO=K(2) AND IN=K(3) THEN I3=I4:I4=L4:L4=I3+5:GOTO 976
4 IE=IE+1: IF IE<32 THEN 968
6 NEXT L4: IF L4<I4+3 AND IM<>0 PRINT@896,E4:
8 IF I2<>0 RETURN ELSE PRINT@609,"-----":PRINT@619,"<PLAY>&<RECORD>"
0 PRINT@878,"LISTO"E2::INPUT K1: PRINT@878,"-----"
2 IF L1<>0 THEN POKE 16526,116:POKE 16527,127:K1=USR(JP):POKE JP-25,45:RETURN
4 PRINT#-1,F(0),F(1),F(2),F(3),F(4),F(5),F(6),F(7),F(8),F(9),F(10),F(11),F(12)
),F(22),F(23),F(24),F(25),F(26),F(27),F(28),F(29),F(30),F(31)
6 RETURN

```

Programa P.10 Subrutina Coloca.

```

7 'Subrutina Decodifica
8 I3=LEN(F(IE)): IF IM<>0 THEN 992 ELSE F(IE)=CHR$(K(0))
0 FOR L5=1 TO I3-1: F(IE)=F(IE)+CHR$(K(L5)):NEXT L5: GOTO 994
2 FOR L5=1 TO I3: K(L5-1)=ASC(MID$(F(IE),L5,1)): NEXT L5
4 RETURN

```

Programa P.11 Subrutina Decodifica.

```

5 'Subrutina Rectifica
6 PRINT@896,"CHECAS GRABACION <SI/NO>":INPUT A2:IF A2="NO" THEN RETURN
7 I2=1
8 IF L1<>0 GOSUB 940: POKE 16526,178:POKE 16527,127:L5=USR(JP):GOTO 1008
00 FOR L5=0 TO 31: F(L5+32)=F(L5):NEXT L5:I4=I4+1:GOSUB 940
02 FOR L5=0 TO 31:IF F(L5+32)=F(L5) THEN 1006
04 FOR L4=0 TO 31:F(L4)=F(L4+32):NEXT L4:L5=35
06 NEXT L5
08 IF L5>34 PRINT@896,E3
10 RETURN

```

Programa P.12 Subrutina Rectifica.



bados, leyendo y comparando los datos byte por byte. Esta subrutina aprovecha otras subrutinas que están en el monitor de la microcomputadora, las cuales son útiles para la grabación de los datos y para apagar la grabadora al final de cada proceso. En el programa P.13 se muestra la implementación de esta subrutina en lenguaje ensamblador y en lenguaje de máquina.

### 3.2.3 Programa en tiempo real.

Subrutina de Muestreo.- Esta subrutina es la que hace propiamente el muestreo de los datos, sincronizando el tiempo de obtención de los mismos, y accionando las señales de control para establecer una comunicación apropiada con la etapa de hardware (capítulo 2). En la figura 3.14 se muestran los puertos de entrada/salida utilizados por esta subrutina para comunicarse con la etapa de hardware; el puerto 6 es un puerto de entrada con 8 bits de resolución, el cual se utiliza para obtener los datos del muestreo. El puerto 5 es un puerto de entrada, del cual se utilizan dos bits para recibir las señales de control de la etapa de hardware; las letras utilizadas en la figura 3.14, son las mismas que se emplearon en el capítulo 2, de esta manera, en el bit 0 del puerto 5 se recibe la señal que proviene del circuito de control de la etapa de hardware (A), la cual indica si se está lanzando la señal sonora (A= 1 lógico se está lanzando la señal sonora); en el bit 1 del puerto, se recibe la señal que proviene del convertidor analógico/digital (D), la cual indica si un dato está listo para ser tomado (D= 0 lógico indica que el dato está listo). El puerto 2 es un puerto de salida, del cual se utilizan los 3 primeros bits para enviar las señales de control, en el primer bit (W) se envía la señal al circuito de control para que inicie un ciclo de muestreo (W cambia de 0 a 1, se inicia el ciclo de muestreo); el segundo bit (Y) se utiliza para iniciar el funcionamiento del convertidor analógico/digital (para iniciar, Y= 0 lógico por un instante y después se pone en uno ló-

	01260	;SUBRUTINAS QUE GRABAN DE Y HACIA CASSETTE		
7F74	01270	ORG	7F74H	;GRABA DE MEMORIA A CASSETTE
7F74 CD7F0A	01280	CALL	0A7FH	;PASA PARAMETRO -> HL
7F77 CDDD7F	01290	CALL	COMI	;AJUSTA VALORES DE APUNTADES
7F7A E5	01300	PUSH	HL	
7F7B C5	01310	PUSH	BC	;GUARDA APUNTADES
7F7C CD8702	01320	CALL	0287H	;ESCRIBE CABEZA DE DATOS (CEROS)
7F7F C1	01330	POP	BC	
7F80 E1	01340	POP	HL	;SACA APUNTADES
7F81 7E	01350	LD	A,(HL)	;A <- VALOR QUE SE VA A GRABAR
7F82 23	01360	INC	HL	
7F83 E5	01370	PUSH	HL	
7F84 C5	01380	PUSH	BC	;GUARDA APUNTADES
7F85 CD6402	01390	CALL	0264H	;GRABA 1 BYTE
7F88 C1	01400	POP	BC	
7F89 E1	01410	POP	HL	;SACA APUNTADES
7F8A 0B	01420	DEC	BC	
7F8B 78	01430	LD	A,B	
7F8C B1	01440	OR	C	;BC=0?
7F8D 20F2	01450	JR	NZ,PRI	
7F8F CDF801	01460	CALL	01F8H	;APAGA GRABADORA
7F92 C9	01470	RET		
	01480	;PROGRAMA QUE GRABA DE CASSETTE A MEMORIA		
7F93	01490	ORG	7F93H	;GRABA DE CASSETTE A MEMORIA
7F93 CD7F0A	01500	CALL	0A7FH	;PASA PARAMETRO -> HL
7F96 CDDD7F	01510	CALL	COMI	;AJUSTA VALORES A APUNTADES
7F99 E5	01520	PUSH	HL	
7F9A C5	01530	PUSH	BC	;GUARDA APUNTADES
7F9B CD9602	01540	CALL	0296H;	;ENCUESTRA BYTE DE SINCRONIA
7F9E C1	01550	POP	BC	
7F9F E1	01560	POP	HL	;SACA APUNTADES
7FA0 E5	01570	PUSH	HL	
7FA1 C5	01580	PUSH	BC	;GUARDA APUNTADES
7FA2 CD3502	01590	CALL	0235H	;LEE 1 BYTE
7FA5 C1	01600	POP	BC	
7FA6 E1	01610	POP	HL	;SACA APUNTADES
7FA7 77	01620	LD	(HL),A	;GUARDA DATO EN MEMORIA
7FA8 23	01630	INC	HL	
7FA9 0B	01640	DEC	BC	
7FAA 78	01650	LD	A,B	
7FAB B1	01660	OR	C	;BC=0?
7FAC 20F2	01670	JR	NZ,PRO	
7FAE CDF801	01680	CALL	01F8H	;APAGA GRABADORA
7FB1 C9	01690	RET		

Programa P.13 Subrutina Grabación.

	01700	:PROGRAMA QUE CHECA SI	ESTAN BIEN GRABADOS LOS DATOS
7FB2	01710	ORG	7FB2H ;POSICION DE INICIO
7FB2 CD7F0A	01720	CALL	0A7FH ;PASA PARAMETRO -> HL
7FB5 CDD07F	01730	CALL	COMI ;AJUSTA VALORES DE APUNTAORES
7FB8 E5	01740	PUSH	HL
7FB9 C5	01750	PUSH	BC ;GUARDA APUNTAORES
7FBA CD9602	01760	CALL	0296H ;ENCUENTRA BYTE DE SINCRONIA
7FBD C1	01770	POP	BC
7FBE E1	01780	POP	HL ;SACA APUNTAORES
7FBF E5	01790 PRU	PUSH	HL
7FC0 C5	01800	PUSH	BC ;GUARDA APUNTAORES
7FC1 CD3502	01810	CALL	0235H ;LEE 1 BYTE
7FC4 C1	01820	POP	BC
7FC5 E1	01830	POP	HL ;SACA APUNTAORES
7FC6 BE	01840	CP	(HL) ;ES IGUAL AL BYTE EN MEMORIA?
7FC7 200B	01850	JR	NZ,ER ;SI NO ES IGUAL, ERROR
7FC9 23	01860	INC	HL
7FCA 0B	01870	DEC	BC ;AJUSTA APUNTAORES
7FCB 78	01880	LD	A,B ;A <- B
7FCC B1	01890	OR	C ;BC=0?
7FCD 20F0	01900	JR	NZ,PRU
7FCF 210000	01910	LD	HL,0D ;HL <- 0
7FD2 1803	01920	JR	TER
7FD4 212800	01930 ER	LD	HL,28H ;HL <- 40
7FD7 CDF801	01940 TER	CALL	01F8H ;APAGA GRABADORA
7FDA C39A0A	01950	JP	0A9AH ;ENVIA HL COMO PARAMETROS
7FDD 11E8FF	01960 COMI	LD	DE,-24D ;DE <- (-24)
7FE0 19	01970	ADD	HL,DE ;HL <- HL-24
7FE1 01E807	01980	LD	BC,2024D ;BC <- # DATOS +24
7FE4 3E00	01990	LD	A,0H ;CASSETTE PUESTO
7FE6 E5	02000	PUSH	HL
7FE7 C5	02010	PUSH	BC ;GUARDA APUNTAORES
7FE8 CD1202	02020	CALL	0212H ;DEFINE EL MANEJO
7FEB C1	02030	POP	BC
7FEC E1	02040	POP	HL ;SACA APUNTAORES
7FED C9	02050	RET	
0000	02060	END	

Programa P.13 continuación.

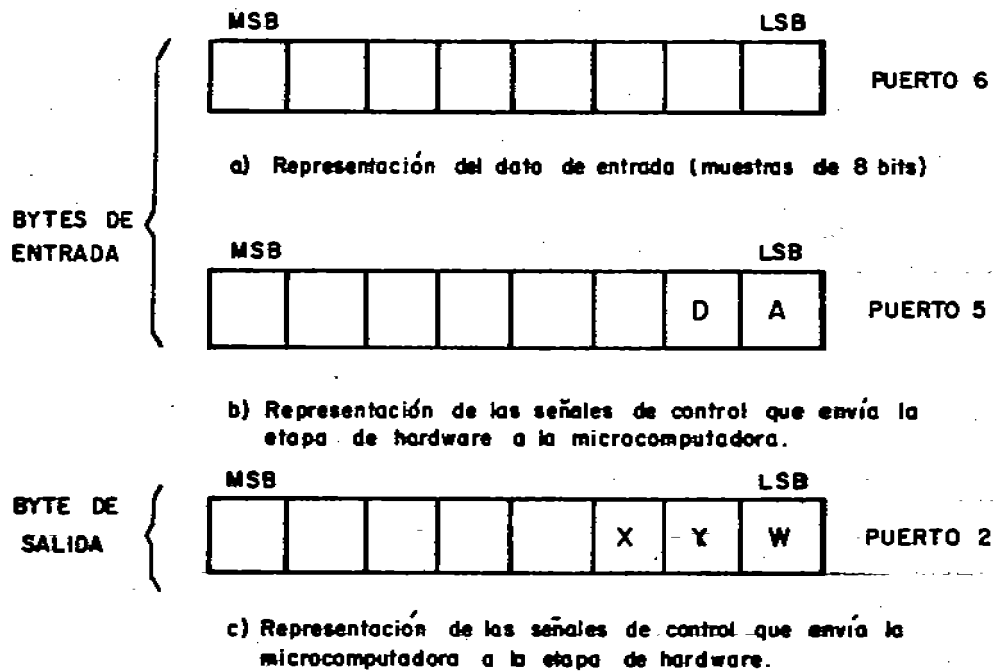


FIG. 3.14 Puertos de E/S y bits que utiliza la microcomputadora para comunicarse con la etapa de hardware.

gico. Ver diagrama de tiempos de la figura 2.9); el tercer -- bit del puerto 2 (X), se utiliza para controlar el detector de valores máximos (X=1 lógico, en operación el detector de máximos, X= 0 lógico no trabaja el detector de máximos, salida = 0)

El parámetro que necesita esta subrutina es la posición inicial de los datos, a partir de ahí pone 2000 datos de 8 bits en orden; esta subrutina trabaja en tiempo real, y para obtener los retardos ó intervalos de tiempo lo más exacto posible, ve el número de ciclos de máquina que absorbe cada ins -- trucción o cada conjunto de instrucciones, y se divide entre -- la frecuencia de operación de la microcomputadora, así obtenemos el tiempo real que tardan las instrucciones, y así también podemos sincronizar el tiempo entre procesos [15]. Por ejem-- plo, la frecuencia de oscilación de la microcomputadora utilizada es de 1.774 Mhz, y para obtener el retardo de un segundo, -- necesitamos que se ejecuten un conjunto de instrucciones que -- absorban un total de 1774000 ciclos de máquina.

Esta subrutina primeramente inicializa el circuito -- de control de la etapa de hardware, y se espera a que se lance la señal sonora, después almacena un número en el encabezado de los datos que es proporcional al tiempo que dura dicha señal (ver -- figura 3.3). Claro está que si alguno de los procesos que re-- quiere algún control de tiempo, se pasa del límite establecido, la subrutina marcará error, devolviendo como parámetro un cero, que es el indicador en este caso.

Después de lanzar la señal, la subrutina ejecuta un -- retardo de acuerdo a la ventana que se quiera muestrear, así -- por ejemplo para muestrear la ventana uno, el retardo es de 0 -- segundos y para muestrear la ventana 5, el retardo es de 4 se -- gundos. Enseguida se empieza a tomar las muestras de la siguien -- te manera: primeramente se inicia el detector de máximos, --

y luego al convertidor analógico digital, y se espera hasta - que el dato esté listo; después de ésto, se toma la muestra y - se hace un retardo para que el intervalo de tiempo entre cada toma de datos sea uniforme. Así, el proceso se repite 2000 - veces hasta que se tomen todos los datos. Debemos mencionar - que el retardo que se da entre dato y dato varía de acuerdo - al valor del mismo, porque si vemos el funcionamiento del con - vertidor analógico/digital (capítulo 2), se absorbe mas tiem - po al detectar un dato que indique 255 que uno que indique un 0; así pués, se seleccionó un retardo entre dato y dato que - sea mayor al tiempo que pueda durar el convertidor analógico/ digital al dar el valor máximo, dicho retardo es de .5 milise - gundos. Finalmente cuando se tomen todos los datos, se de - sactiva el circuito de control. En la figura 3.15 se muestra el diagrama de flujo de esta subrutina, y el programa p.14 es la implementación en lenguaje ensamblador y en lenguaje de má - quina.

#### 3.2.4 Programas Auxiliares.

Subrutina de inicio.- Esta subrutina se ejecuta an - tes del programa principal y trata de dar una idea al usuario de que es lo que hacen todos los programas en conjunto desde - un punto de vista global, indicando también la interacción de la etapa de hardware con la etapa de software. El programa - P.15 muestra esta subrutina implementada en basic.

Subrutina suma 125 datos.- Esta subrutina fue hecha únicamente para aumentar la velocidad de ejecución al obtener la media aritmética de los datos en la subrutina de valores - estadísticos, y el tiempo de ejecución se redujo considerable - mente (de más de 1 minuto, a menos de 5 segundos). La subru - tina necesita como parámetro la dirección del dato, a partir -

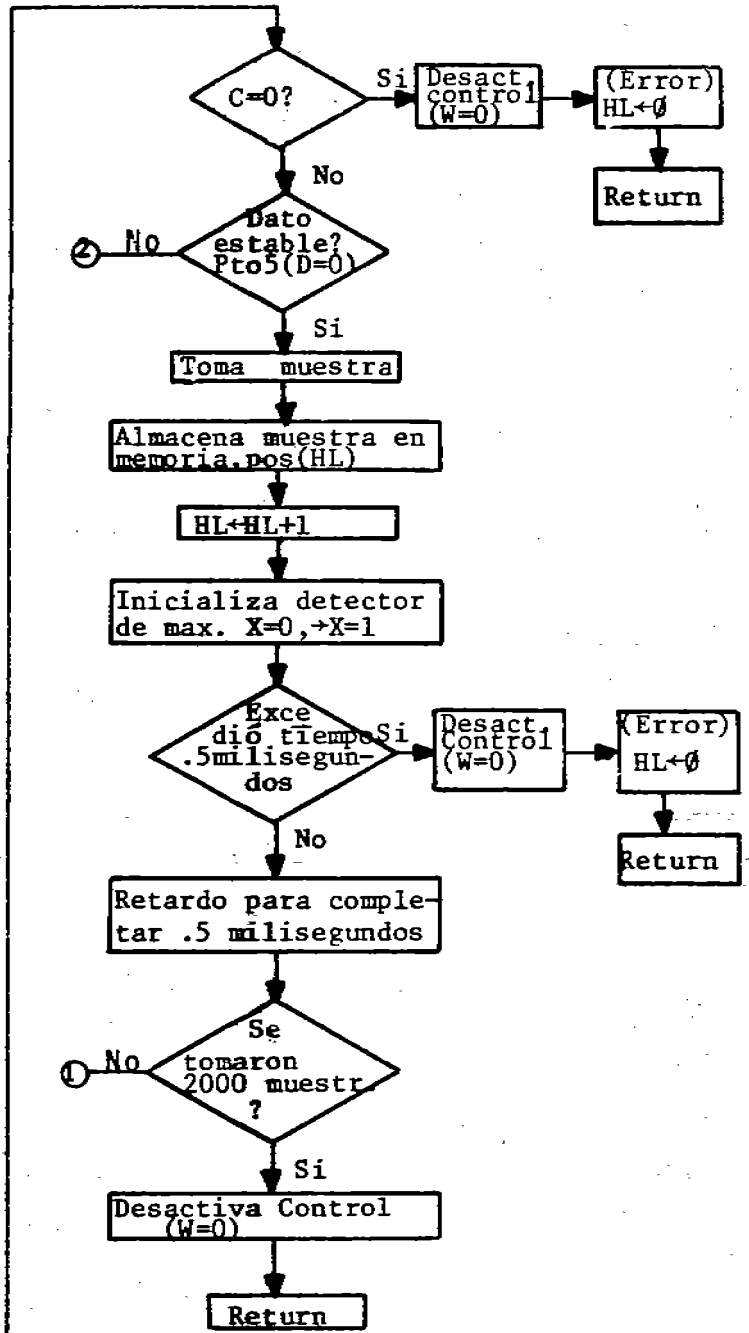
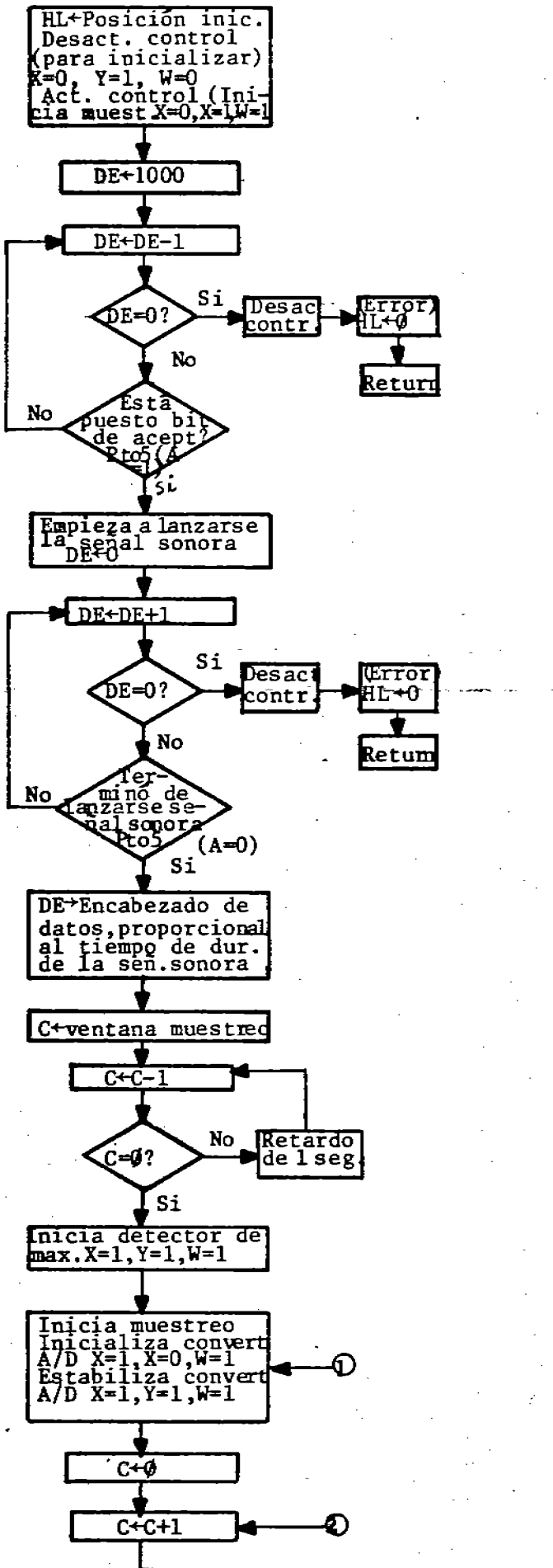


Figura 3.15. Diagrama de Flujo de la subrutina de muestreo.

