



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

91
Zejeu

“DISEÑO DE UN ANEMOMETRO
SONICO DIGITAL”.

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO - ELECTRICISTA

CON AREA DE ESPECIALIZACION
E N E L E C T R O N I C A

P R E S E N T A :

WILFRIDO GUTIERREZ LOPEZ

DIRECTOR DE TESIS :
ING. VICTOR ZARRALUQUI SUCH



MEXICO. D. F.

1995

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedico este trabajo a mis padres:
Estanislao Gutiérrez Mejía y Justina López Sánchez,
por la confianza y comprensión que siempre me han brindado.
A mis hermanos ***Germán, Catalina, Javier y Bricia Guadalupe,***
por el apoyo dado en todo momento.

A los Ingenieros ***Manuel García Espinosa y Jorge A. Escalante González,***
por toda la ayuda otorgada durante el desarrollo de este trabajo.

Agradezco al Ingeniero *Victor Zarraluqui Such* por el apoyo,
ayuda, asesoría y confianza brindadas en el desarrollo de este trabajo.

A todas las personas que en algún momento estuvieron conmigo,
brindándome su apoyo moral e incondicional.

*"Lo más importante no es trabajar,
sino producir y disfrutar el fruto de nuestro trabajo".*

Roger Patrón Luján.

INDICE

INTRODUCCION		1
CAPITULO 1 : ANTECEDENTES		3
1.1. Origen y comportamiento de viento.		3
1.2. El viento y la Meteorología.		7
1.3. Instrumentos de medición del viento.		10
CAPITULO 2 : ANTEPROYECTO PARA EL DISEÑO DEL PROTOTIPO		26
2.1. Principio de operación y características del instrumento.		26
2.1.1. Características de algunos anemómetros comerciales.		30
2.2. Diseño por etapas.		35
CAPITULO 3 : DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO		37
3.1. Etapa de detección.		37
3.1.1 Los transductores.		38
3.1.2 Circuito transmisor de señal.		49
3.1.3 Circuito de recepción.		68
3.2. Etapa del cronómetro		83
3.3. Etapa controladora		89
3.4. Procesamiento y almacenamiento de datos.		98
3.4.1. Captura de los datos.		99
3.4.2. Procesamiento de los datos		100
3.5. Módulo externo (características y dimensiones)		115
CAPITULO 4 : FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA		119
4.1. Pruebas de Laboratorio.		119
4.2. Calibración.		125
CAPITULO 5 : DESCRIPCION TECNICA Y MANTENIMIENTO		128
5.1. Especificaciones del Sistema.		128
5.2. Mantenimiento Preventivo.		129
5.3. Mantenimiento Correctivo.		130
CONCLUSIONES.		133
BIBLIOGRAFIA.		134

INTRODUCCION.

Cada día los fenómenos atmosféricos globales cobran mayor importancia dada su incidencia en la vida del planeta. Es por ello que los gobiernos destinan cada día mayores recursos económicos a los estudios que se realizan sobre el cambio climático, la contaminación en las ciudades, etc. Para llevarlos a cabo es necesario contar con una gran cantidad de información procedente de estaciones meteorológicas, satélites, etc.,

Lo primordial de esta información es que los datos con los que se cuente sean confiables, lo que significa tener instrumentos precisos y sensibles.

En esta línea trabaja el grupo de Instrumentación Meteorológica del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la U.N.A.M. en donde además se cultivan diversas disciplinas como Teoría del clima, Meteorología física y Ciencias ambientales entre otras.

Este grupo se dedica en particular al diseño de instrumentos que apoyan las investigaciones que se realizan en el campo de la Meteorología y la Climatología.

Algunos diseños de instrumentos que se han llevado a cabo dentro del grupo incluyen el desarrollo de un termómetro digital, un higrómetro, un pluviómetro, una veleta y un anemómetro de copas, entre otros.

El presente trabajo forma parte de estos proyectos y se refiere al diseño de un anemómetro sónico digital. Este proyecto tiene como origen la necesidad de varios grupos del centro por contar con instrumentos que ayuden al estudio de la turbulencia atmosférica, el balance energético, etc., tratando de mejorar las características que ofrecen los comerciales y buscando reducir el alto costo de los mismos.