```

00010 ;PROGRAMA QUE REALIZA EL MUESTREO
7E87      00020      ORG      7E87H      ;FRECUENCIA (TRS-80)=1.7735 MHZ.
7E87 CD7F0A 00030      CALL     0A7FH      ;PASA PARAMETRO -> HL
7E8A 3E02   00040      LD       A,2D
7E8C D302   00050      OUT      (2),A      ;DEACTIVA CONTROL
7E8E 3C     00060      INC      A
7E8F D302   00070      OUT      (2),A      ;ACTIVA CONTROL, INICIA MUESTREO
7E91 111027 00080      LD       DE,10000D ;DE<-RETARDO PARA BIT DE ACCEPT.
7E94 0E01   00090      LD       C,1D      ;MASCARA PRIMER BIT
7E96 180A   00100      JR       PRUEB
7E98 3E02   00110  ERRO    LD       A,2D      ;SALTA AQUI EN CASO DE ERROR
7E9A D302   00120      OUT      (2),A      ;DEACTIVA CONTROL
7E9C 210000 00130      LD       HL,0D     ;HL <- 0
7E9F C39A0A 00140      JP      0A9AH     ;ENVIA HL COMO PARAMETROS
7EA2 1B     00150  PRUEB  DEC      DE
7EA3 7A     00160      LD       A,D
7EA4 B3     00170      OR       E          ;DE=0?
7EA5 28F1   00180      JR      Z,ERRO    ;SI DE=0 SALTA A ERROR
7EA7 DB05   00190      IN      A,(5)
7EA9 A1     00200      AND     C          ;ESTA PUESTO BIT DE ACEPTACION?
7EAA 28F6   00210      JR      Z,PRUEB  ;SI NO ESTA PUESTO HAZ TIEMPO
7EAC 110000 00220      LD      DE,0D     ;CARGA CONTADOR.
7EAF 13     00230  SONI    INC      DE
7EB0 7A     00240      LD      A,D
7EB1 B3     00250      OR      E          ;DE=0?
7EB2 28E4   00260      JR      Z,ERRO    ;SI DE=0 SALTA A ERROR
7EB4 DB05   00270      IN      A,(5)
7EB6 A1     00280      AND     C          ;SE LANZO EL SONIDO?
7EB7 C2AF7E 00290      JP      NZ,SONI  ;SI NO SE HA LANZADO HAZ TIEMPO
7EBA ED53A276 00300     LD      (30370D),DE ;ALMACENA DURACION DE SONIDO
7EBE 3AA476 00310     LD      A,(30372D) ;A<- VENTANA DE MUESTREO
7EC1 4F     00320     LD      C,A
7EC2 0D     00330  VEZ    DEC      C
7EC3 2810   00340      JR      Z,LISTO  ;SI C=0 EMPIEZA MUESTREO
7EC5 119801 00350     LD      DE,40BD  ;PROVOCA RETARDO DE 1 SEGUNDO
7EC8 1B     00360  OTRA   DEC      DE
7EC9 06FE   00370     LD      B,254D  ;RETARDO DE 2.5 MILISEGUNDOS
7ECB 00     00380  SEC    NOP
7ECC 10FD   00390     DJNZ   SEC
7ECE 7A     00400     LD      A,D
7ECF B3     00410     OR      E          ;DE=0 ?
7ED0 20F6   00420     JR      NZ,OTRA
7ED2 C3C27E 00430     JP      VEZ

```

Programa P.14 Subrutina de Muestreo.



7ED5	ED5BB476	00440	LISTO	LD	DE,(30388D) ;DE<- # DE DATOS
7ED9	3E07	00450	COM	LD	A,7
7EDB	D302	00460		OUT	(2),A ;TOMA MUESTRA
7EDD	3E05	00470		LD	A,5
7EDF	D302	00480		OUT	(2),A ;INICIALIZA CONVERTIDOR A/D
7EE1	3E07	00490		LD	A,7
7EE3	D302	00500		OUT	(2),A ;ESTABILIZA CONVERTIDOR A/D
7EE5	0602	00510		LD	B,2D ;PARA PROBAR BIT 1
7EE7	0E00	00520		LD	C,0 ;INICIA CONTADOR
7EE9	0C	00530	ATRA	INC	C ;INCREMENTA CONTADOR
7EEA	CA987E	00540		JP	Z,ERRO ;SI C=0 HAY ERROR
7EED	D805	00550		IN	A,(5)
7EEF	A0	00560		AND	B ;DATO ESTABLE?
7EF0	C2E97E	00570		JP	NZ,ATRA ;SI DATO NO ESTABLE, OTRA PRUEBA
7EF3	D806	00580		IN	A,(6) ;TOMA MUESTRA
7EF5	77	00590		LD	(HL),A ;CARGA A MEMORIA
7EF6	3E03	00600		LD	A,3
7EF8	D302	00610		OUT	(2),A ;SE INICIALIZA PARA MUESTREAR
7EFA	23	00620		INC	HL
7EFB	1B	00630		DEC	DE ;POSICIONES PARA TOMAR OTRO DATO
7EFC	3E07	00640		LD	A,7
7EFE	D302	00650		OUT	(2),A ;EN PROCESO DETECTOR DE MAXIMOS
7F00	CB21	00660		SLA	C ;C * 2
7F02	3E25	00670		LD	A,37D ;RETARDO PARA COMPLETAR .0005 SEG
7F04	91	00680		SUB	C ;A<- A-C
7F05	FA0E7F	00690		JP	M,CONT ; A<0 ?
7F08	47	00700		LD	B,A ;AJUSTE DE RETARDO A .5 MILISEG.
7F09	05	00710	TARDO	DEC	B
7F0A	F8	00720		RET	M ;AJUSTA RETARDO
7F0B	C2097F	00730		JP	NZ,TARDO
7F0E	C60C	00740	CONT	ADD	A,12D ;A <- (37-2*C)+12
7F10	FA987E	00750		JP	M,ERRO ;EXCEDIO TIEMPO PERMITIDO?
7F13	7A	00760		LD	A,D
7F14	B3	00770		OR	E ;DE=0 ?
7F15	C2D97E	00780		JP	NZ,COM ;SI DE <> 0 TOMA OTRA MUESTRA
7F18	3E02	00790		LD	A,2D
7F1A	D302	00800		OUT	(2),A ;DESACTIVA CONTROL

Programa P.14 continuación.

```

1      'Subrutina de Inicio
2      'SUBROUTINA QUE PONE LETREROS DE INSTRUCCIONES
4 CLS:   PRINT CHR$(23): PRINT
6 PRINT TAB(6)"TESIS DE MAESTRIA": PRINT: PRINT
8 PRINT TAB(3)"PROGRAMA QUE REALIZA EL"
10 PRINT TAB(3)"ECO - SONDEO - ACUSTICO"
12 PRINT"Y ANALIZA LOS DATOS OBTENIDOS": PRINT: PRINT: PRINT
14 PRINT TAB(9)"PROGRAMADO POR : "
16 PRINT TAB(2)"MARIO ALBERTO DELGADO CORONA"
18 FOR I%=0 TO 5000 STEP 1 : NEXT I%
20 CLS: PRINT
22 PRINT TAB(8)"EXISTE UNA INTERFASE <POR HARDWARE> QUE SE ENCARGA"
24 PRINT"DE ENVIAR UN SONIDO A LA ATMOSFERA Y DE RECOGER EL ECO QUE"
26 PRINT"SE PRODUCE (PARA DETECTAR CAPAS DE INVERSION <MAYOR INTENSIDAD"
28 PRINT"DEL ECO, MAYOR INVERSION>) POR MEDIO DE UN MICROFONO PUESTO"
30 PRINT"EN UNA PARABOLA.": PRINT
32 PRINT TAB(8)"LA SENAL QUE SE RECOGE ES PROCESADA (PREAMPLIFICADA,"
34 PRINT"COMPENSADA LINEALMENTE, FILTRADA Y CONVERTIDA A SENAL DIGITAL"
36 PRINT"PARA SER ALIMENTADA A LA MICRO-COMPUTADORA).":PRINT
38 PRINT TAB(8)"ESTE PROGRAMA TOMA 2000 MUESTRAS DE LA SENAL EN UN"
40 PRINT"TIEMPO DE 1 SEGUNDO DE ACUERDO A LA VENTANA QUE SE DESEE"
42 PRINT"MUESTREAR (DESDE EL PRIMER SEGUNDO HASTA EL QUINTO SEGUNDO"
44 PRINT"DESPUES DE LANZADA LA SENAL).<FREC. DE OPERACION= 2000 HZ.>"
46 PRINT TAB(15);:INPUT">>>> PRESIONA ENTER PARA CONTINUAR":I%
48 CLS: PRINT: PRINT TAB(8)"LAS MUESTRAS OBTENIDAS PUEDEN SER:"
50 PRINT TAB(10)"A)- GRABADAS EN CASSETTE."
52 PRINT TAB(10)"B)- PUESTAS EN GRAFICADORA O EN PANTALLA (COMO DATOS"
54 PRINT TAB(15)"O EN FORMA DE COORDENADAS CARTESIANAS) DESDE"
56 PRINT TAB(15)"CASSETTE O DESDE MEMORIA PRINCIPAL.": PRINT
58 PRINT TAB(8)"ADEMAS EL PROGRAMA HACE EL ANALISIS ESTADISTICO DE LOS"
60 PRINT"DATOS (MEDIA ARITMETICA, DESVIACION STANDAR, ETC.), PIDE FECHA"
62 PRINT"Y HORA AL TOMAR LOS DATOS PARA TENER UNA REFERENCIA Y PODER EN"
64 PRINT"SU CASO GRABAR LOS DATOS DESDE CASSETTE.": PRINT
66 PRINT TAB(10)"<ENCIENDE FUENTE DE INTERFASE (HARDWARE)>": PRINT
68 PRINT TAB(15);:INPUT">>>> PRESIONA ENTER PARA EMPEZAR":I%
70 CLS: PRINT @454;:INPUT"LISTO CASSETTE EN PLAY <ENTER>":I%
72 PRINT @452;"CUANDO APARESCA >READY, ...TECLEA RUN <ENTER>"
74 CLOAD "2": END

```

Programa P.15 Subrutina de Inicio.

de la cual suma 125 datos (8 bits) sucesivamente, y regresa la suma de los datos como parámetro. El programa P.16 muestra la implementación de esta subrutina en ensamblador y en lenguaje de máquina.

Las siguientes subrutinas auxiliares, fueron hechas para evitar duplicidad de código.

Subrutina fecha hora.- Esta subrutina pide la fecha (día, mes, año) y la hora (hora, minuto) al usuario, chequeando que los datos no se salgan de sus límites, los datos obtenidos sirven como identificadores de un muestreo, diferenciándose así de otro muestreo. Cuando se realiza un muestreo, esta subrutina guarda los datos (fecha y hora) en el encabezado de los mismos, de acuerdo a su posición en la figura 3.3, con la siguiente variante, al año, hora y minuto les suma un uno, para evitar que los registros que ocupen estos datos tengan un valor de cero, porque como vimos en el programa de control de grabación y directorio, existen problemas al grabar dicho valor. El programa P.17 muestra la implementación de esta subrutina en basic.

Subrutina estadística.- Esta subrutina obtiene del encabezado de los datos, los valores mínimo, máximo y sus direcciones, y calcula el tiempo en que fueron tomados dichos valores; en base a dicho tiempo calcula la altura aproximada de detección. Estos datos se obtienen con el propósito de mostrarlos al usuario ya sea en pantalla o en graficadora. El parámetro que necesita esta subrutina es IE, que controla el desplazamiento que va a tener el letrero de la impresión. El programa P.18 muestra la implementación de esta subrutina en basic.

Subrutina adornos.- Esta subrutina se aplica para poner márgenes a los letreros que utilizan otros programas es

```

01120 ;PROGRAMA QUE SUMA 125 DATOS A PARTIR DE (HL)
7F58 01130      ORG      7F58H      ;POSICION DE INICIO
7F58 CD7F0A 01140      CALL     0A7FH      ;PASA PARAMETRO ->HL
7F5B E5      01150      PUSH     HL
7F5C DDE1     01160      POP      IX      ;IX <- HL
7F5E 210000 01170      LD       HL,0D
7F61 010000 01180      LD       BC,0D      ;INICIALIZA VALORES
7F64 3E7D     01190      LD       A,125D      ;CONTADOR
7F66 DD4E00 01200 SUMA    LD       C,(IX+0)
7F69 09      01210      ADD     HL,BC      ;HL<- HL+C
7F6A DD23     01220      INC     IX      ;IX <-IX+1
7F6C C6FF     01230      ADD     A,-1D      ;A <-A-1
7F6E C2667F 01240      JP      NZ,SUMA    ; A=0?
7F71 C39A0A 01250      JP      0A9AH; ;ENVIA HL COMO PARAMETROS

```

Programa P.16 Subrutina Suma 125 Datos.

```

1014 'Subrutina Fecha Hora
1015 HA=100: HN=60: PRINT@448,:
1017 INPUT'DAME FECHA (DIA<1-31>, MES<1-12>, AÑO<0-99>):HD, HM, HA
1019 IF (HD-1)*(HD-31)>0 OR (HM-1)*(HM-12)>0 OR HA*(HA-99)>0 THEN 1017
1021 PRINT@512,:INPUT'(HORA<0-23>, MINUTOS<0-59>):HO, HN
1023 IF HO*(HO-23)>0 OR HN*(HN-59)>0 THEN 1021 ELSE IF A1 <>'M' RETURN
1025 K1=HM: I3=(HA+1)*2: IF HM>7 THEN I3=I3+1: K1=HM-8
1027 K1=K1*32+HD: POKE JP-24, I3: POKE JP-23, K1
1029 POKE JP-22, HO+1: POKE JP-21, HN+1: RETURN

```

Programa P.17 Subrutina Fecha Hora.

```

698 'Subrutina Estadística
700 XM=0: XD=0: L1=0: L2=0: K1=VARPTR(XM): K2=VARPTR(XD)
704 FOR I2=0 TO 3: POKE K1+I2, PEEK(JP-16+I2): POKE K2+I2, PEEK(JP-12+I2)
712 NEXT I2: K1=VARPTR(L1): K2=VARPTR(L2): K3=VARPTR(I2)
713 FOR I3=0 TO 1: POKE K1+I3, PEEK(JP-7+I3): POKE K2+I3, PEEK(JP-4+I3)
714 POKE K3+I3, PEEK(JP-20+I3): NEXT I3
715 L1=L1-JP+1: L2=L2-JP+1
716 T0=(47+I2*45)/1773.552: TB=(PEEK(JP-18)-1)*1000+T0
718 TE= 20.0987*SQR(PEEK(JP-17)+200)
720 TX=TB+(L1-1)*XR: TB=TB+(L2-1)*XR: A1="####.###"
722 PRINT TAB(1+22*IE)"Media aritmetica=":PRINT USING A1;XM;
724 PRINT TAB(30-16*IE)"Desviacion estandar=":PRINT USING A1;XD
726 PRINT " ":PRINT TAB(22*IE)"Especificacion":PRINT TAB(15-10*IE)"VALOR":
728 PRINT TAB(21-16*IE)"Dato#":PRINT TAB(28-22*IE)"Tiempo(milisegundos)":
730 PRINT TAB(50-45*IE)"Alturas (mts.)": PRINT " "
732 PRINT TAB(1+22*IE)"Valor minimo":I2=8: GOSUB 739
738 PRINT TAB(1+22*IE)"Valor maximo":I2=5: L1=L2: TX=TB
739 PRINT TAB(16-9*IE):PRINT USING "###":PEEK(JP-I2);
740 PRINT TAB(21-15*IE):PRINT USING E1; L1:PRINT TAB(32-22*IE);
741 PRINT USING A1;TX;
742 PRINT TAB(51-35*IE):PRINT USING A1;TE*TX/2000:RETURN

```

Programa P.18 Subrutina Estadística.

```

799 'Subrutina Adornos
800 FOR I2=L1 TO L1+62 STEP 2: PRINT@I2, "- " : NEXT I2
802 FOR I2=L2 TO L2+62 STEP 2: PRINT@I2, " -" : NEXT I2: RETURN

```

Programa P.19 Subrutina Adornos.

decir, llena con guiones dos renglones indicados. Necesita como parámetros, L1 que es la posición de inicio de uno de los renglones que va a ser llenado, y L2 que es la posición de inicio del otro renglón. El programa P.19 muestra la implementación de esta subrutina en basic.

Subrutina letrero.- Esta subrutina se utiliza para poner los letreros que indican al usuario cual cassette poner y en que lado, así como también la posición en la grabadora y las teclas que hay que presionar en la misma; se usa en la subrutina de control de grabación y directorio. El programa P.20 muestra la implementación de esta subrutina en basic.

Subrutina busca.- Esta subrutina pide fecha y hora, y de acuerdo a estos datos, ajusta las variables IA, IM, IO, e IN, para buscar en el directorio algún registro apuntador (Ver figura 3.10) que coincida con los datos pedidos. El programa P.21 muestra la implementación de esta subrutina en basic.

```
924      'Subrutina Letrero
925 PRINT@320,"PON GRABADORA 'CON CUIDADO' COMO SIGUE":PRINT:PRINT:PRINT
926 PRINT:PRINT@454,"CASSETTE":PRINT@470,"LADO": PRINT@479,"POSICION"
928 PRINT@495,"TECLA(S)": RETURN
```

Programa P.20 Subrutina Letrero.