Ahora bien, dado que es el primer instrumento de estas características que se desarrolla dentro de la institución, el presente trabajo inicia con una vasta investigación sobre los principios de operación y avances logrados en el diseño de este tipo de instrumentos, así como una revisión de lo que ofrece el mercado en la actualidad.

Con estas bases, en el capítulo II se bosqueja un anteproyecto de diseño en el que se consideran los requerimientos de los futuros usuarios. En el capítulo III se presenta el diseño de cada una de las etapas, así como las posibles opciones y problemas en el desarrollo de éstas.

En los capítulos subsecuentes se presentan las pruebas de funcionamiento del sistema, especificaciones del mismo, indicaciones para el mantenimiento preventivo y correctivo del instrumento; por último las conclusiones y la bibliografía utilizada.

CAPITULO 1.

ANTECEDENTES

1.1 ORIGEN Y COMPORTAMIENTO DEL VIENTO

La atmósfera es la capa exterior de la tierra y está formada por una mezcla de gases cuyos principales componentes son: el Nitrógeno con un 78%, el Oxígeno en un 21%, en muy pequeña proporción el Argón, el Hidrógeno, el Neón, el Helio, el Xenón; así como en cantidad variable el vapor de agua y el gas carbónico.

Para su estudio existen diversas clasificaciones las cuales varían dependiendo del enfoque. Desde el punto de vista meteorológico, la más importante es la que se basa en la distribución de temperatura de acuerdo con la altitud, esta última se muestra en la figura 1.1.

1000 km	EXOSFERA	Vacio casi absoluto, zona de circulación de satélites geofisicos.
400 km	MESOSFERA	Producción de iones, transformación de los rayos cósmicos primarios en secundarios.
80 km	IONOSFERA	Producción de iones, capas electrolizadas que reflejan las ondas electromagnéticas, auroras y bólidos.
25 km	QUIMIOSFERA	Reacciones químicas, presencia de capas de ozono, filtro de radiación ultravioleta.
10 km	ESTRATOSFERA	Aire prácticamente en calma, nubes irisadas.
0 km	TROPOSFERA	Fenómenos meteorológicos (vientos, nubes, lluvias, etc.

Figura 1.1 Capas de la atmósfera.

Es precisamente en la atmósfera donde se llevan a cabo todos los procesos climáticos, principalmente en la tropósfera. Esta es una capa de aire que está en contacto con la superficie terrestre, por lo cual es la más densa, ya que en ella se concentra el 90% del peso de la atmósfera.

Sus características principales son las corrientes debidas al calor, la variación vertical de la temperatura y la moderación de las oscilaciones de la temperatura a causa del día y la noche.

El estado de la atmósfera en cualquier momento y lugar se expresa por la condición de sus propiedades físicas. Dichas propiedades son:

Propiedades físicas atmosféricas	{	Temperatura.
		Precipitación y humedad.
		Dirección y velocidad del viento.
		Presión atmosférica.

Estas últimas son conocidas como "los elementos del tiempo y del clima".

El tiempo desde el punto de vista climático es la suma total de las propiedades físicas de la atmósfera en un periodo cronológicamente corto, en otras palabras, es el estado momentáneo de la atmósfera.

Como la tierra no se encuentra fija, ni tiene una superficie uniforme y regular, cada una de sus partes o regiones recibe distinta cantidad de calor solar, por lo que se producen corrientes verticales por convección y movimientos horizontales de aire por la superficie terrestre o paralelos a ella. Estos flujos horizontales de aire debidos a las desigualdades de temperatura son denominados como vientos.

Básicamente, el viento es un flujo de gases que forma parte de la atmósfera, y posee características físicas como dirección de flujo y velocidad. Ambas variables son función de la temperatura y de la presión atmosférica; por tanto, el viento es determinante en el clima y puede ser considerado como uno de los principales componentes de éste.

El movimiento del aire es el resultado de la acción de varias fuerzas, en especial de las fuerzas de presión y fricción. El movimiento de rotación de la tierra y la configuración orográfica de la misma determinan vientos generales, periódicos y locales. El aire circula siempre empujando de un centro o zona de alta presión a un centro o zona de presión más baja, a fin de anular la diferencia existente entre ambas.

El impulso del viento depende de las variaciones de presión, pues cuanto más pronunciadas son éstas, mayor es el impulso y fuerza del viento. Una vez que el viento empieza a soplar, entran en juego varios factores como son: la fuerza de coriolis y la fricción de la corriente con los accidentes orográficos. De esta forma se originan varios sistemas de vientos y corrientes de aire que constituyen lo que se conoce como la circulación general de los vientos.

La fuerza de Coriolis desempeña un papel primordial en la determinación de la dirección del movimiento del aire en las grandes masas de rotación de la atmósfera, por lo que rige la circulación de los ciclones, anticiclones y huracanes tropicales. Como la circunferencia ecuatorial de la tierra es de 40,076 km., un punto situado sobre la misma recorrerá esa distancia en 24 horas, o sea, que completará una revolución, lo que da por resultado una velocidad de más de 1,600 km/hora, pero como el diámetro se va reduciendo con la latitud, hasta no existir en los polos, la distancia que debe recorrer un punto para completar una revolución en 24 horas disminuye hacia los polos, por lo que la superficie terrestre se desplaza más lentamente. La magnitud de esa fuerza es cero en el ecuador y alcanza su máximo valor en los polos, donde su magnitud es igual al doble del producto de la velocidad del viento por la velocidad angular de la tierra.

El sistema general de los vientos se encuentra estrechamente ligado con los diferentes cambios de las estaciones, ya que la inclinación del eje de la tierra y el movimiento de traslación alrededor del sol, hacen que la perpendicularidad de los rayos solares varíe constantemente de latitud, ya que en algunas ocasiones están al norte del ecuador, y otras veces hacia el sur. Esto hace que el centro del sistema general de los vientos cambie de acuerdo con la perpendicularidad del sol.

Cuando los rayos solares llegan verticalmente al ecuador, el sistema general de los vientos se halla en el centro de la tierra, pero cuando los rayos llegan al sur del ecuador (como en enero), ésta es la zona que más se calienta, dicho cambio da lugar a que el aire caliente ascendente, el cual se encuentra en el centro del sistema de vientos, también este allí, por lo que todo el sistema gira hacia el sur. Por el contrario, cuando los rayos solares

llegan al norte del ecuador (como en julio), el centro del sistema general se desplaza hacia el norte.

Una representación gráfica de los sistemas y corrientes de aire que constituyen la circulación de la atmósfera se presentan en la figura 1.2.

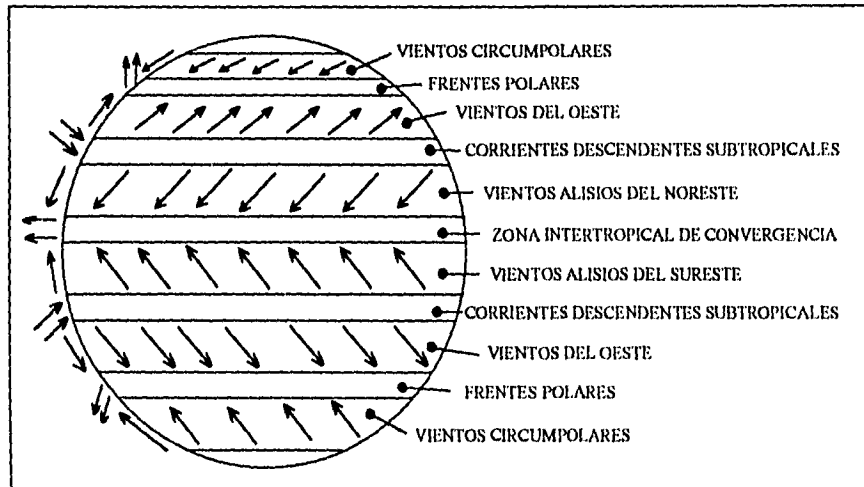


Figura 1.2 Sistemas y corrientes principales de aire en la tierra.

1.2 EL VIENTO Y LA METEOROLOGIA

La Meteorología es la ciencia que estudia la atmósfera, su nombre procede de las palabras griegas metewpos (lo que se encuentra en el aire), y logos (tratado). Se encuentra vinculada con diversas ciencias y disciplinas como: la física, química, estadística, geofísica, geografía, oceanografía, etc. . Desde el punto de vista de las aplicaciones, presta gran ayuda a diversas actividades, entre otras a la agricultura, ganadería, industria, servicios, economía, medicina, marina, aviación, turismo, seguros, etc...