```
929      'Subrutina Busca
930 PRINT@319,:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT: GOSUB 1015:GOSUB 924
932 IA=(HA+1)*2:IM=HM: IF HM>7 THEN IA=IA+1:IM=HM-8
934 IM=IM*32+HD: IO=HO+1: IN=HN+1:L3=HM:I4=15
936 GOSUB 940: IF I5=80 THEN PRINT E2::GOTO 939
938 IF L4<I4+3 THEN L2=2: I4=50:GOSUB 940
939 RETURN
```

Programa P.21 Subrutina Busca.

## CAPITULO 4

### RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados que en este capítulo se presentan, son el producto de una serie de experimentos, que nos muestran en una forma objetiva el funcionamiento general del proyecto. Aquí se verán las características del micrófono, la antena, las bocinas y de la etapa de hardware, también las gráficas obtenidas con el sistema de eco sondeo, en donde conjuntamente se elevó un globo radio sonda, para hacer un análisis comparativo entre ambos.

#### 4.1 Micrófono.

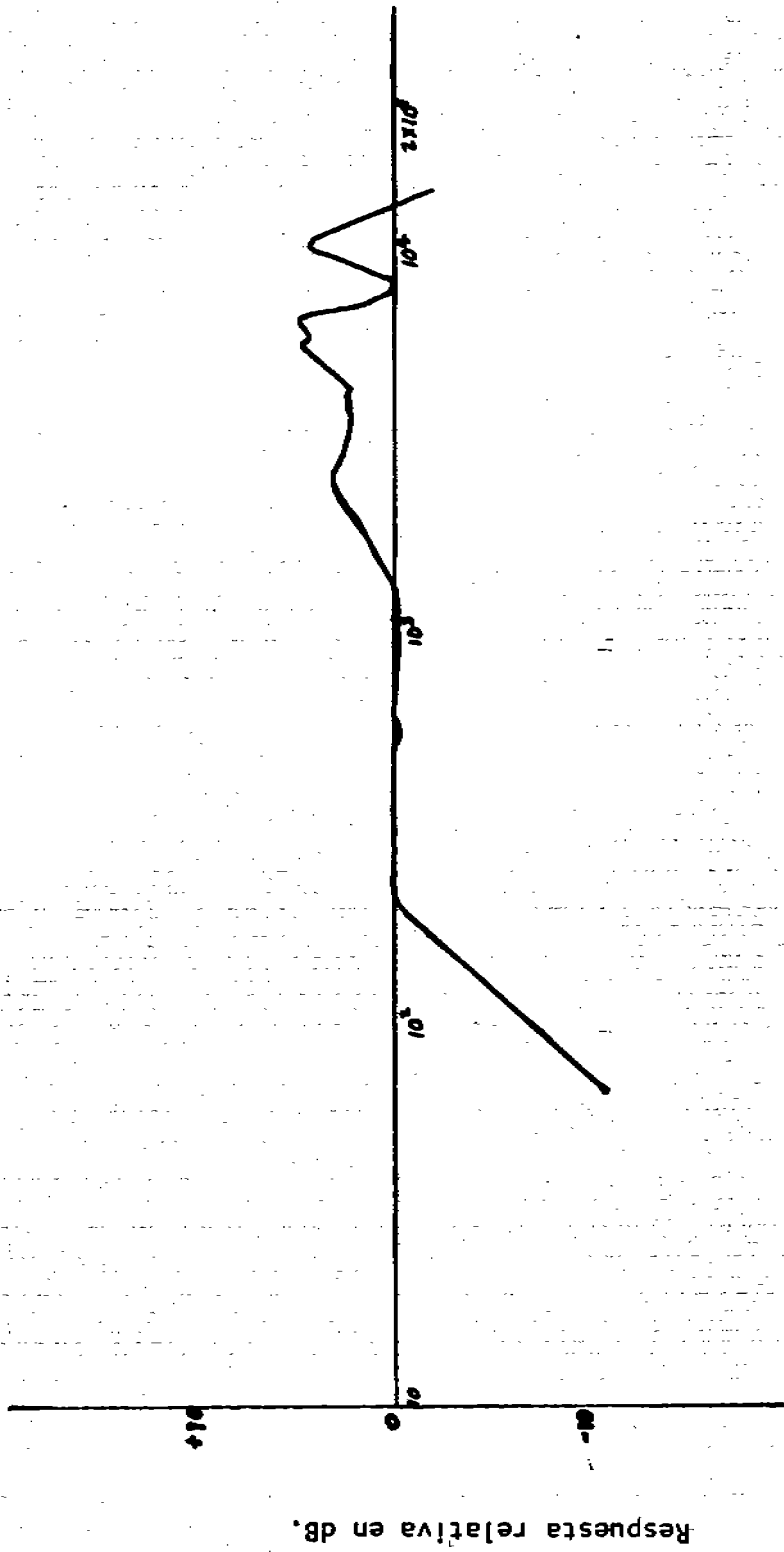
De este transductor (Realistic 33-983), se muestra las gráficas proporcionadas por el fabricante. En la Figura 4.1 se puede ver la respuesta a la frecuencia, donde se observa que el micrófono es sensible únicamente a frecuencias que están entre 80 y 1300 hz., lo cual es suficiente para el propósito del proyecto. La Figura 4.2 muestra la gráfica de directividad, en la cual se ve una respuesta unidireccional, que es una de las mejores para nuestro objetivo.

#### 4.2 Antena parabólica.

La antena utilizada es de 2.35 metros de diámetro, 1.2 metros de distancia del foco a la directriz, de aluminio, diseñada y construida en México. Los parámetros más importantes, así como la forma de obtenerlos se describen a continuación:



Respuesta 80 a 13000 Hz.



Frecuencia en Hertz.

Figura 4.1 Respuesta a la frecuencia del micrófono.

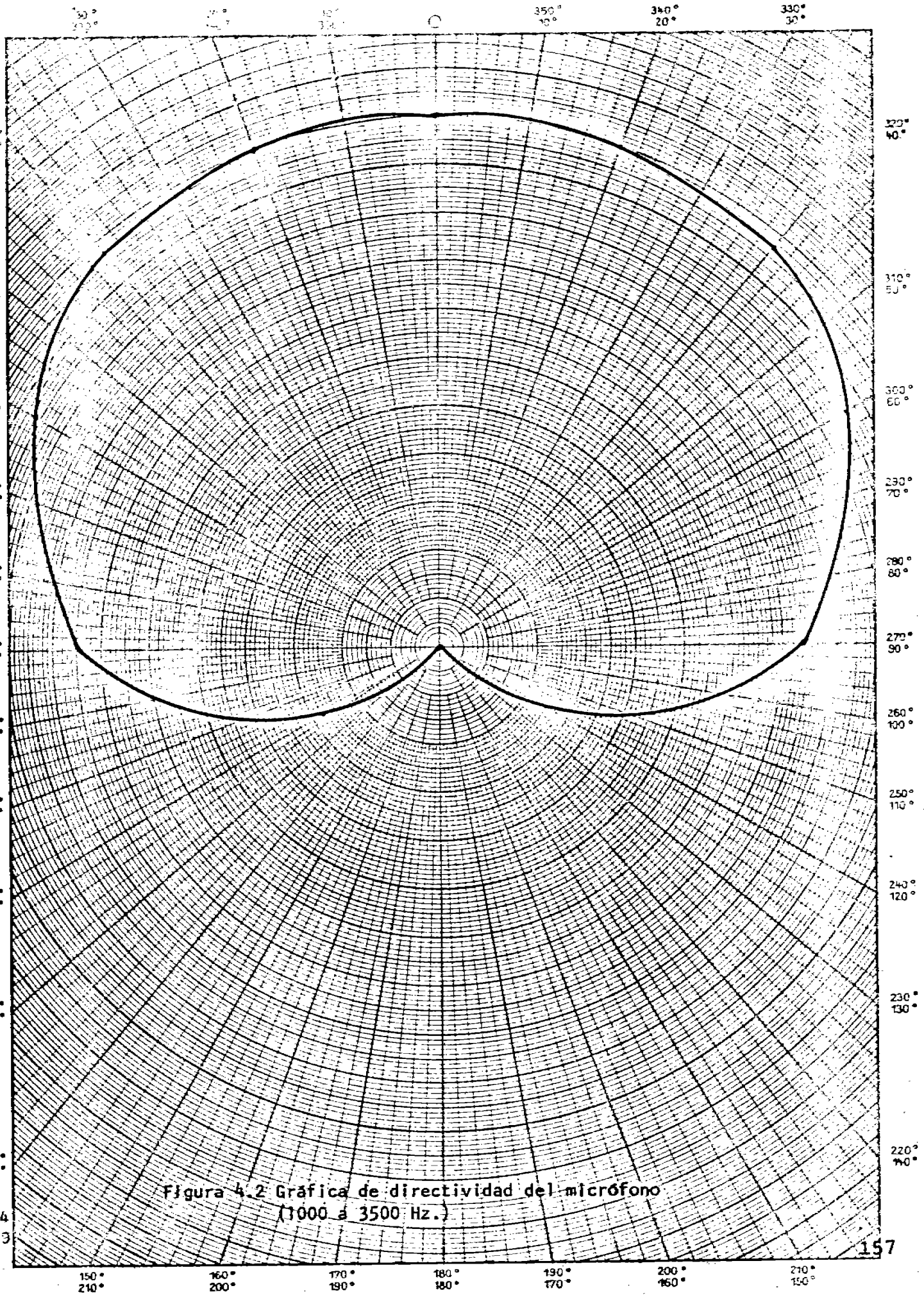


Figura 4.2 Gráfica de directividad del micrófono  
(1000 a 3500 Hz.)

NA4  
8113

#### 4.2.1 Directividad.

Como se muestra en la Figura 1.4 del primer capítulo, la gráfica de directividad para una misma antena, cambia de acuerdo a la frecuencia de operación, y la gráfica de la Figura 4.3 fue obtenida a una frecuencia de 1562 hz.; esta última se obtuvo tomando como referencia el centro y el foco de la parábola en  $0^\circ$ ; se puede observar también, que el valor máximo decrece en un 50% entre los ángulos de  $350.5^\circ$  y de  $9.5^\circ$ , lo cual significa un ancho de  $19^\circ$  del lóbulo principal, mientras que los lóbulos laterales son muy pequeños, es por esto que decimos que la directividad de la antena es muy aceptable.

Para obtener el patrón de radiación, se utilizaron 3 aproximaciones, las cuales mencionamos enseguida:

a).- Mantener la antena fija, y una bocina móvil para tomar las lecturas cada  $10^\circ$ , poniendo atención especial en los puntos donde la variación era mayor.

b).- Es el proceso inverso al anterior, en el cual se mantiene la bocina fija y la antena móvil, para tomar las lecturas correspondientes.

c).- Mantener la antena fija, y un conjunto de bocinas desplazadas un cierto ángulo, también fijas. Aquí intervino un circuito de control, que hacía que una bocina funcionara a la vez de una manera cíclica, para tomar las lecturas por bocina de acuerdo a su posición.

#### 4.2.2 Ganancia.

La ganancia de la antena fue descrita en el primer capítulo, donde se menciona su cálculo mediante la ecuación

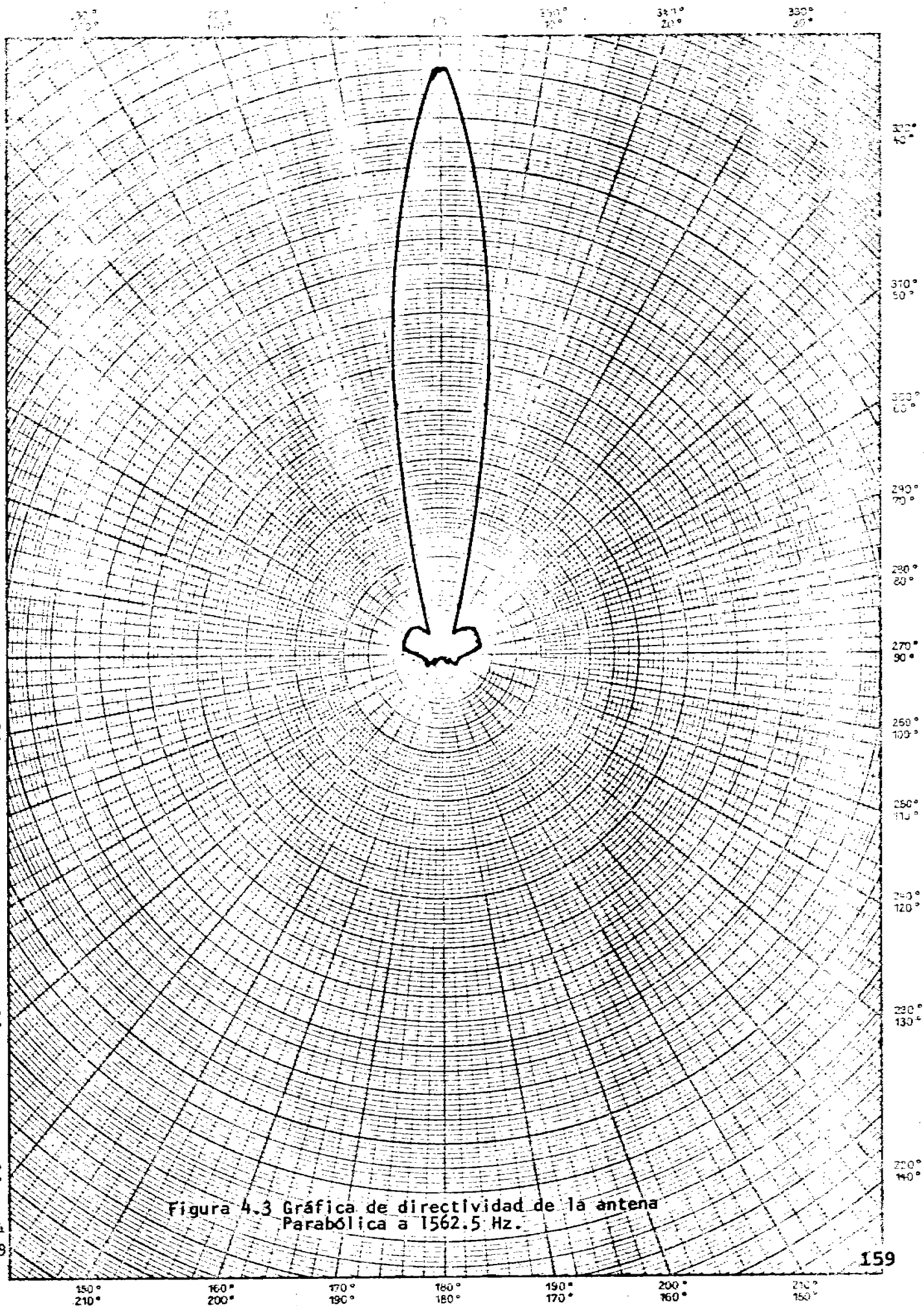


Figura 4.3 Gráfica de directividad de la antena Parabólica a 1562.5 Hz.

1.35, en la cual observamos que dicha ganancia depende del área efectiva de la antena, y de la longitud de onda de la frecuencia de operación. El área efectiva la calculamos por medio de la ecuación 1.33, considerando que la potencia sonora en un determinado punto, es proporcional a los cambios de presión en ese mismo lugar (ecuación 1.11), y que la señal eléctrica que proviene del micrófono, es proporcional a dichos cambios, los cuales ocurren cerca del mismo. Para obtener el área referida, se utilizó un osciloscopio para tomar las lecturas de la señal del micrófono, y una bocina no muy direccional para enviar una señal acústica de referencia a diferentes distancias de la antena, y el cálculo se hizo con la siguiente fórmula,

$$A_e = 4\pi r^2 \frac{(\text{lectura incidente})^2}{(\text{lectura radiada})^2}$$

donde la lectura radiada es aquella que se obtiene cuando la bocina está más cercana al micrófono.

Para obtener el área efectiva promedio, se obtuvo la siguiente tabla:

Distancia (metros)	lectura (volts)	Area efectiva (m <sup>2</sup> )
0	8.7	-
3	1.12	1.87
4.5	1.2	4.84
5.26	0.72	2.38
	SUMA	9.09

Por lo cual el área efectiva promedio es de 3 metros cuadrados, que equivale al 55% del área física del disco aproximadamente.

Si aplicamos la ecuación 1.35, se obtiene la ganancia de la antena para diferentes frecuencias, por ejemplo para una frecuencia de 1562 hz., la ganancia es de 796.2, y para 2000 hz., es de 1304.5 (tomando la velocidad del sonido como 340 metros/segundo).

#### 4.2.3 Aislante.

El aislante de ruido en la antena juega un papel muy importante, ya que la señal de interés se ve fuertemente afectada por este elemento. Además la antena utilizada no aísla el ruido satisfactoriamente. Se hizo un estudio para elegir los materiales que aislaran mejor el ruido, entre los cuales tenemos: el caucho, el unisel, la borra y el cartón (usado para proteger los huevos). Se desecharon los materiales que por su manejo constituían un riesgo, como es el caso de la fibra de vidrio.

En la elección del material, se utilizó un túnel de 115X30X42 cm., en uno de sus extremos se colocó una bocina que reproducía una señal acústica constante, y en el otro extremo un micrófono que la captaba, de ahí se pasaba la señal eléctrica a un osciloscopio para hacer las mediciones. El túnel se descubrió de la parte superior para evitar rebotes internos en el mismo, y el obstáculo o material aislante se situó a 20 cm. del micrófono.

Los materiales probados fueron: a) caucho (1.2 cm. de espesor), b) unisel (2 cm. de espesor), c) cartón para huevos (5 cm. de ancho) y d) borra (5 cm. de ancho). La tabla que se obtuvo es la siguiente:

Obstáculo	Lectura (volts)	Disminución de ruido (%)
-	0.86	0
a	0.26	69.8

Obstáculo	Lectura (volts)	Disminución de ruido (%)
b	0.44	48.8
c	0.19	77.9
d	0.52	39.5
c,d	0.16	81.4

Los mejores materiales aislantes probados fueron el caucho y el cartón para huevo forrado con borra, pero al tomar en cuenta el costo, la forma, la facilidad de manejo y de compra, se decidió usar el segundo material mencionado, el cual se forró con bolsas de polyuretano para evitar que se dañe con el agua y el polvo, ya que dicho material se va a utilizar a la intemperie.

#### 4.3 Bocinas.

Las bocinas son del tipo exponencial, y con excitadores de 55 watts (Radson), son manejadas por un amplificador que tiene 180 watts de potencia a la salida. El problema que existe al manejar un conjunto de bocinas, es la interferencia de señal entre ellas, que en determinados casos puede ser destructiva, por lo cual se hicieron pruebas con 2 bocinas para determinar la distancia óptima entre ellas, en la cual la interferencia destructiva fuera menor; hallándose la mejor, cuando están separadas un múltiplo entero de la longitud de onda de la frecuencia de operación.

#### 4.4 Etapa de hardware.

Los circuitos que integran esta etapa están diseñados de una manera sencilla, con componentes electrónicos relativamente baratos y fáciles de obtener en el mercado. Se tiene algunos puntos de ajuste para hacer más flexible su manejo, los cuales nos permiten variar fácilmente la ganancia total del sistema, la forma de compensación, la duración del pulso sonoro y la frecuencia de operación.

Se hicieron algunas pruebas del sistema, que mencionaremos en la siguiente sección, con los siguientes ajustes: El preamplificador y cada uno de los filtros paso banda tienen ganancias fijas de 8500 y 2.2 respectivamente, el circuito compensador genera una rampa con una pendiente de 2.2 volts/segundo, y tiene una duración de 3 segundos, para así obtener una ganancia mínima de .22 ( $t = .1$  segundo), y una máxima de 6.6; en esta parte la compensación lineal puede cambiarse fácilmente (cuadrática, cúbica, etc.). El amplificador de salida tiene una ganancia de 5.2, y puede tener valores desde 1.3, hasta 66.3 como máximo.

Por efecto de la compensación, la ganancia mínima total en este caso es de 47064 (93.5 db.), y la máxima de 1411925 (123 db.), pudiendo ser aumentada considerablemente si se reduce el ruido ambiental. La duración del pulso sonoro es de 100 milisegundos, y puede variarse si se cambia la frecuencia del oscilador del circuito de control. La frecuencia de operación es de 2000 hz., y para modificarla, se tienen que ajustar el oscilador de onda senoidal y los filtros paso banda (los puntos de ajuste para este caso, están marcados con \* en el diagrama general de la etapa de hardware, en el Apéndice).

El nivel de ruido ambiental es menor a frecuencias mayores, y para comprobarlo, se utilizó el micrófono colocado en el foco de la antena parabólica, el preamplificador, el filtro paso banda ajustado a la frecuencia correspondiente y un osciloscopio para tomar la lecturas, así se obtuvo la siguiente tabla:

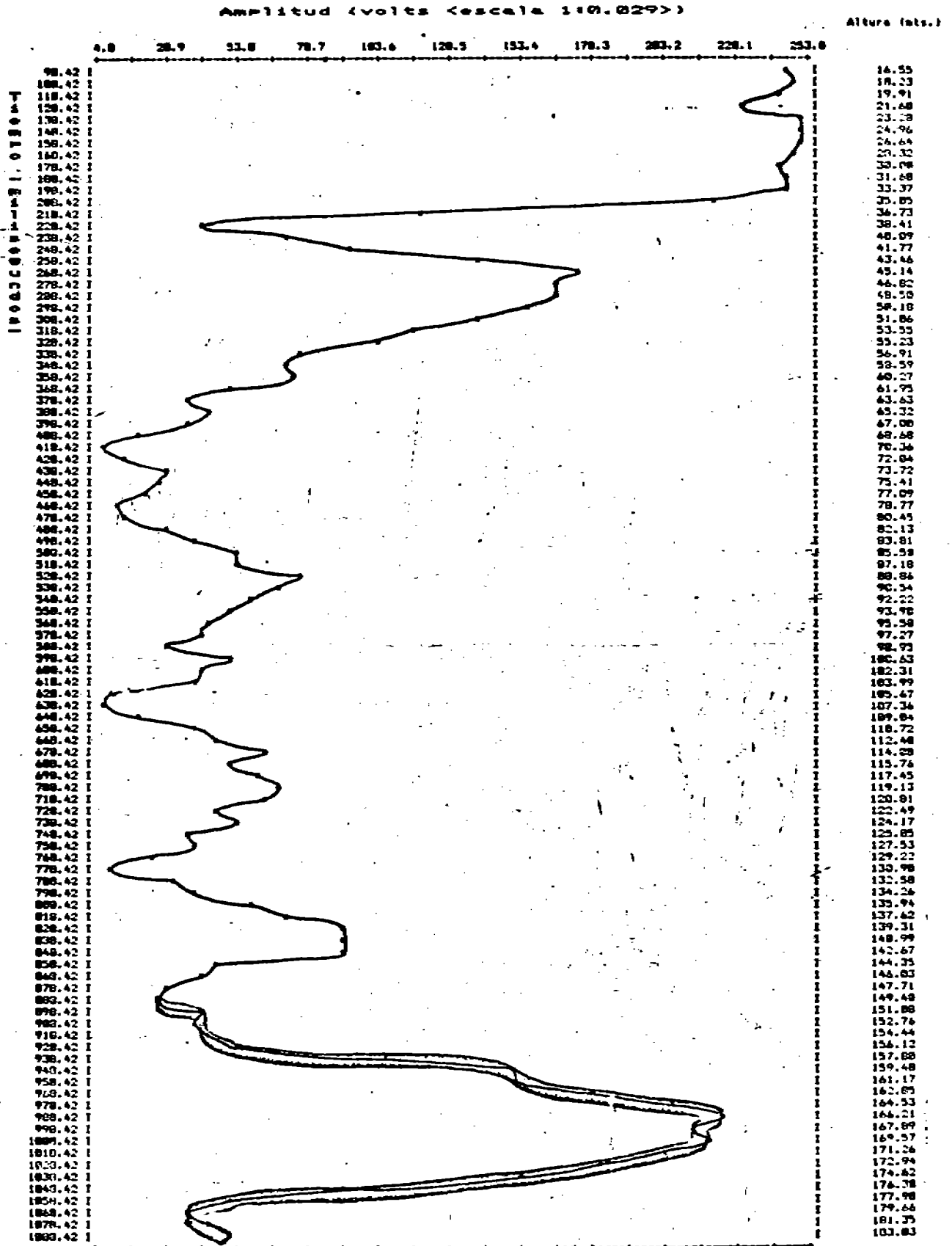


Frecuencia (hertz)	Nivel de ruido promedio (milivolts)	Disminución de ruido respecto a la frecuencia	
		anterior (%)	inicial (%)
1000	205	-	-
1562.5	70	65.9	65.9
2000	44	37.1	78.5
2500	30	31.8	85.4
3000	22	26.7	89.3
4000	18	18.2	91.2
5000	11	38.9	94.6

Con lo cual nos dimos una idea para tomar la frecuencia de operación, considerando también que al aumentar la frecuencia, se incrementa la absorción del sonido en la atmósfera. La frecuencia elegida es de 2000 hz., obteniendo con ello resultados favorables.

#### 4.5 Muestreos hechos con el sistema de eco sondeo.

Las gráficas que se obtienen de la etapa de software (capítulo 3), tienen la siguiente información: en la parte superior está la fecha y la hora en que se realizó el muestreo, además está la ventana de muestreo, temperatura ambiental y el intervalo como se tomaron los datos en la gráfica. Después de dicha información, está la gráfica en coordenadas cartesianas, la cual en la parte superior tiene la amplitud de la señal recibida en volts, y a la derecha, la altura calculada de detección (metros) de acuerdo al tiempo en que se tomaron las muestras, el cual a su vez, está ubicado a la izquierda de la gráfica, como se puede ver en la figura 4.4. Al final de la gráfica, se encuentran los datos estadísticos del muestreo, entre los cuales están la desviación estandar, la media aritmética y los valores máximo y mínimo.



Datos estadísticos del muestreo

Media aritmética	92.261	Desviación estándar	75.892
Especificación	WLOH	Datos	Tiempo (milisegundos)
Valor mínimo	4	648	421.922
Valor máximo	233	88	137.922
			Alturas (mts.)
			78.958
			23.193

Figura 4.4

En la figura 4.4 se observa un muestreo tomado el 2 de diciembre de 1983 a las 6:6 horas, donde se puede ver que existen varios rebotes de la señal captada, lo cual indica -- que en ese momento era notable la variación de la temperatura en la atmósfera. El rebote de gran proporción al inicio - de la gráfica, se debe principalmente a la distancia que existía entre las bocinas y el micrófono, también al conjunto de estructuras y objetos cercanos al lugar (donde rebota el sonido), al ruido ambiental y a la diferencia de temperatura que hay en la parte más baja de la atmósfera. Esto último es debido a que cuando están muy cerca materiales de diferente - densidad (aire y edificios), el intercambio de calor entre -- ellos es mayor, ya que la diferencia al enfriarse o al calentarse es muy notoria. En esta misma figura, se puede apreciar un rebote a 150 metros aproximadamente, y para mostrar - la flexibilidad en la graficación, se presenta el enfoque del rebote en la figura 4.5, donde la resolución es mayor, es decir, en lugar de graficarlo cada 20 datos como es el caso de la gráfica anterior, se graficó cada 3 datos.

Otra forma de utilizar la impresora, se muestra en - la figura 4.6, donde se imprime el valor digitalizado de los - datos (en este caso los 2000) en forma de lista. En esta - figura se subrayan aquéllos correpondientes al rebote mencionado al final del párrafo anterior. Este tipo de impresión tiene la misma información del encabezado de las gráficas anteriores, así como también los datos estadísticos; además se -- muestra la velocidad del sonido estimada y el tiempo de muestreo correspondiente al primero y último datos impresos.

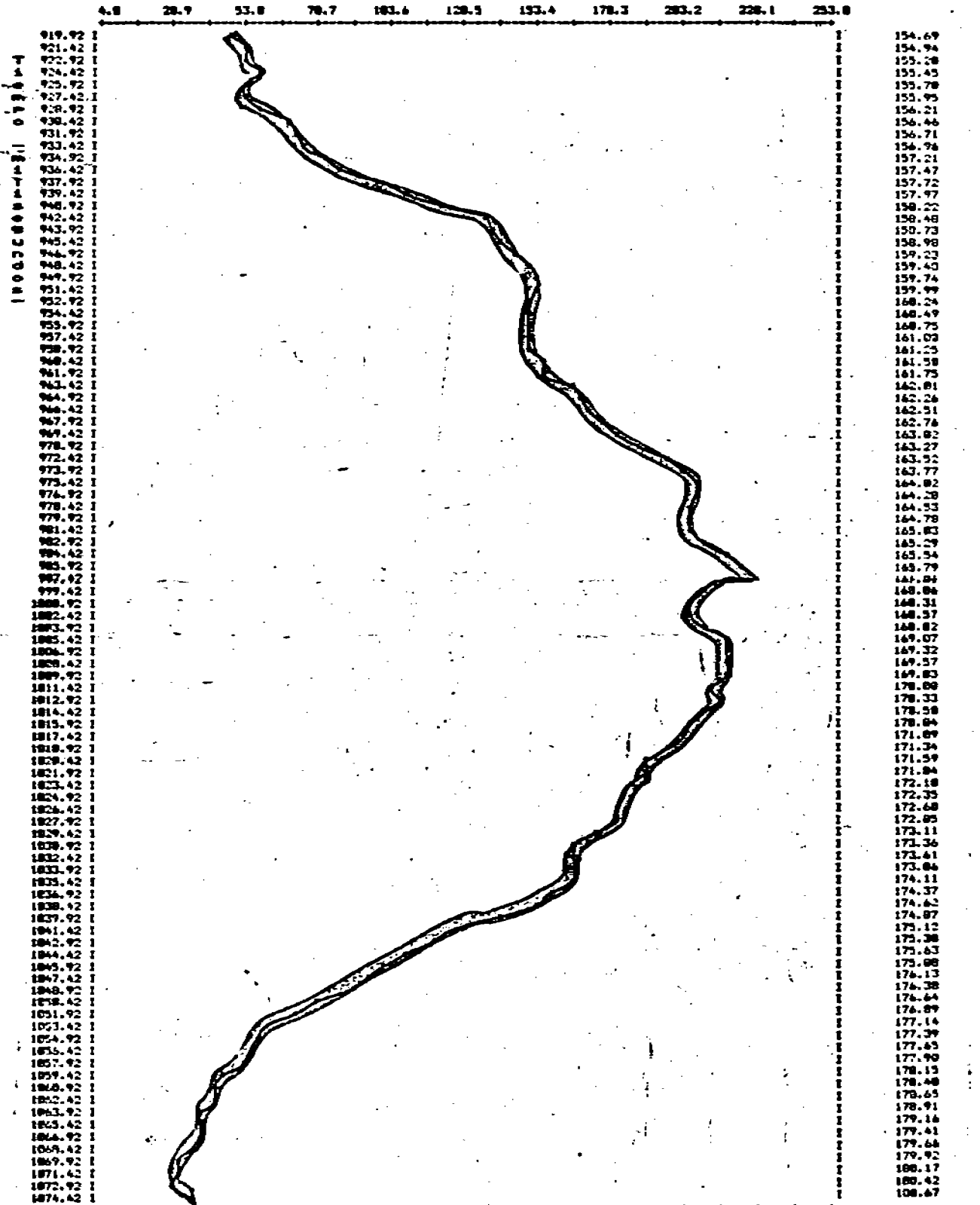