En la práctica, la meteorología está relacionada principalmente con el tiempo y resulta ser la fuente de información más importante sobre los vientos.

Por su aspecto teórico se divide en las siguientes ramas:

Meteorología Física:	Comprende el estudio los fenómenos físicos como radiación solar, irradiación terrestre, temperatura, presión, evaporación, condensación, nubosidad, precipitación, incluyendo fenómenos acústicos, ópticos, y eléctricos de la atmósfera.
Meteorología Sinóptica.	Se apoya en mapas dentro de los que se representan esquemáticamente las condiciones de presión barométrica, temperatura, viento, etc..., de una extensa área en un momento determinado, para analizar y pronosticar el probable estado del tiempo en las horas o en los días venideros.
Meteorología Dinámica.	Estudia los movimientos de la atmósfera, comprendiendo la termodinámica del calor y la hidrodinámica de la humedad, ya que entre el calor, la humedad y los movimientos atmosféricos hay conexiones recíprocas de causa y efecto.
Meteorología Estadística.	Se encarga del análisis estadístico de los elementos meteorológicos para obtener promedios, frecuencias y tendencias que nos ayudan a establecer las bases para el estudio de la climatología.

Por su aplicación :

Meteorología Aeronáutica.	Estudia las condiciones del tiempo en la altura y la evolución que del mismo pueda haber durante un vuelo, utilizando los datos que proporciona la meteorología sinóptica para el conocimiento de las condiciones medias de la atmósfera en las rutas por recorrer, además de una eficiente técnica en el intercambio sistemático de mensajes entre las aeronaves y los centros meteorológicos, así como de éstos entre sí.
Aerología .	Se ocupa del estudio de las capas altas de la atmósfera para apoyo de los vuelos que se llevan a cabo en la estratósfera.
Hidrometeorología.	Se encarga del estudio del agua producida por la precipitación para satisfacer las demandas industriales, el abastecimiento a poblaciones, presas, riego, etc..
Meteorología Agrícola.	Estudia la capa superficial del aire comprendida desde el suelo hasta los primeros metros de altura, o sea, el espacio aéreo en que viven las plantas (microclimatología), y la relación del tiempo atmosférico con las cosechas, inundaciones y plagas. Se aplica en la selección de cultivos acordes a los diferentes tipos de climas.
Meteorología Industrial.	Estudia las relaciones entre las condiciones atmosféricas y las actividades industriales. Un ejemplo de ello son la obtención de energía del viento y del calor solar. Otro caso, sería el efecto que producen la humedad y temperatura en la fabricación de productos químicos, marcha de motores, etc..
Meteorología Legal.	Estudia los riesgos ocasionados por granizadas, heladas, inundaciones , huracanes, etc..., que pueden sufrir la agricultura, la ganadería, y las casas habitación en general, lo cual sirve para ayudar a determinar los seguros.
Meteorología Química.	Estudia los procesos de formación natural o artificial de las gotas de agua de las nubes y de su precipitación al suelo, la contaminación del aire en los centros industriales, la composición química de la lluvia, la nieve y el granizo como portadores de abonos para los cultivos ; la radiactividad del aire y de la lluvia.
Meteorología Marítima.	Además de apoyar a la navegación marítima, posee un sistema coordinado de información entre las estaciones de tierra y los barcos meteorológicos que navegan en zonas claves donde se generan los ciclones.

Meteorología Médica	Estudia las relaciones que existen entre la salud y los cambios de tiempo ya que las continuas alteraciones químicas y físicas del aire ejercen un notable influjo en la vida vegetativa, sensitiva e indirectamente psíquica del ser humano.
Meteorología Arquitectónica	Estudia la elección de materiales y formas de las construcciones; el cálculo de diámetros de las alcantarillas de desague de las lluvias; el efecto del viento en los rascacielos, la lucha de la humedad del suelo en algunos lugares lluviosos; y la orientación de las calles y edificios , según los vientos dominantes

1.3 INSTRUMENTOS DE MEDICION DEL VIENTO

Cuando el hombre primitivo empezó a observar la naturaleza, se dió cuenta que los vientos se encontraban estrechamente relacionados con los diferentes cambios climáticos. A partir de entonces, tuvo la inquietud y el deseo de construir instrumentos indicadores que fueran útiles para la medición de la velocidad del viento.