Para distinguir (en una gráfica) los rebotes de la - señal, del ruido que la acompaña, se deben hacer ciertas consideraciones, como las que se mencionan a continuación: el rebodo

DATOS TOMADOS EL 2 - DICIEMBRE - 1963 6: 6 HB.

Del segundo 8 al segundo 1. Temperatura 7 °C  
Impresion (-) cada 3 dato(s)

Amplitud (volts <escala 1:0.029>)

Altura (mts.)



Datos estadísticos del muestreo

Media aritmética	92.261		Desviación estándar	75.802
Especificación	VALOR	Datos	Tiempo (en milisegundos)	Alturas (mts.)
Valor mínimo	4	648	421.922	78.958
Valor máximo	253	88	137.922	23.193

Figura 4.5



te debe sobresalir aunque sea ligeramente de la señal, y debe tener una duración equivalente al tiempo del pulso sonoro enviado anteriormente, o puede tener una duración mayor, siempre y cuando se note una diferencia en un rango equivalente al pulso referido; ésto último indica que las capas detectadas están muy cercanas.

Para determinar el funcionamiento del sistema de eco sondeo, se elevó a la atmósfera un globo cautivo con un termómetro electrónico, a la vez que el sistema estaba monitoreando. Con los resultados de ambos, se obtuvieron unas gráficas, para hacer un análisis comparativo, y de esta manera determinar la calibración del sistema.

Los datos que se obtuvieron con el globo, son un promedio de las temperaturas en la atmósfera, ya que las lecturas se hicieron cada 20 metros, y en cada una se esperó 45 segundos aproximadamente para que el termómetro se estabilizara, en cambio cada monitoreo del sistema nos daba la información instantánea de la estructura de la temperatura. Del termómetro salía una señal de onda cuadrada, cuya frecuencia era proporcional a la temperatura que sensaba, y el globo junto con el termómetro, tenía una grabadora para registrar la señal que de él salía, por lo cual, para conocer el resultado del monitoreo, se requirió recuperar la información grabada, y después ajustarla a una tabla de calibración, para así conocer la temperatura registrada. Se obtuvieron alrededor de 70 gráficas del sistema de eco sondeo, por brevedad sólo mostraremos las más significativas.

En la figura 4.7 se muestran 4 monitoreos realizados

con el globo a diferentes tiempos, la gráfica tiene en el eje de las abscisas la temperatura medida, y en el de las ordenadas la altura en la que se encontraba el globo en ese momento; el primer perfil de temperatura fué obtenido entre las 5:42 - A.M. y las 5:57 A.M., del 28 de enero de 1984, donde se puede observar un perfil invertido entre 0 y 100 metros, un perfil normal de 100 a 160 metros, de nuevo una inversión entre 160 y 180 metros, y de 180 a 200 se normaliza otra vez; como se puede ver en este perfil, existen cambios frecuentes en la temperatura atmosférica.

El segundo perfil de temperatura se obtuvo a las 6:55 A.M., y lo podemos observar en la figura 4.7, donde se puede ver que la inversión de 0 a 100 metros se mantiene, pero se va rompiendo es decir, ya no es tan pronunciada como en el perfil anterior, también se observa que de 100 a 220 metros el perfil es casi normal. Aquí la mayor variación está entre 100 y 160 metros, y existen ligeros cambios en 20, 40, 60, 80, 140 y 200 metros.

Debe tomarse en cuenta, que la inversión inicial a la que nos hemos referido, se va perdiendo conforme pasa el tiempo, lo cual es debido al calentamiento solar; de esta manera se puede ver el tercer perfil, obtenido a las 8:00 A.M., donde dicha inversión prácticamente ha desaparecido, quedando únicamente a una distancia de 20 metros aproximadamente, por que el suelo aún no ha sido calentado lo suficiente. En este perfil las mayores diferencias de temperatura están en 20 y 80 metros, y otras más ligeras en 100, 120, 140, 160, 200 y 260 metros.

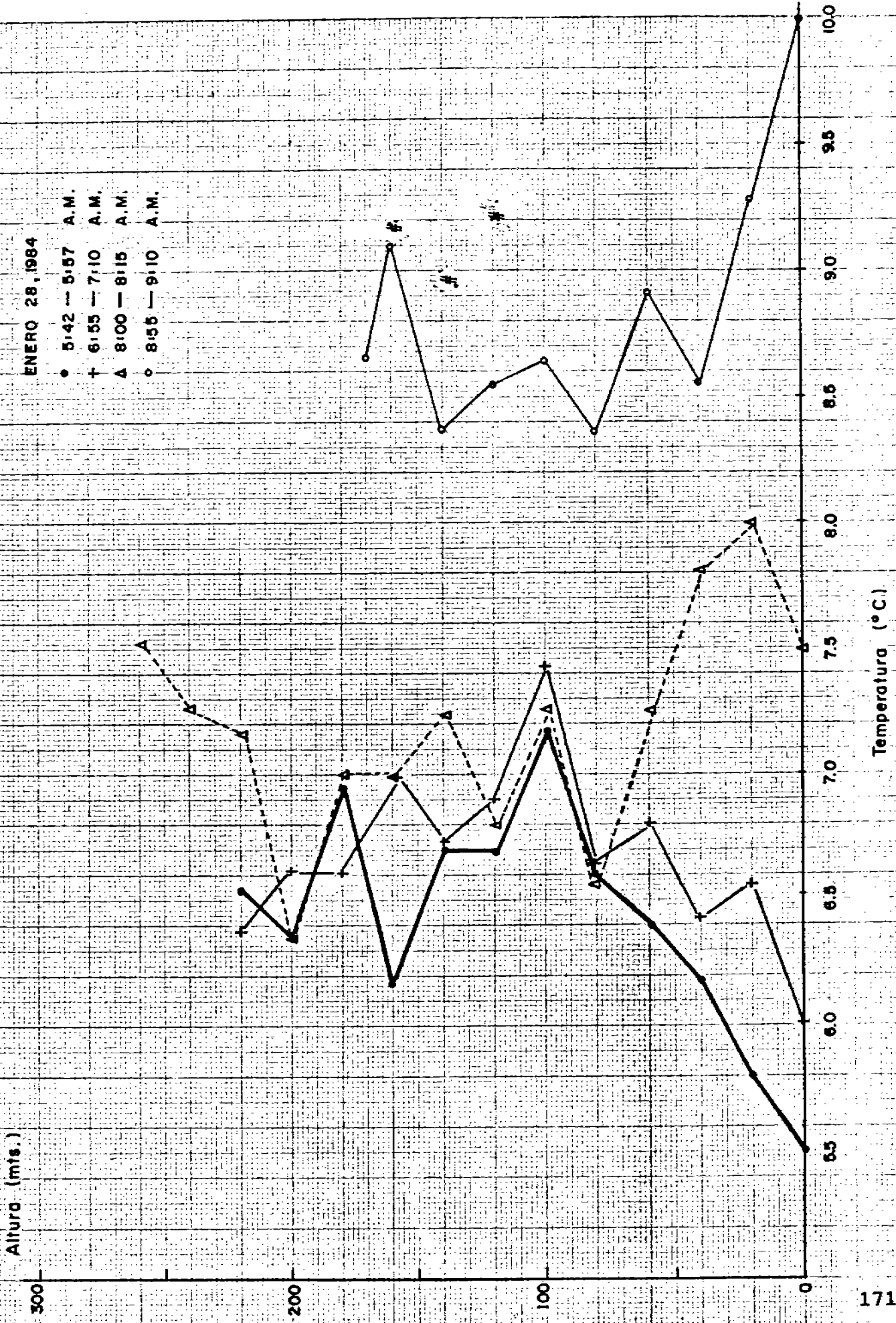


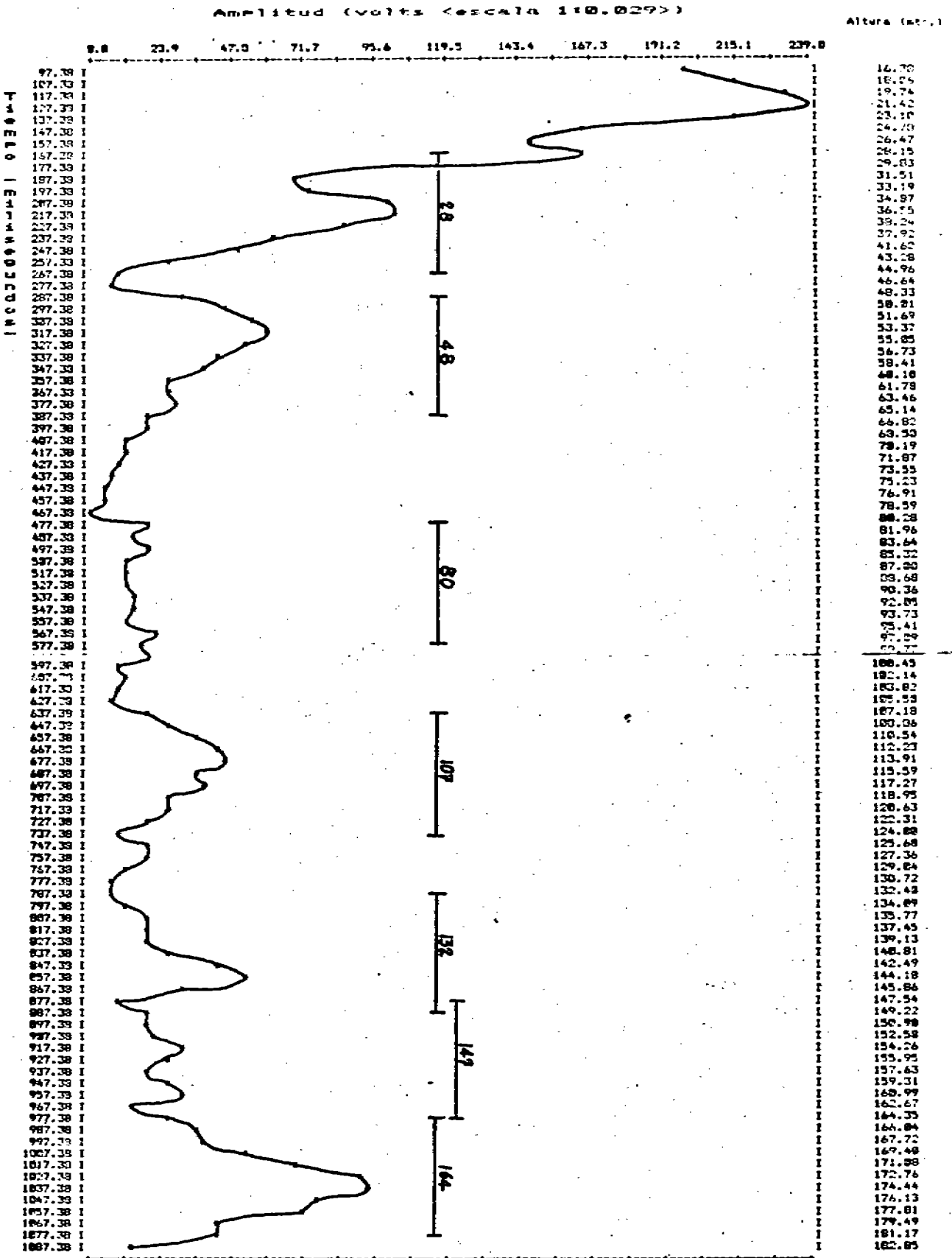
Figura 4.7 Perfiles de temperatura obtenidos con un globo cautivo.



Por el mismo efecto del sol, después de las lecturas anteriores las variaciones de temperatura se suceden muy rápido, lo cual lo podemos observar en el cuarto monitoreo (8:55 A.M.), en donde se puede observar que el perfil inicial es normal, habiendo ligeras variaciones a 40, 60, 80, 100, 140 y 160 metros, pero son muy inestables, ya que minutos después de haberlas tomado se volvió a monitorear a 120, 140 y 160 metros (se muestran como # en la gráfica), y el cambio fué notorio.

Las gráficas obtenidas con el sistema de eco sondeo se muestran de la figura 4.8 a la figura 4.24, en donde además de la información propia de las gráficas, se marcan los rebotes de la señal y el perfil de temperatura correspondiente obtenido con el globo. Este último está colocado en la parte derecha de la gráfica, junto a la altura calculada, donde la mayor temperatura es precisamente la que está más cerca de la columna de la altura. También se notará que en algunas gráficas aparece el rebote provocado por el globo (está indicado), el cual nos da una idea de la turbulencia en la atmósfera es decir, cuando el rebote se aprecia muy bien, indica que el globo estaba en una posición vertical, y por lo tanto dentro del ángulo de captación de la antena, lo cual nos dice que en ese momento había muy poca turbulencia a esa altura.

En la figura 4.8 se muestran las condiciones anteriores al monitoreo, donde se puede apreciar los cambios de temperatura que existían. Entre las variaciones más pronunciadas se encuentran las de 28, 48, 107 y 164 metros. Las 4 gráficas siguientes (4.9 a 4.12), muestran las condiciones en el momento de hacer el primer monitoreo de la figura -



Datos estadísticos del muestreo

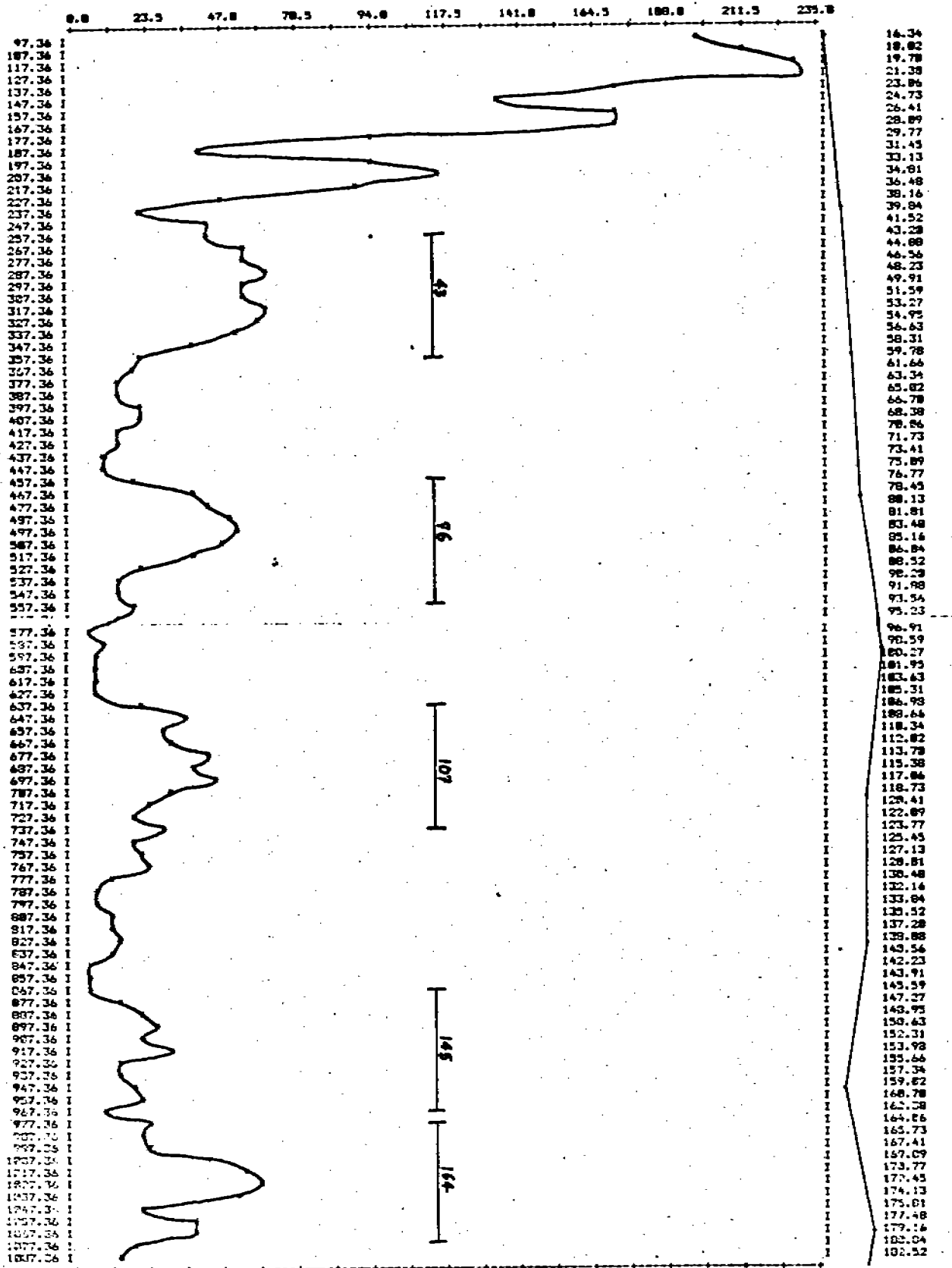
Media aritmética =	44.139	Desviación estándar =	58.789	
Especificación	VALOR	Datos	Tiempo (milisegundos)	Alturas (mts.)
Valor mínimo	8	735	464.302	70.839
Valor máximo	239	58	175.662	21.168

Figura 4.8

DATOS TOMADOS EL 28 - ENERO - 1984 5146 HS.  
 Del segundo 0 al segundo 1. Temperatura = 6 °C  
 Impresion <-> cada 20 dato(s)

Amplitud (volts <escala 100.029>)

Altura (mts.)



Datos estadísticos del muestreo

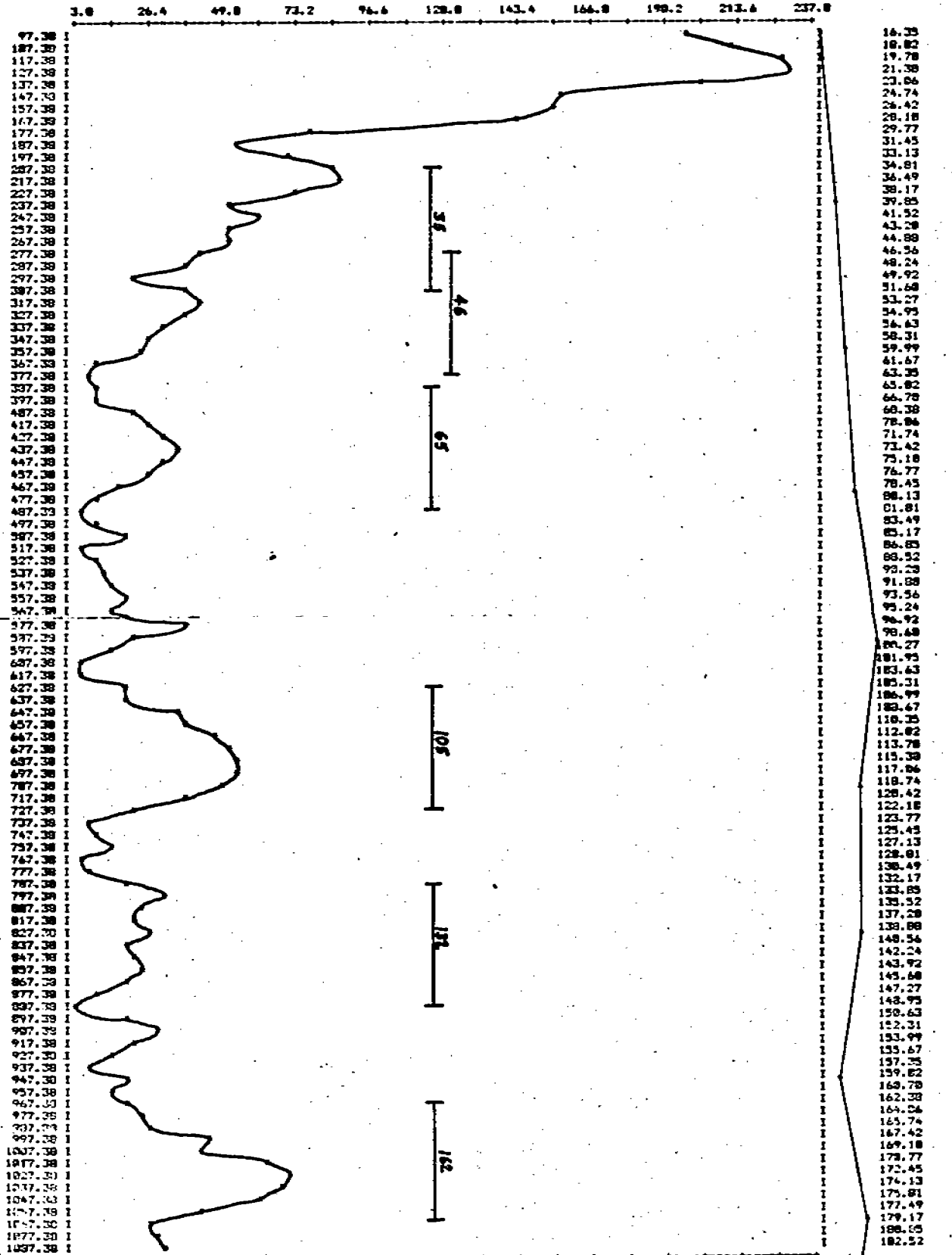
Figura 4.9

Medio aritmético	41.600	Desviación estándar	40.262
Coefficiente de	VAR	Tufo	Tendencia central
	0	1000	6.1107
			100.029

DATOS TOMADOS EL 29 - ENERO - 1984 5:50 HS.  
 Del segundo 0 al segundo 1. Temperatura = 6 °C  
 Impresion <-> cada 20 datos

Amplitud (Volts <escala 1:0.029>)

Altura (mts.)



Datos estadísticos del muestreo

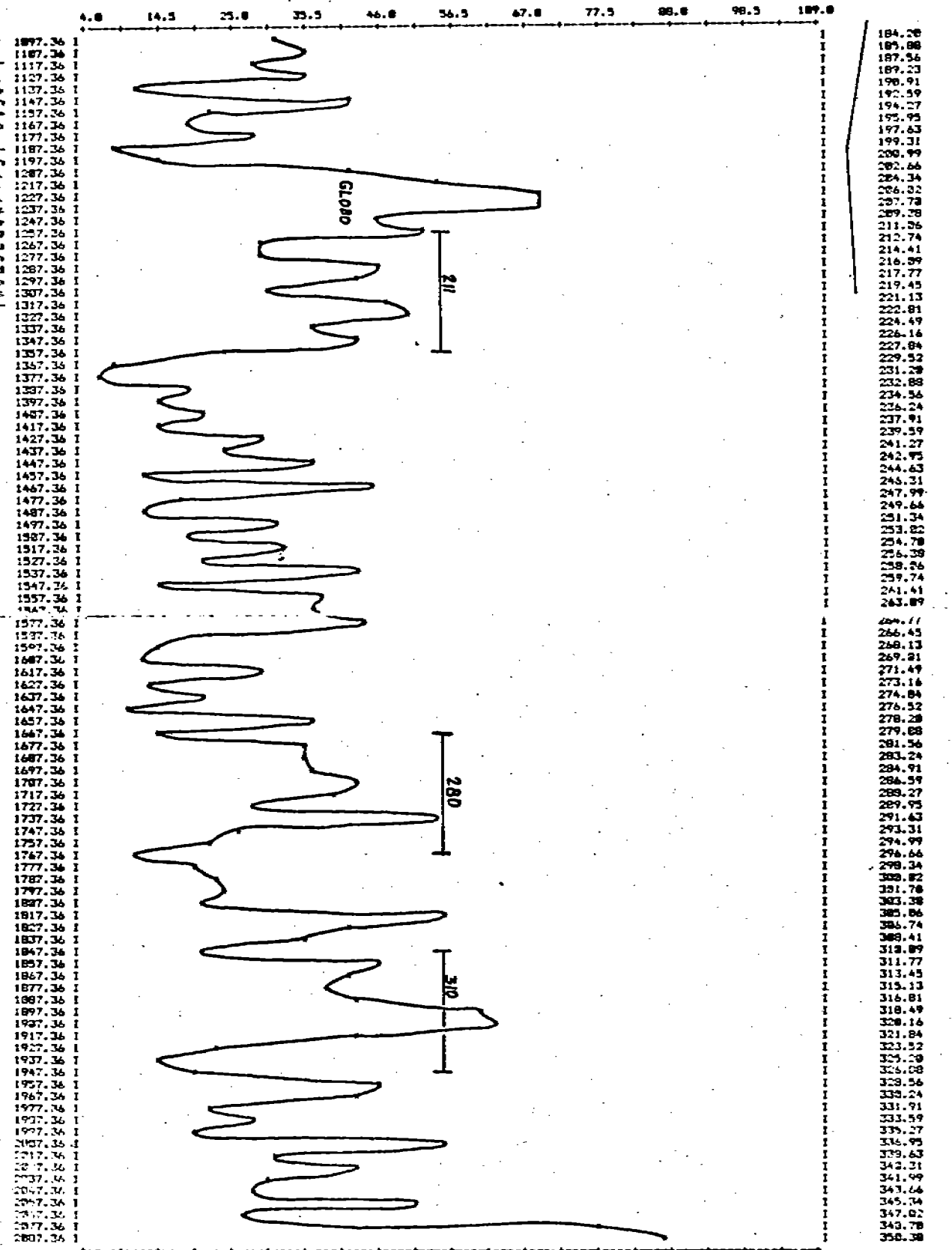
Media aritmética =	42.446	Desviación estándar =	47.718
Erradicación	VALOR	Datos	Tiempo (en segundos)
Valor crítico	3	1033	Alturas (mts.)
			100.761

Figura 4.10

DATOS TOMADOS EL 20 - ENERO - 1984 5:53 HS.  
 Del segundo 1 al segundo 2. Temperatura = 6 °C  
 Impresión (-) cada 20 dato(s)

Amplitud (volts (escala 1:0.029))

Altura (mts.)



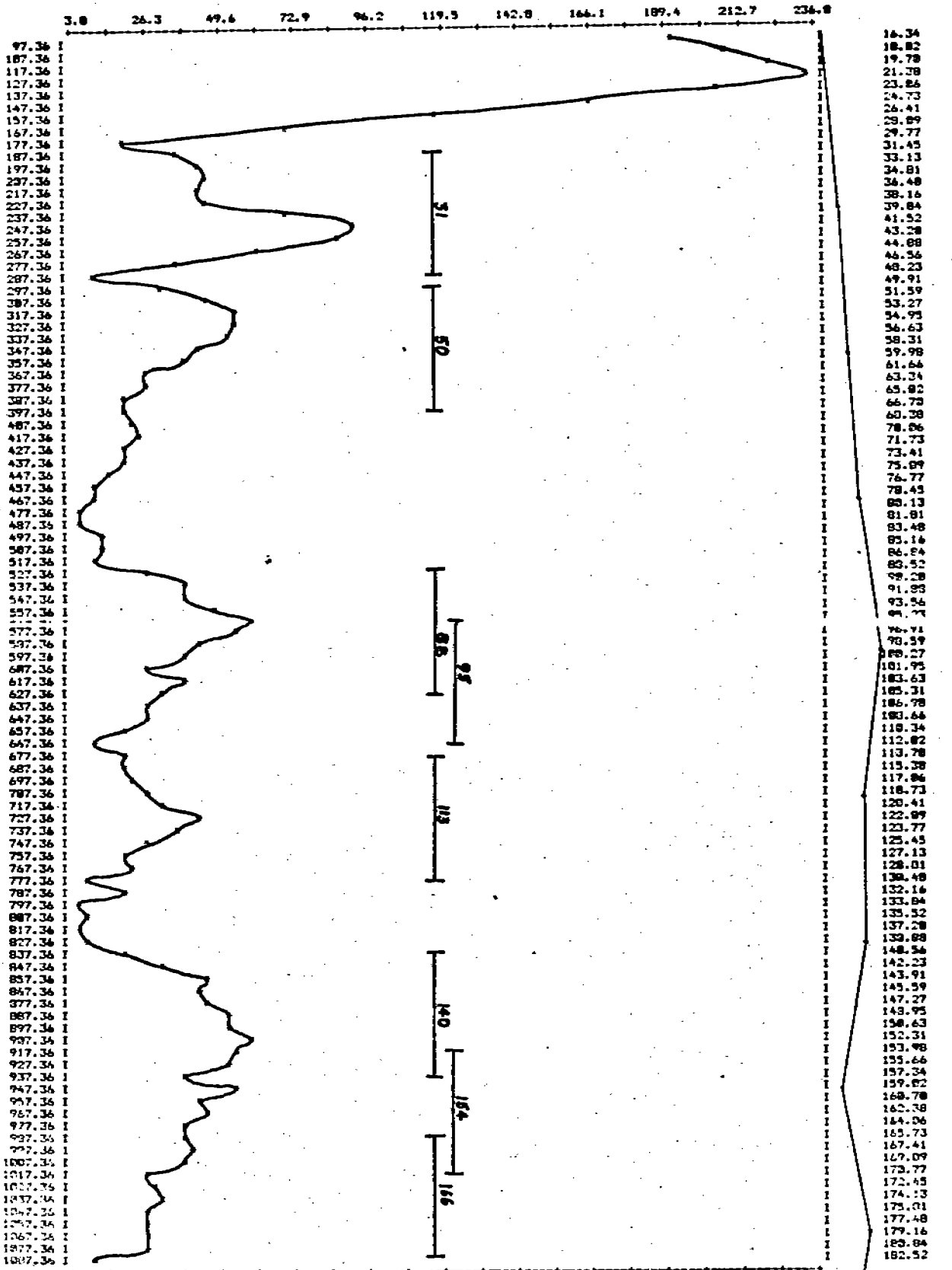
Datos estadísticos del muestreo

Media aritmética	32.010	Desviación estándar	16.569
Energía	VALOR	Datos	Tamaño (muestras)
Valor mínimo	4	565	271.575

DATOS TOMADOS EL 20 - ENERO - 1964 5:56 HS.  
 Del segundo 0 al segundo 1. Temperatura = 6 °C  
 Impresion <-> cada 20 dato(s)

Amplitud (volts <escala 1:0.029>)

Altura (mts.)



Datos estadísticos del muestreo

Media aritmética	43.338	Desviación estándar	44.004
Emparejamiento	VALOR	Dato	Tiempo (en segundos)
	1	200	470.107
			70.700

4.7, en las cuales se observa varios cambios de temperatura en la parte baja de la atmósfera. Los rebotes más consistentes están a 40, 80, 105, 140 y 164 metros, los otros pueden considerarse como plumas térmicas. También es notoria la captación de ruido en la gráfica 4.11 (184 a 350 metros), donde por lo mismo se complica la apreciación de los rebotes; también se puede observar en esta gráfica la compensación lineal automática que se le da a la señal recibida.

Las gráficas correspondientes al segundo monitoreo, se muestran de la figura 4.13 a la figura 4.16, donde se puede observar que los rebotes más consistentes están en 33, 110 y 160 metros, y aún se nota la variación de temperatura atmosférica. La correspondencia que existe entre estas gráficas y el segundo monitoreo con el globo, es muy aceptable, de la misma forma que las 4 gráficas anteriores con el primer monitoreo, como se puede ver en el perfil de temperatura mostrado a la derecha de las gráficas,

Las cuatro gráficas siguientes (4.17 a 4.20), corresponden al tercer monitoreo, en donde se ve que existe un rebote muy grande a 28 metros aproximadamente, y si nos fijamos en el tercer perfil de temperatura de la figura 4.7, podemos imaginarnos el por qué de este rebote. Si tomamos como referencia la posición del globo en el momento que fueron obtenidas las gráficas, podemos decir que también existen variaciones notables de temperatura a 87, 107, 160, 190 y 225 metros, las cuales pueden ser corroboradas con las lecturas del termómetro en el globo, pero si nos fijamos bien en las gráficas, las variaciones de temperatura en algunas de las distancias mencionadas, no se conservan, por lo que decimos que existe un cierto grado de error en las lecturas aportadas por el termómetro en el globo, lo cual es lógico por el tiem-

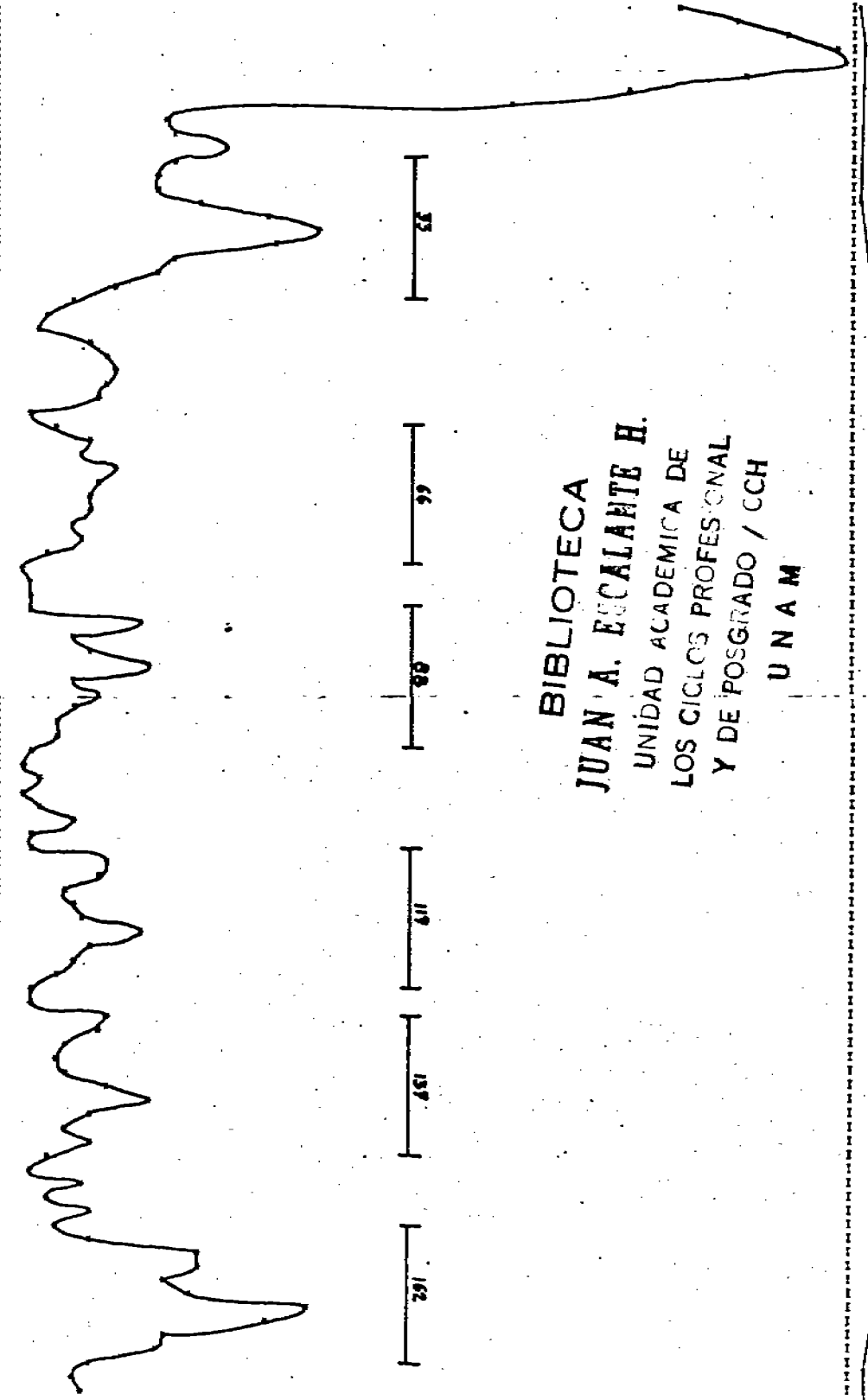
Amplitud (volts <escala 1:10.029>)

Altura (mts.)

0.0 23.0 46.0 69.0 92.0 115.0 138.0 161.0 184.0 207.0 230.0

PROFESOR | ESCALANTE | SECCION I

47.36  
107.36  
117.36  
127.36  
137.36  
147.36  
157.36  
167.36  
177.36  
187.36  
197.36  
207.36  
217.36  
227.36  
237.36  
247.36  
257.36  
267.36  
277.36  
287.36  
297.36  
307.36  
317.36  
327.36  
337.36  
347.36  
357.36  
367.36  
377.36  
387.36  
397.36  
407.36  
417.36  
427.36  
437.36  
447.36  
457.36  
467.36  
477.36  
487.36  
497.36  
507.36  
517.36  
527.36  
537.36  
547.36  
557.36  
567.36  
577.36  
587.36  
597.36  
607.36  
617.36  
627.36  
637.36  
647.36  
657.36  
667.36  
677.36  
687.36  
697.36  
707.36  
717.36  
727.36  
737.36  
747.36  
757.36  
767.36  
777.36  
787.36  
797.36  
807.36  
817.36  
827.36  
837.36  
847.36  
857.36  
867.36  
877.36  
887.36  
897.36  
907.36  
917.36  
927.36  
937.36  
947.36  
957.36  
967.36  
977.36  
987.36  
997.36  
1007.36  
1017.36  
1027.36  
1037.36  
1047.36  
1057.36  
1067.36  
1077.36  
1087.36



BIBLIOTECA  
 JUAN A. ESCALANTE H.  
 UNIDAD ACADÉMICA DE  
 LOS CICLOS PROFESIONAL  
 Y DE POSGRADO / CCH  
 U N A M

14.34  
15.82  
17.78  
19.11  
20.56  
22.41  
23.89  
25.77  
27.45  
29.13  
30.81  
32.48  
34.16  
35.84  
37.52  
39.20  
40.88  
42.56  
44.24  
45.92  
47.60  
49.28  
50.96  
52.64  
54.32  
56.00  
57.68  
59.36  
61.04  
62.72  
64.40  
66.08  
67.76  
69.44  
71.12  
72.80  
74.48  
76.16  
77.84  
79.52  
81.20  
82.88  
84.56  
86.24  
87.92  
89.60  
91.28  
92.96  
94.64  
96.32  
98.00  
99.68  
101.36  
103.04  
104.72  
106.40  
108.08  
109.76  
111.44  
113.12  
114.80  
116.48  
118.16  
119.84  
121.52  
123.20  
124.88  
126.56  
128.24  
129.92  
131.60  
133.28  
134.96  
136.64  
138.32  
140.00  
141.68  
143.36  
145.04  
146.72  
148.40  
150.08  
151.76  
153.44  
155.12  
156.80  
158.48  
160.16  
161.84  
163.52  
165.20  
166.88  
168.56  
170.24  
171.92  
173.60  
175.28  
176.96  
178.64  
180.32  
182.00

Datos estadísticos del muestreo

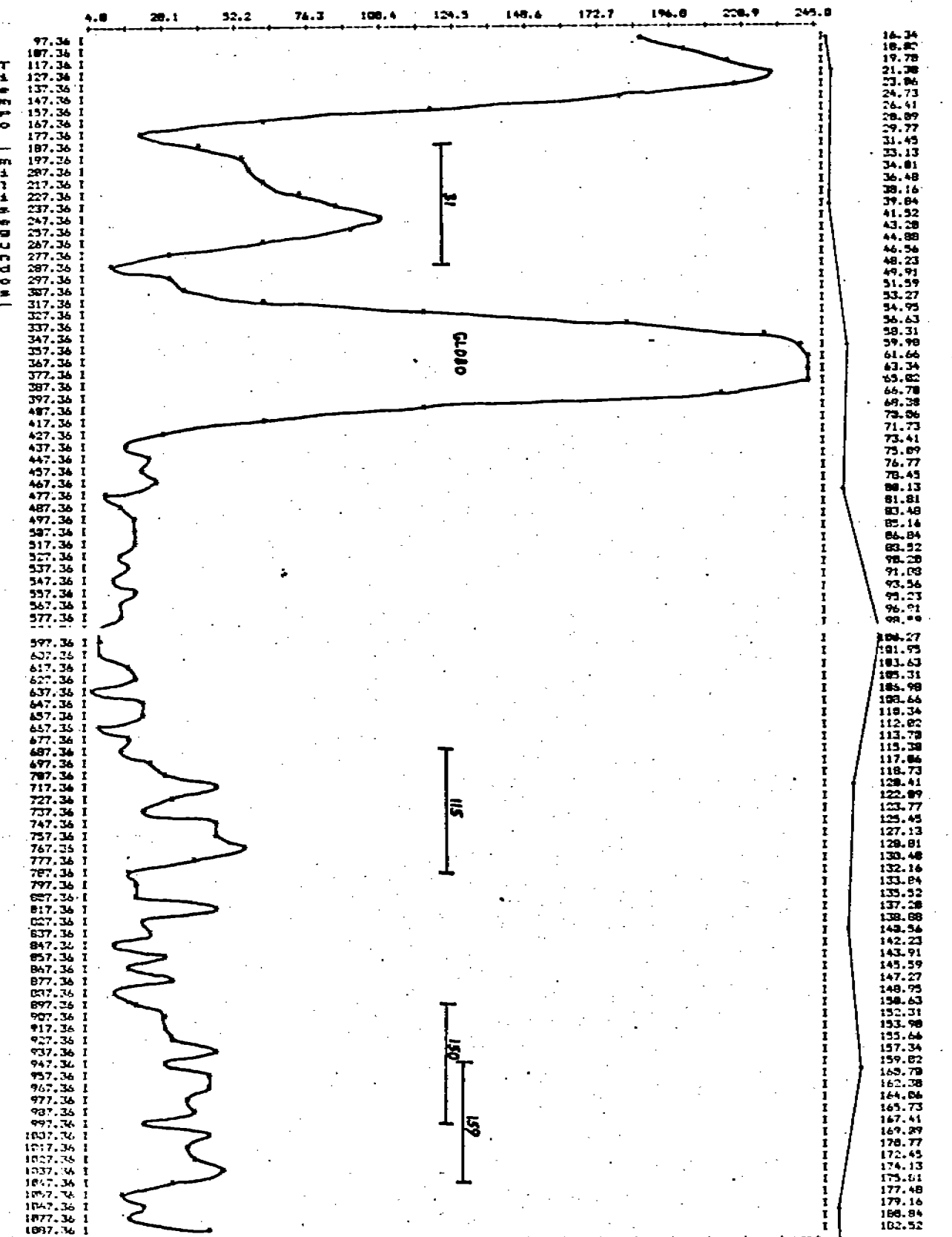
Figura 4.13

Media aritmética	39.298	Desviación estándar	48.743
Especificación	VALOR	Datos	Tiempo (en segundos)
Valor mínimo	0	207	455.907
Valor máximo	230	62	100.027
			Altura (mts.)
			81.142
			11.246



Amplitud (volts <escala 110.029>)

Altura (mts.)



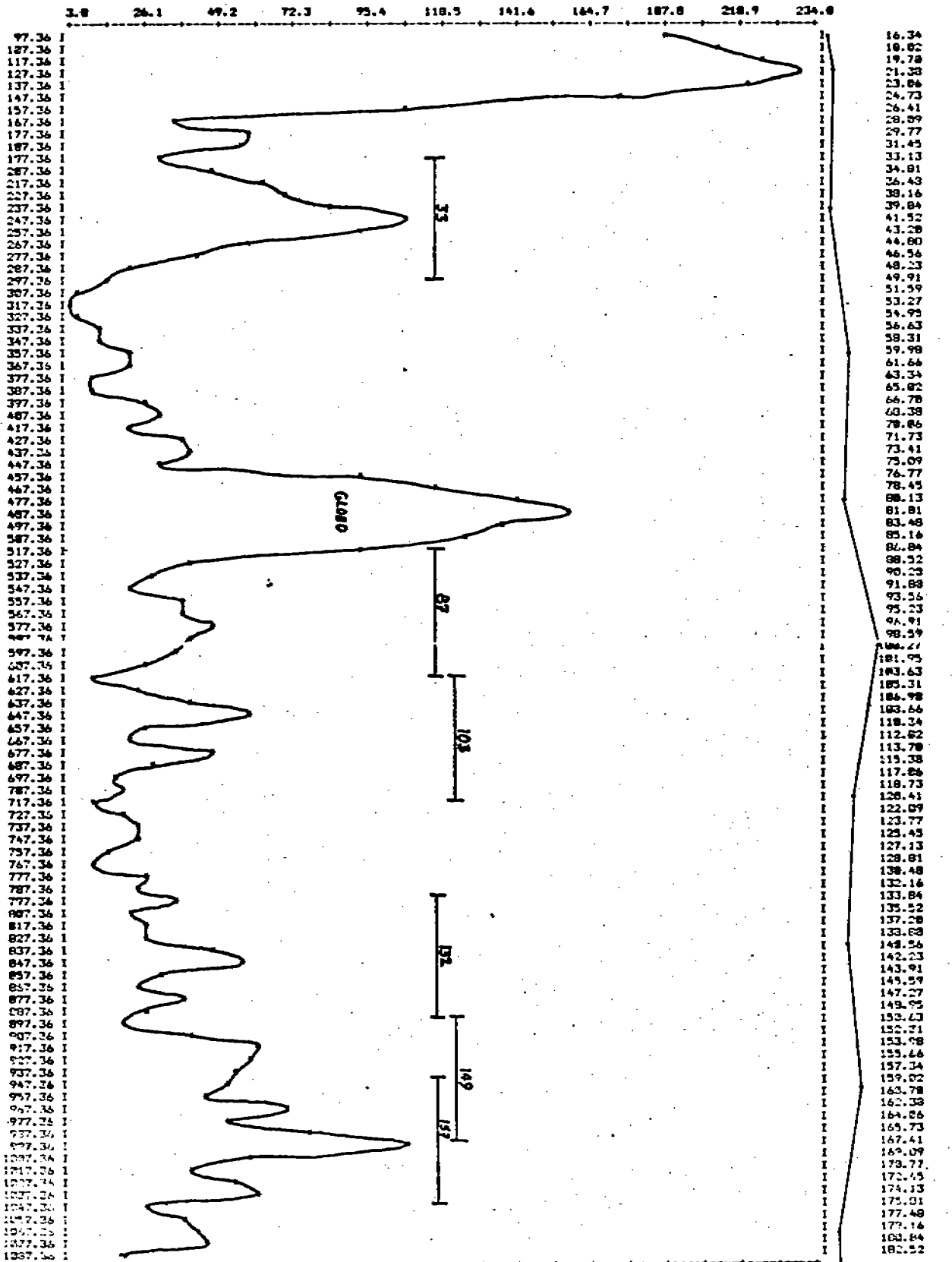
Datos estadísticos del muestreo

Especificación	VALOR	Datos	Tiempo (milisegundos)	Alturas (mts.)
Media aritmética	56.838			
Desviación estándar	66.239			
Valor mínimo	4	1002	636.157	106.921
Valor máximo	245	574	303.197	24.431

Figura 4.14

Amplitud (volts <escala 1:0.029>)

Altera (mts.)



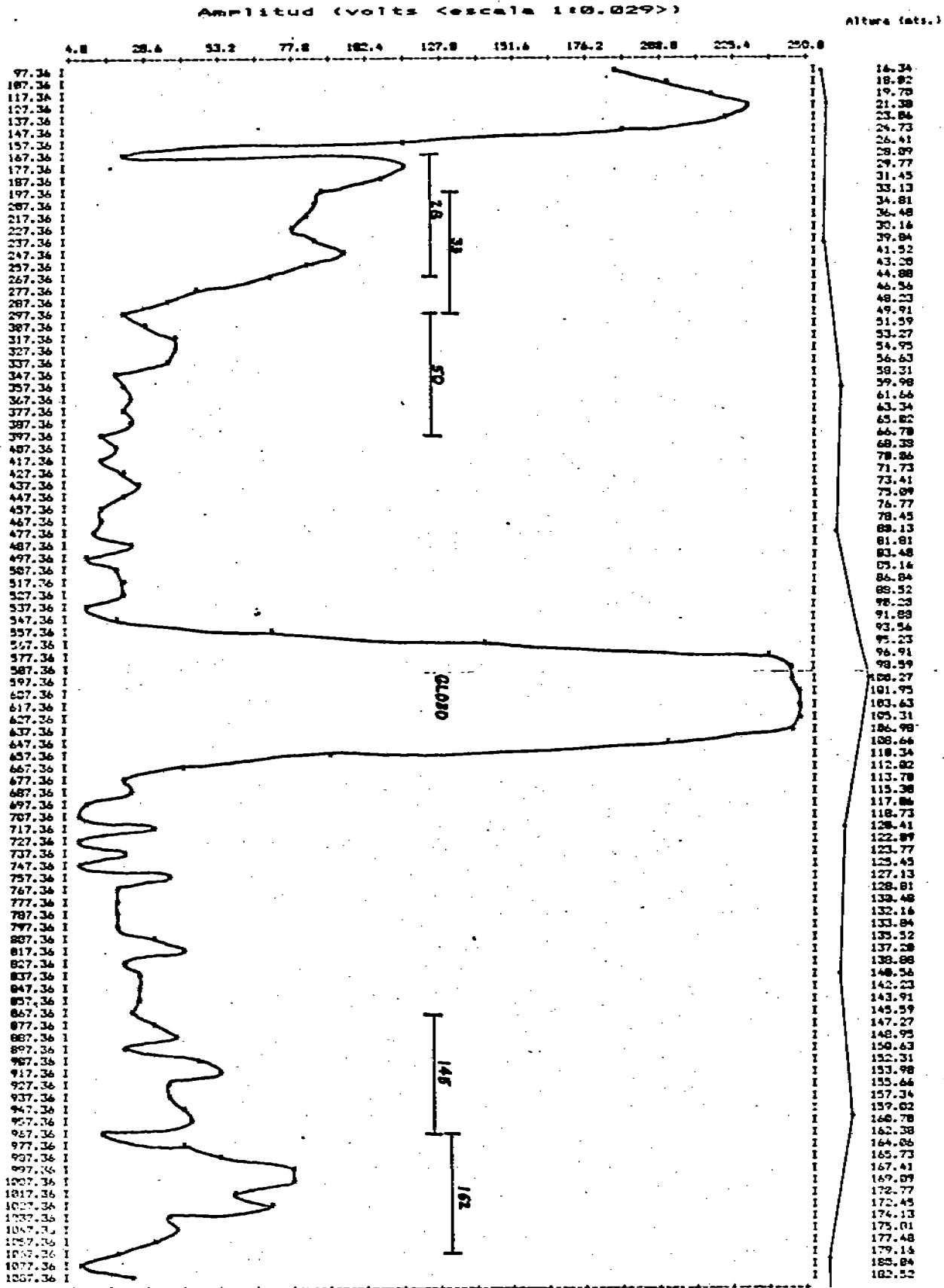
Datos estadísticos del muestreo

Media estadística	51.987	Desviación estándar	49.553
Especificación	VALOR	Dato#	Tiempo (Millisegundos)
Valor mínimo	3	441	217.57
Valor máximo	236	28	182.52

Figura 4.15

DATOS TOMADOS EL 20 - ENERO - 1984 7:2 HS.  
 Del segundo 0 al segundo 1. Temperaturas 6 °C  
 Impresion (-) cada 20 dato(s)

TASERO IERKAWDDJCOMI



Datos estadísticos del muestreo

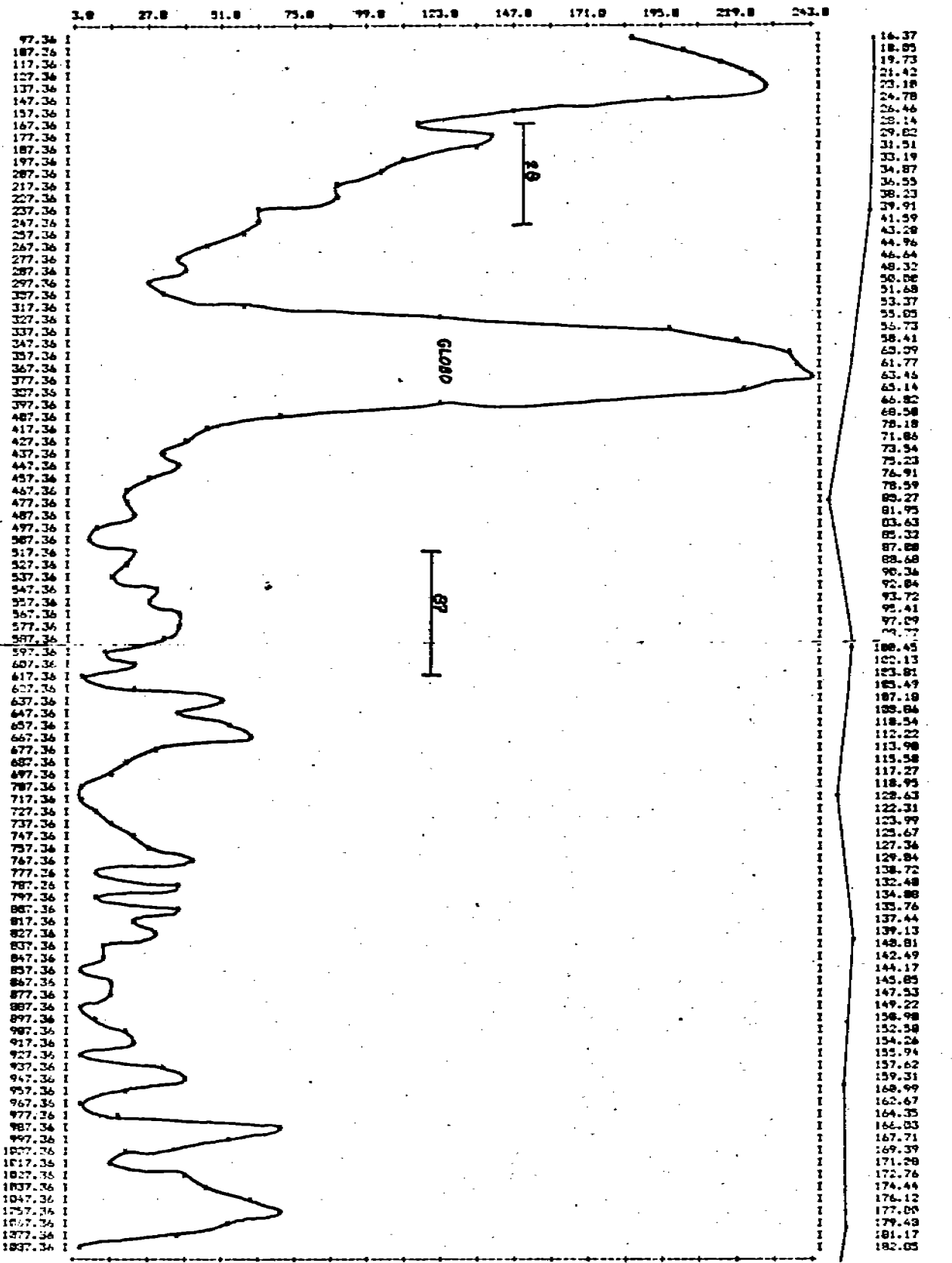
Media aritmética	64.226		Desviación estándar	78.774
Especificación	VALOR	Datos	Tiempo(milisegundos)	Alturas (mts.)
Valor mínimo	4	608	140.057	90.707
Valor máximo	250	1207	609.257	182.774

Figura 4.16

Amplitud (volts <escala 1:0.029>)

Altura (mts.)

Muestro (ELECTROSCOPIO)