En un principio recurrió a observar distintos fenómenos naturales, por ejemplo, el movimiento de las hojas en los árboles, ó la inclinación de estos últimos dependiendo la fuerza del viento.

En el año de 1805, los marinos empezaron a determinar la velocidad del viento mediante una escala que lleva el nombre de su creador, el almirante inglés Beaufort. En dicha escala se establecieron doce grados de fuerza del viento.

Para mediciones sobre la tierra, la escala de Beaufort se mide por los efectos en los árboles, los edificios, etc., quedando establecida esta escala según la siguiente tabla:

Grado	Descripción	Velocidad del viento (km/h)	Especificación para la estimación
0	CALMA	< 1	El humo de las chimeneas sube verticalmente.
1	VENTOLINA	1 - 5	El humo de las chimeneas se inclina.
2	BRISA MUY DEBIL	6 - 11.	Se mueven las hojas de los árboles y las banderas.
3	BRISA DEBIL	12 - 19	Hojas y ramas en constante movimiento.
4	BRISA MODERADA	20 - 28	Polvareda, se elevan los papeles y ondean las banderas.
5	BRISA FRESCA	29 - 38	Los arbustos con hojas se balancean; se forman olitas con cresta en las aguas interiores (estanques).
6	VIENTO FRESCO	39 - 49.	Las grandes ramas se agitan; los hilos telegráficos silban; el uso del paraguas se hace difícil.
7	VIENTO FUERTE	50 - 61.	Los árboles enteros se agitan; la marcha en contra del viento se hace difícil.

8	VIENTO DURO	62 - 74.	El viento rompe las ramas; es imposible la marcha en contra del viento.
9	VIENTO MUY DURO	75 - 88.	El viento ocasiona ligeros daños en las viviendas (arranca cañerías, chimeneas, tejados).
10	TEMPORAL	89 - 102.	Arranca árboles, ocasiona importantes daños en los edificios y las viviendas, arrastra a las personas.
11	BORRASCA	103 - 117.	Ocasiona grandes destrozos en general.
12	HURACAN	MAYOR DE 118	Arranca árboles de cuajo y destruye casas.

Para el mar se caracterizan los grados por la altura de las olas quedando dicha escala de la siguiente manera:

Grado	Velocidad (millas/h)	Altura de las olas (m)	Efectos apreciables en el mar.
0	0 - 2	0	Como espejo.
1	2 - 4	0.1	Rizos sin espuma.
2	4 - 8	0.2	Olitas; crestas cristalinas.
3	8 - 12	0.6	Olitas; crestas rompientes.
4	12 - 16	1	Olitas creciendo; cabrilleo.
5	16 - 20	2	Olas medianas; alguna salpicadura.
6	20 - 23	3	Olas grandes; frecuentes salpicadura.
7	23 - 27	4	Mar creciente; el viento arrastra la espuma.
8	27 - 33	5.5	Olas alargadas; torbellinos de salpicadura.
9	33 - 39	7	Olas grandes; crestas rompen en rollo.
10	39 - 45	9	Olas muy grandes; crestas en penacho; poca visibilidad.
11	45 - 58	11.5	Olas altísimas; todo el mar espumoso.
12	Más de 58	14	Aire lleno de espuma; visibilidad reducida.

El ingenio y la habilidad del hombre a través de los siglos nos ha proporcionado el desarrollo de varios instrumentos de medida y registro de la velocidad del viento, que han reducido considerablemente la utilización de las escalas anteriores, particularmente para las estaciones terrestres, sin embargo, constituye un medio cómodo para estimar la velocidad del viento cuando no se cuenta con instrumentos de medición .

Los instrumentos que se utilizan para la medición de la velocidad del viento en superficie se les conoce con el nombre de anemómetros, palabra que proviene del griego anemo "aire" y metron "medida", y a los instrumentos que grafican esa velocidad del viento se les conoce como anemógrafos.

En la actualidad existe una amplia variedad de anemómetros para diferentes aplicaciones, los cuales se clasifican por su principio de operación

A continuación se presenta dicha clasificación, así como una descripción de los mismos.