Datos estadísticos del muestreo

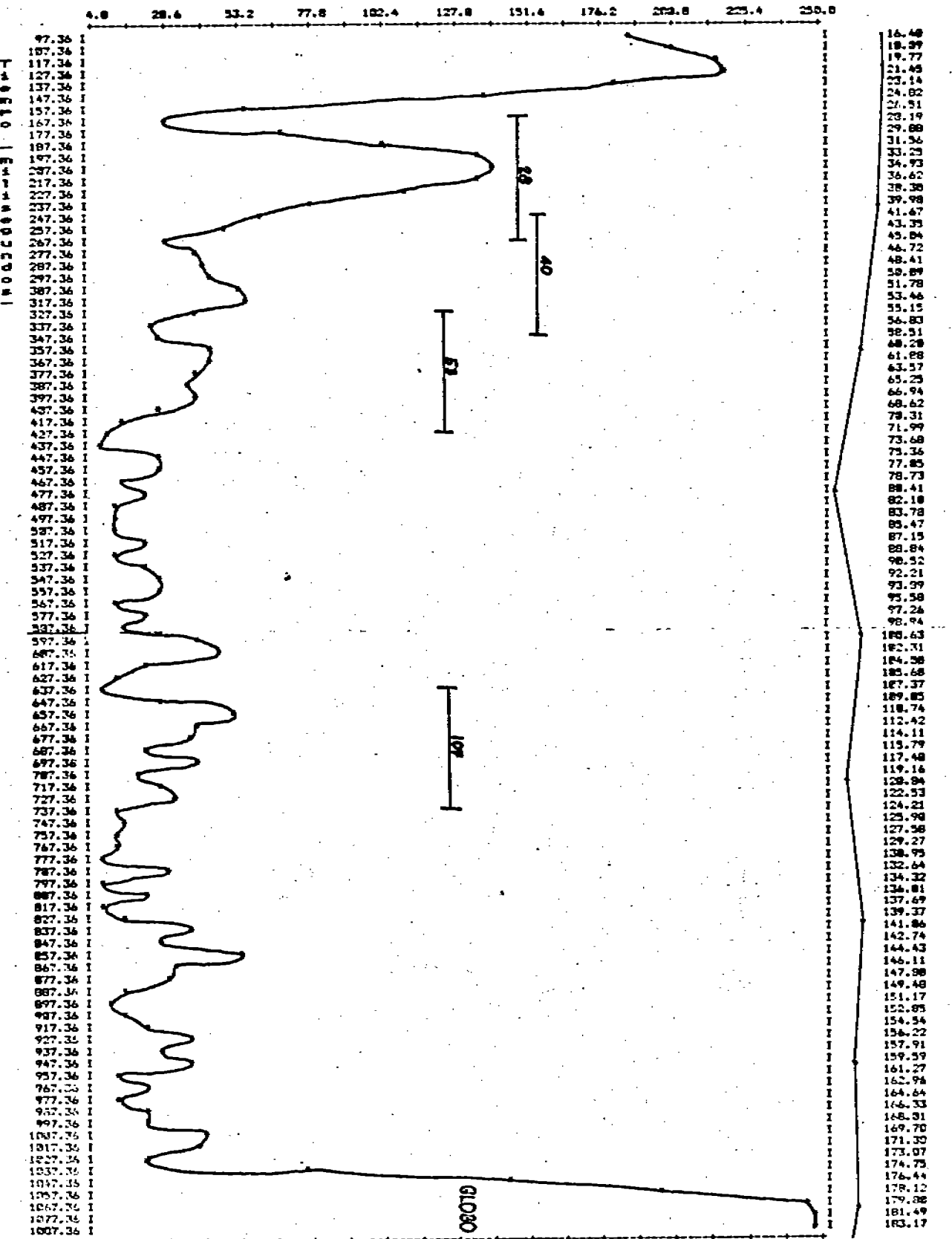
Media aritmética	59.909	Desviación estándar	65.167
Estratificación	VALOR	Datos	Tiempo (milisegundos)
Valor mínimo	3	1524	850.057
Valor máximo	243	549	371.257
			Alturas (mts.)
			144.413
			82.445

Figura 4.17

DATOS TOMADOS EL 28 - ENERO - 1964 0111 HS.  
 Del segundo 0 al segundo 1. Temperatura = 8 °C  
 Impresion (-) cada 20 dato(s)

Amplitud (volts <escala 1:0.029>)

Altura (mts.)



Datos estadísticos del muestreo

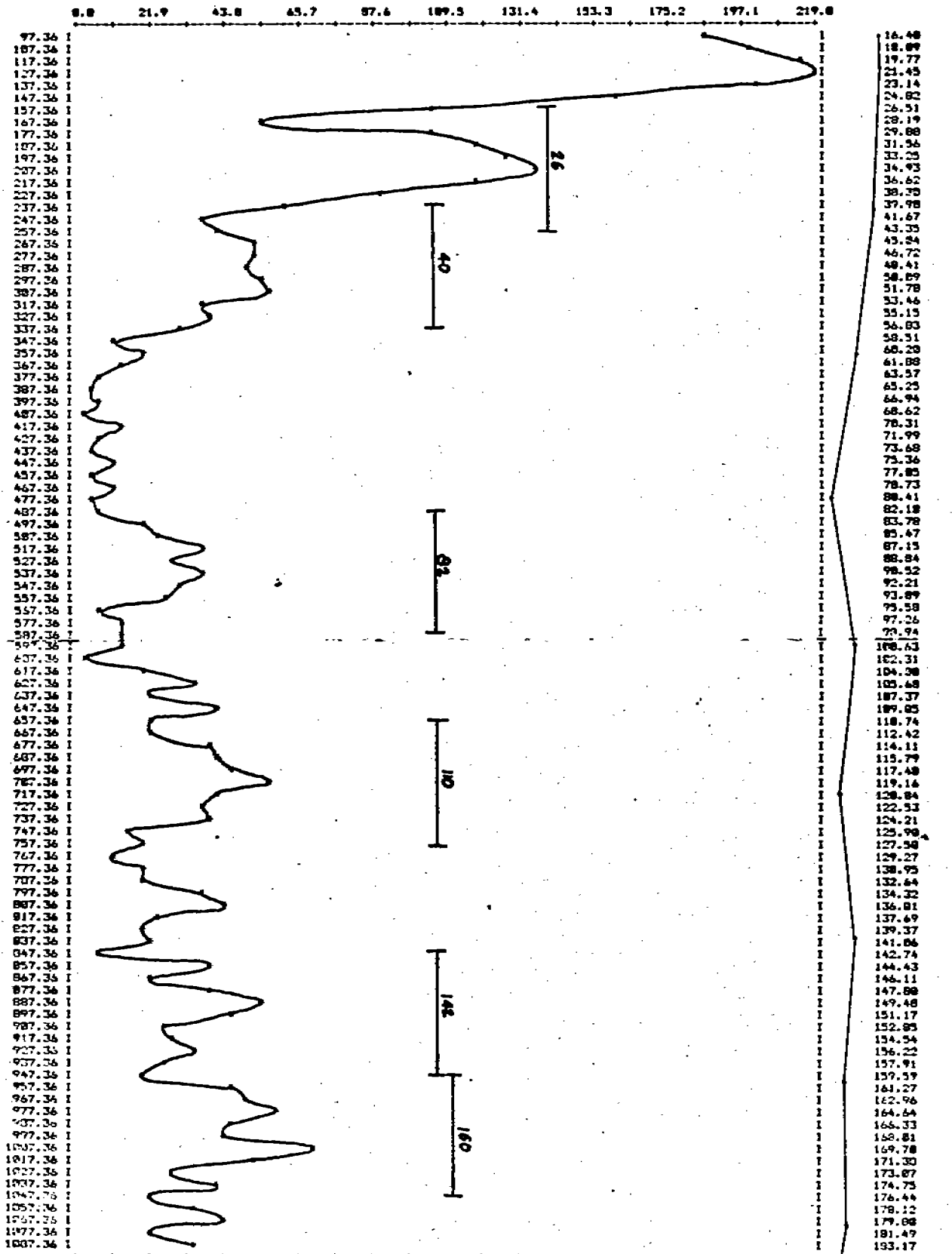
Media aritmética =	51.848	Desviación estándar =	60.914
Especificación	VALOR	Datos	Tiempo (min:segundos)
Valor mínimo	4	10:3	670.357
Valor máximo	250	12:1.050	107.536
			182.183

Figura 4.18

DATOS TOMADOS EL 28 - ENERO - 1964 8:13 HS.  
 Del segundo 0 al segundo 1. Temperatura = 8 °C  
 Impresion <-> cada 20 Jato(s)

Amplitud (volts <escala 1:0.029>)

Altura (mts.)



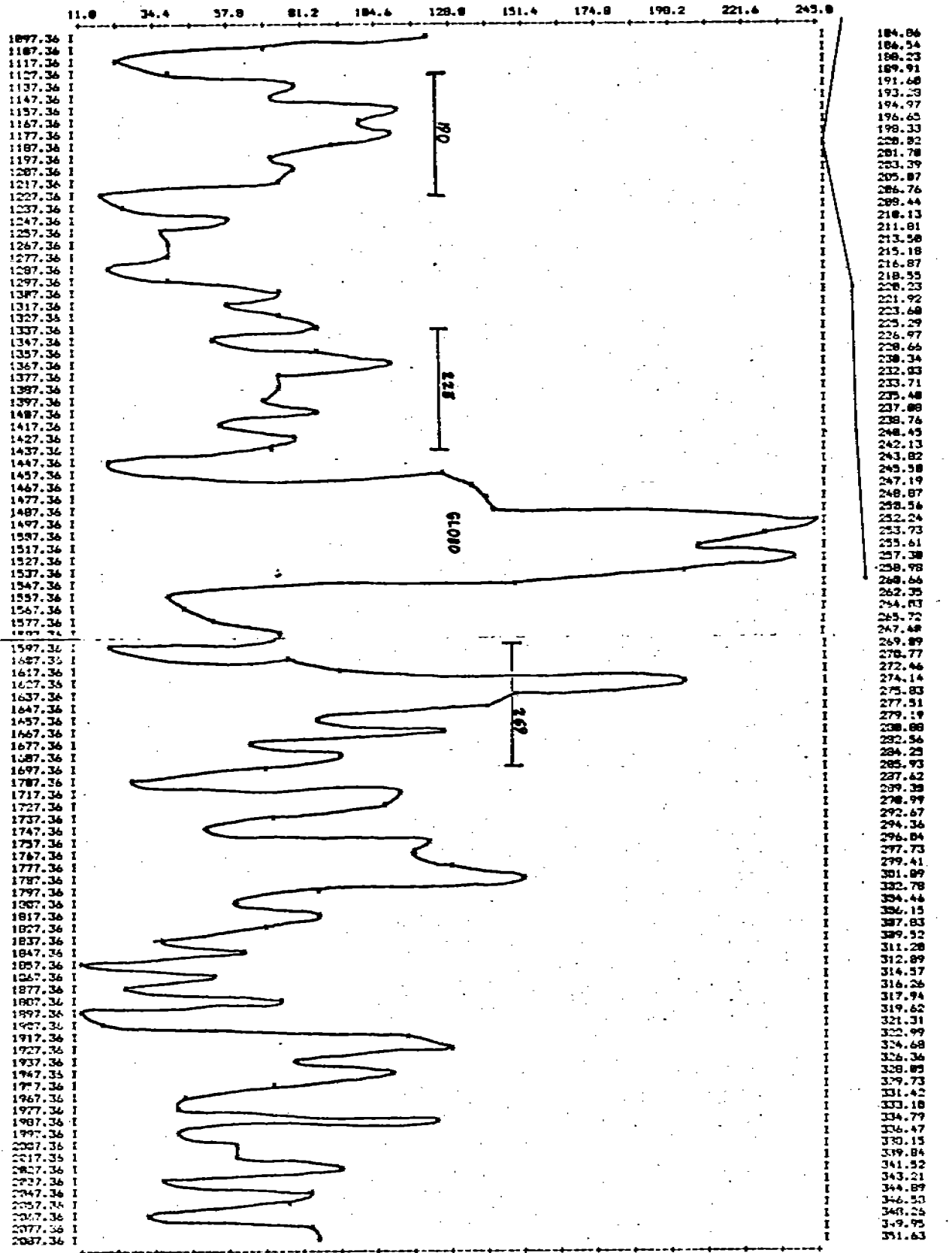
Datos estadísticos del muestreo

Media aritmética =	45.187	Desviación estándar =	45.998
Especificación	VALOR	Datos	tiempo (milisegundos)
Valor mínimo	0	674	433.07
Valor máximo	219	53	13.357
			Alturas (mts.)
			73.637
			19.719

Figura 4.19

Amplitud (volts <escala 1:0.029>)

Altura (mts.)



Datos estadísticos del muestreo

Especificación	VALOR	Datos	Temperatura (miligrados)	Alturas (mts.)
Media aritmética	04.376		1502.301	219.605
Desviación estándar	48.391		1472.300	250.141
Valor mínimo	11	1481		
Valor máximo	245	1492		

Figura 4.20

po que tarda en registrarlas.

Las últimas 4 gráficas corresponden al cuarto monitoreo, y en la secuencia de las mismas se puede observar algo muy interesante; si vemos la figura 4.21, nos damos cuenta de que en ese momento había algunas variaciones de temperatura en la estructura de la atmósfera, sin embargo las siguientes dos gráficas (4.22, 4.23) nos muestran una cierta estabilidad y en la última se observa muy poca variación térmica, todo en un tiempo relativamente corto. Lo mismo se puede observar en el último monitoreo de la figura 4.7, donde las variaciones de temperatura eran muy rápidas, ya que como se dijo anteriormente, las lecturas que se obtuvieron a distancias iguales con un intervalo de algunos minutos, tuvieron una diferencia notoria.

De este modo, los resultados del análisis comparativo mencionado, indican que existe una relación entre la estructura de la temperatura en la atmósfera, y los muestreos hechos con el sistema de eco sondeo, lo cual puede significar un avance considerable en el campo de la investigación Meteorológica en México.



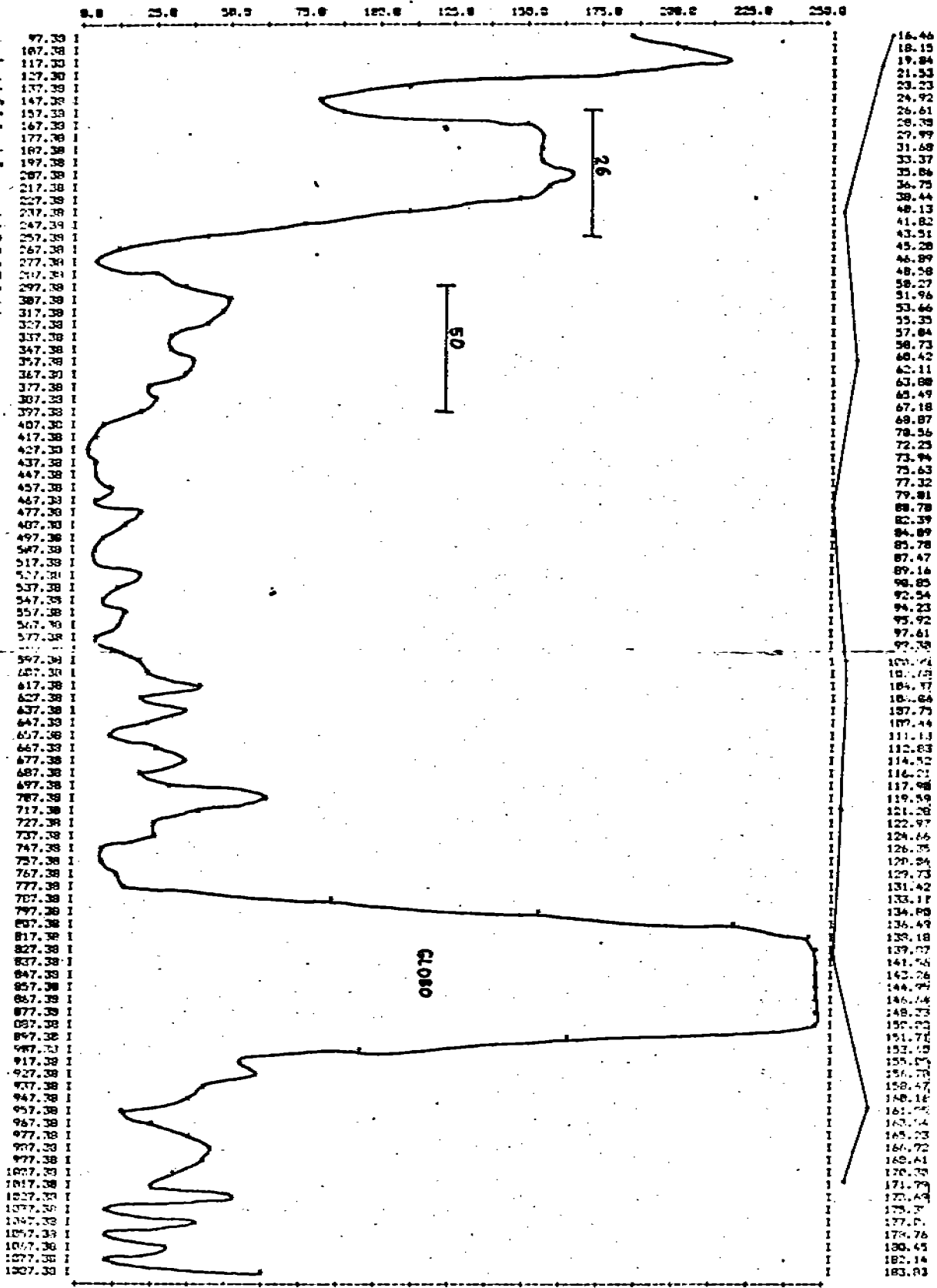


DATOS TOMADOS EL 28 - ENERO - 1984 9:1 HS.  
 Del segundo 0 al segundo 1. Temperatura = 10 °C  
 Impresión (-) cada 20 dato(s)

Amplitud (volts Escala 1:0.029)

Altura (mts.)

PROCESO ESTADÍSTICO



Datos estadísticos del muestreo

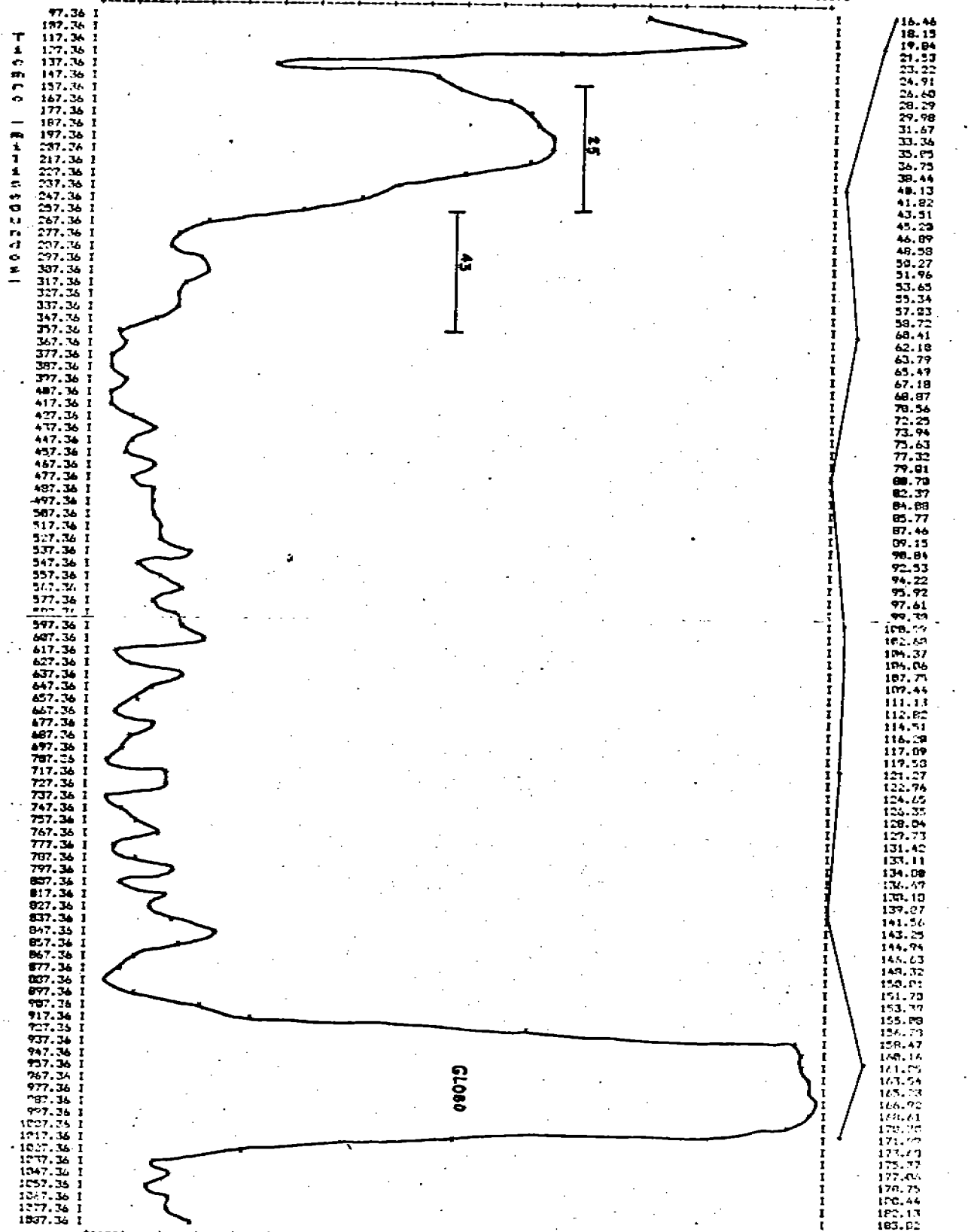
Especificación	VALOR	Datos	Tiempo (minutos-segundos)	Altura (mts.)
Media aritmética	87.396		476.000	109.000
Desviación estándar	75.503		0.4.000	109.000
VALOR MÁXIMO	2	250		
VALOR MÍNIMO	100	100		

Figura 4.22

DATOS TOMADOS EL 28 - ENERO - 1964 9: 7 HS.  
 Del segundo 0 al segundo 1. Temperatura= 10 °C  
 Impresion (->) cada 20 dato(s)

Amplitud (volts <escala 1:0.029>)

Altura (mts.)



Datos estadísticos del muestreo

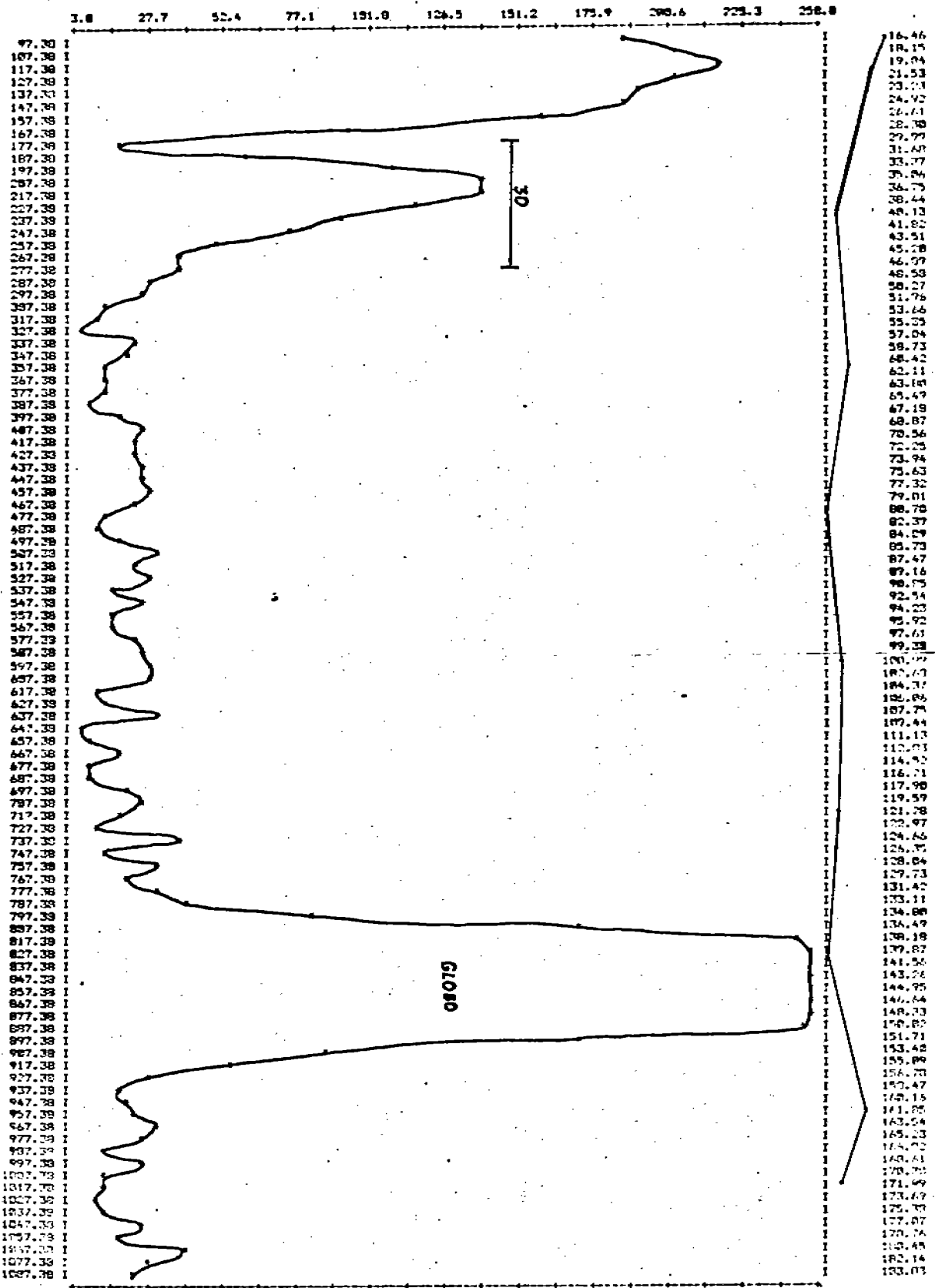
Media aritmética	60.476	Desviación estándar	70.203
Especificación	VALOR	Datos	Tiempo (allsegundos)
Valor mínimo	0	105	709.007
Valor máximo	250	1524	940.007
			Altura (mts.)
			119.921
			180.611

Figura 4.23

Del segundo 0 al segundo 1. Temperatura = 10 °C  
 Impresión 1/2 cada 20 datos

Amplitud (volts <escala 1:0.029>)

Altura (mts.)



Datos estadísticos del muestreo

Media aritmética	121.264	Desviación estándar	74.677
Erradicación	VALOR	Datos	Tiempo (en segundos)
Valor mínimo	3	1075	644.822
Valor máximo	253	1474	823.892
			Alturas (métr.)

Figura 4.24

## CONCLUSIONES.

El diseño del sistema de eco sondeo, cumple satisfactoriamente con todos los objetivos mencionados al principio de esta tesis, y fué comprobado mediante una serie de experimentos, cuyos resultados nos aseguraron un funcionamiento eficiente. Entre los experimentos que se hicieron, destaca uno de trascendental importancia (mencionado al final del capítulo 4), en donde en conjunto con el sistema de eco sondeo, se elevó un globo para monitorear la estructura de la temperatura en la atmósfera, y el análisis comparativo entre los resultados obtenidos fué muy acertado, lo cual indica la gran utilidad del sistema en este tipo de aplicaciones.

El alcance del sistema es de 200 metros aproximadamente, y puede ser incrementado si se toman algunas medidas tales como: aumentar la potencia en la transmisión de la señal sonora (mayor número de bocinas), aislar acústicamente la antena parabólica y/o cambiarla a un lugar de mayor altura, con un nivel de ruido menor.

Las dos etapas en que se dividió el proyecto, fueron diseñadas de una manera sencilla y estructurada, lo cual permite adaptarlas fácilmente a cualquier aplicación relacionada. En este punto cabe mencionar, que la etapa de hardware utiliza componentes relativamente baratos y fáciles de obtener en el mercado, trabaja en forma modular, donde cada módulo tiene una función determinada (amplificar, filtrar, compensar, etc.), y tiene varios puntos de ajuste para hacer más flexible su manejo. La otra etapa (software), también está integrada por módulos o programas, entre los que existe una relación, la cual se hizo lo más independiente posible, para evitar afectaciones serias cuando se modifique alguno de ellos; de esta manera se -

limitó el número de variables y se utilizó una memoria compartida entre procesos.

Con la adaptación del sistema a una computadora -- (que permite la automatización) y la flexibilidad del mismo, tenemos una herramienta muy poderosa para observar la estructura de la temperatura en la atmósfera, con lo cual obtenemos una ventaja muy grande sobre el método de monitoreo con un globo cautivo que utiliza radio sondeo, ya que en este último, existe una serie de factores que limitan su operación, entre los que tenemos: un costo elevado por monitoreo, la necesidad de recursos humanos y de condiciones atmosféricas estables (ausencia de viento), además de la cantidad de --- tiempo que lleva el hacer las pruebas, recopilar datos, hacer el análisis y elaborar reportes.

Por todo lo mencionado en los párrafos anteriores, decimos que el sistema de eco sondeo va a simplificar considerablemente la obtención de los datos que nos indican el movimiento vertical de las capas atmosféricas, mismos que se utilizan para la solución en cierta medida de la ecuación de difusión mencionada en la introducción de esta tesis.

Por último diremos que el sistema de eco sondeo, - también puede ser utilizado para medir otras variables atmosféricas, como por ejemplo la velocidad del viento en relación al tiempo y a la altura (por el efecto Doppler), y de esta - manera ofrece un panorama tridimensional de la estructura de la atmósfera, lo cual es muy importante desde el punto de vista meteorológico.

A P E N D I C E.

Fórmulas de las ondas acústicas planas.

Ecuación de onda 
$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = C^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} ,$$

Con solución  $u(x,t) = Ae^{i(\omega t - Kx)} + Be^{i(\omega t + Kx)}$

Presión:  $P = -\rho C \frac{\partial u}{\partial x} = i\rho C\omega (Ae^{i(\omega t - Kx)} - Be^{i(\omega t + Kx)})$

Condensación:  $S = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = -\frac{\partial u}{\partial x} = iK Ae^{i(\omega t - Kx)} - iK Be^{i(\omega t + Kx)}$

Intensidad:  $I = P_{rms}^2 / \rho C$

Densidad instantánea de la energía:  $E_{inst} = \rho x^2 + \frac{\rho_0 x}{C}$

Promedio

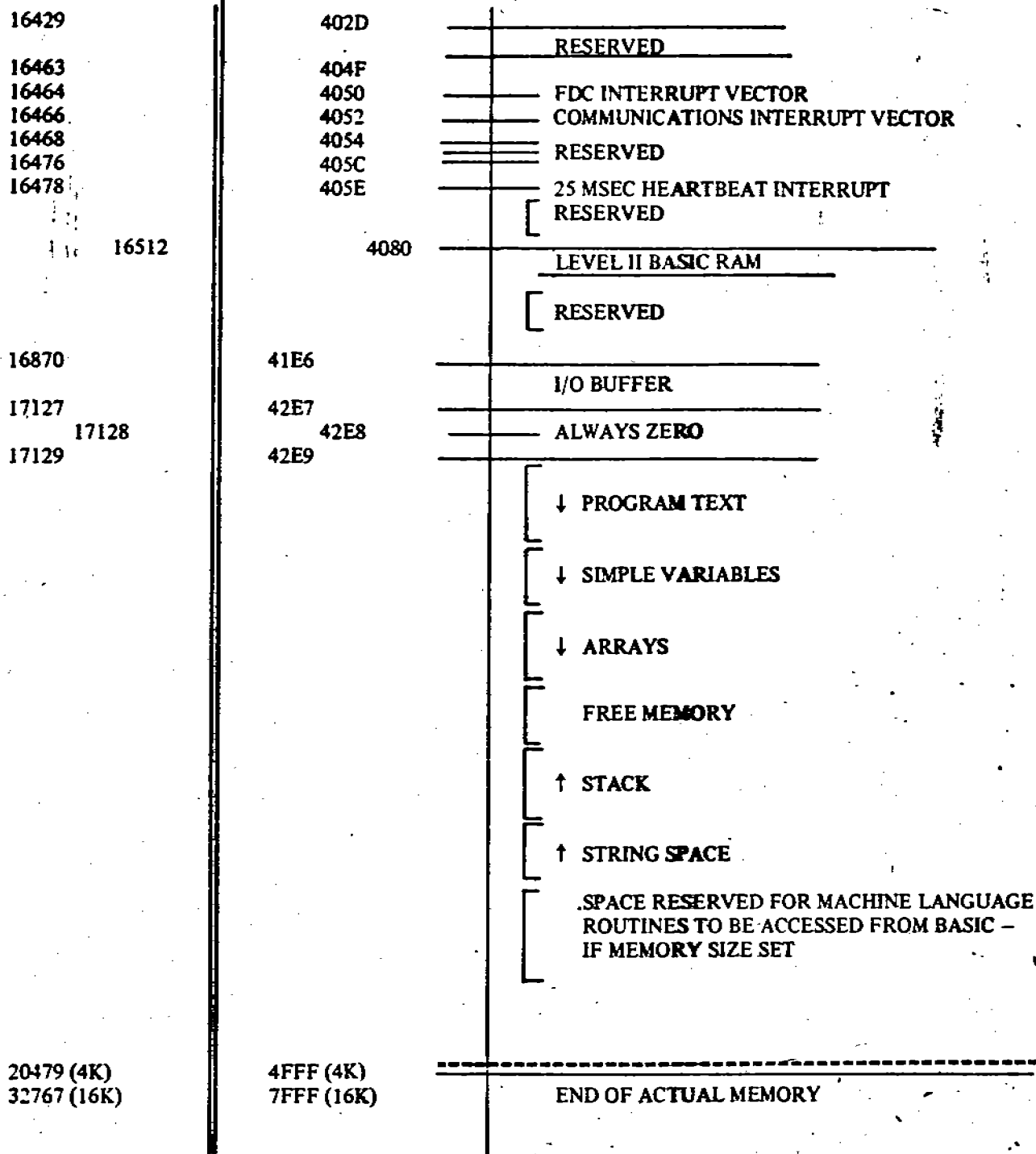
$$E_{prom} = 1/2 \rho x^2$$

Impedancia acústica específica:  $z = \rho C$

DECIMAL	HEXIDECIMAL	
0	0000	LEVEL II BASIC ROM
12288	3000	
		RESERVED
14302	37DE	COMMUNICATION STATUS ADDRESS
14303	37DF	COMMUNICATION DATA ADDRESS
14304	37E0	INTERRUPT LATCH ADDRESS
14305	37E1	DISK DRIVE SELECT LATCH ADDRESS
14308	37E4	CASSETTE SELECT LATCH ADDRESS
14312	37E8	LINE PRINTER ADDRESS
14316	37EC	FLOPPY DISK CONTROLLER ADDRESS
14336	3800	TRS-80 KEYBOARD
		MEMORY
15360	3C00	TRS-80 CRT
		VIDEO MEMORY
16383	3FFF	LEVEL II BASIC FIXED RAM
16384	4000	
		VECTORS (RST'S 1 THROUGH 7)
16402	4012	KEYBOARD DEVICE CONTROL BLOCK
16405	4015	
		DCB + 0 = DCB TYPE + 1 = DRIVER ADDRESS + 2 = DRIVER ADDRESS + 3 = 0 + 4 = 0 + 5 = 0 + 6 = 'K' + 7 = 'I'
16413	401D	VIDEO DISPLAY CONTROL BLOCK
		DCB + 0 = DCB TYPE + 1 = DRIVER ADDRESS (LSB) + 2 = DRIVER ADDRESS (MSB) + 3 = CURSOR POS N (LSB) + 4 = CURSOR POS N (MSB) + 5 = CURSOR CHARACTER + 6 = 'D' + 7 = 'O'
16421	4025	LINE PRINTER CONTROL BLOCK
		DCB + 0 = DCB TYPE + 1 = DRIVER ADDRESS (LSB) + 2 = DRIVER ADDRESS (MSB) + 3 = LINES/PAGE + 4 = LINE COUNTER + 5 = 0 + 6 = 'P' + 7 = 'R'



A P E N D I C E .



Mapa de memoria. Continuación.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] Alejandro Velasco, Hector Haro, Mario Peña, noviembre 1977: Proyecto RAMSES, Red Automática Micrometeorológica y Sistemas de ecosondeo. Comunicaciones técnicas, Vol. 8, No. 163, serie naranja, IIMAS-UNAM, 1-2, 4-5.
- [2] Edward A. Wolff and Enrico P. Mercanti, 1974: Geoscience Instrumentation. Wiley Interscience, Capítulo 5, 595-606.
- [3] H. Dean Parry, Melvin Sanders and Hans Jensen, Febrero 1975: Operational Applications of a pure acoustic sounding system. Journal of applied meteorology, Vol. 14, 67-77.
- [4] F.F. Hall, J.G. Edinger and W.D. Neff, Junio 1975: Connective plumes in the planetary boundary layer, Investigated with an acoustic echo sounder. Journal of applied Meteorology, Vol. 14, 513-523.
- [5] P.A. Mandics and E.J. Owens, septiembre 1975: Observations of the marine atmosphere using a ship-mounted acoustic echo sounder. Journal of applied Meteorology Vol. 14, 1110-1117.
- [6] H. Dean Parry and Melvin Sanders, enero 1972: The design and operation of an acoustic radar. IEE Transactions on geoscience electronics, Vol. GE-10, No. 58-64.
- [7] Frederick J. Hill, Gerald R. Peterson, 1980: Teoría de Conmutación y Diseño Lógico. Editorial Limusa, primera edición, 124-149, 267-283.

- [8] Donald E. Knuth, 1973: Fundamental algorithms, the art of Computer Programming. Addison-Wesley, Volumen 1, 95, 141.
- [9] James Martin, 1975: Organización de las Bases de Datos. Prentice Hall Internacional, primera edición, segunda impresión, 283-301.
- [10] Jerald G. Graeme, Gene E. Tobey, Lawrence P. Huelsman, 1978: Amplificadores Operativos, Diseño y Aplicación. Editorial Diana, Primera edición, 265-380, 411-418, 440-451.
- [11] Jacob Millman, Christos C. Halkias, 1972: Integrated Electronics, Analog and digital circuits and Systems. McGraw-Hill Kogakusha, LTD., 87-155, 447-457
- [12] 1978: Level II Basic reference Manual; Editor. Assembler user instruction manual 26-2002, TRS-80 Microcomputer System: Radio Shack, a division of Tandy Corporation.
- [13] Howard M. Berlin: Circuit design Programs for the TRS-80. The Blacksburg Continuing education Series, 7-8.
- [14] Line Printer III, Catalog number 26-1156A, TRS-80 Micro Computer System: Radio Shack, a division of Tandy Corporation, 7-8, 11-14, 19-32.
- [15] William Barden Jr : The Z-80 micro Computer hand book. Howard W. Sams Co. Inc., 15-244, 272-274.
- [16] William W. Seto, 1973: Teoría y Problemas de acústica. Serie de Compendios Schaum, McGraw-Hill de México, 2, 38-41, 64-92, 115-120, 139-140, 153-154.

- [17] Martín Giles, 1980: Audio/Radio handbook. National Semiconductor Corporation, 2-7 a 2-9, 2-11, 2-18 a 2-22.
- [18] Jhon A. Dutton, 1976: The Ceaseless Wind, an introduction to the theory of atmospheric motion. McGraw-Hill 80-87.
- [19] Francis W. Sears, 1980: Mecánica, Calor y Sonido (Fundamentos de Física), ediciones Aguilar, Vol. 1, 500-505.
- [20] Mordecai Ezekiel, Karl A. Fox, 1970: Methods of Correlation and regression analysis. Tercera edición, John Wiley Sons Incorporation, 170-187.
- [21] Herbert Taub, Donal L. Schilling, 1971: Principles of Communication Systems. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., 488-494.
- [22] Diccionario Enciclopédico Ilustrado, Hashette Castell: Tomo 1, Referido a la palabra atmósfera.
- [23] Murray R. Spiegel, 1970: Manual de Fórmulas y Tablas Matemáticas. Serie de Compendios Schaum, McGraw-Hill de México, 38, 23-25.
- [24] 1979: Engineering Product Handbook, Datel Intersil. 24-27.

BIBLIOTECA  
JUAN A. ESCALANTE H.  
UNIDAD ACADÉMICA DE  
LOS CICLOS PROFESIONAL  
Y DE POSGRADO / CCH  
UNAM