Tipos de anemómetros	{	De rotación
		Dependientes de la temperatura
		De empuje
		De compresión
		Anemógrafos
		Laser
		Sónicos

1.3.1 Anemómetros de rotación.

Dentro de este tipo de anemómetros existen varios modelos, los cuales quedan divididos en dos clases dependiendo de la dirección de rotación de sus ejes (vertical ú horizontal). Algunos de los más usados actualmente se presentan a continuación.

a) Anemómetro de copas.

El más conocido de todos es el de Robinson o de Cazoletas; consiste en tres o cuatro varillas en cruz, situadas en un plano horizontal, las cuales sostienen en sus extremos unas copas semiesféricas huecas (una en cada extremo), las cuales presentan la concavidad en el mismo sentido. El empuje del viento es mayor en la cara cóncava de esas cucharas que en la convexa, y por tanto, el sistema gira siempre en el mismo sentido, cualquiera que sea la dirección del viento reinante. La velocidad de rotación aumenta proporcionalmente a la velocidad del viento.

El eje vertical de este sistema se apoyaba en un pivote inferior, el cual anteriormente se encontraba cerca de un tornillo sin fin que comunicaba su movimiento al engranaje de un contador de vueltas. En algunos aparatos el contador indicaba los metros recorridos por el aire, pero en otros expresaba las vueltas de las copas, y entonces se tenía que multiplicar el número de éstas por el equivalente de una vuelta en metros.

En otros casos se acoplaba al eje vertical un pequeño generador eléctrico, el cual producía una corriente eléctrica la que se medía mediante un amperímetro graduado directamente en base a la velocidad del viento.

En la actualidad el eje vertical se encuentra acoplado a un disco decodificador, el cual mediante un sistema optoelectrónico registra la frecuencia en que la luz es interrumpida por el disco y así poder relacionar esta frecuencia con la velocidad del viento.

Los anemómetros de copas dan la velocidad media del viento correspondiente a un intervalo más o menos largo. Se utiliza generalmente para medir velocidades medias de viento dentro de la meteorología y la climatología (figura 1.1).

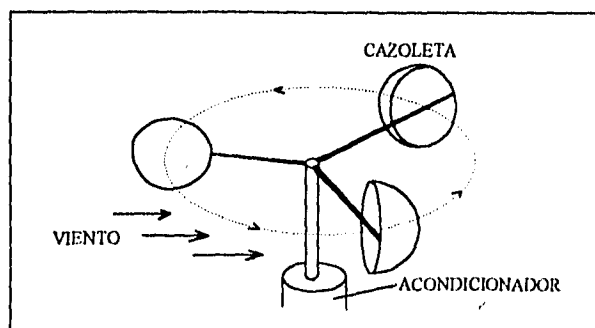


Figura 1.1 Anemómetro de cazoletas.

b) Anemómetro de hélice.

En este tipo, las paletas están dispuestas en forma de una hélice que se mantiene de cara al viento mediante una veleta; la velocidad de giro de esta hélice se transmite a un aparato indicador como los que utiliza el anemómetro de rotación.

Existe un modelo muy simple (figura 1.2) en que la hélice mueve un contador, para calcular la velocidad del viento es necesario servirse de un cronómetro, Estos aparatos son ligeros y pueden sostenerse en la mano, se utilizan sobre todo para medir velocidades débiles del aire, tales como las que se producen en la microclimatología.

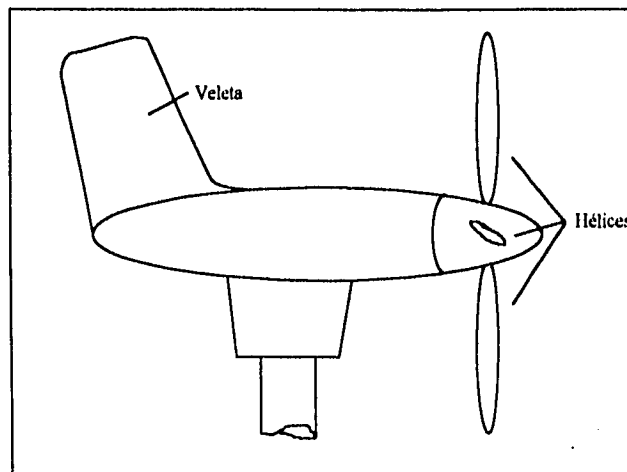


Figura 1.2 Anemómetro de hélices

c) Anemómetro de molinete.

También conocido como anemómetro de Byram, mide la velocidad del viento mediante la relación con la rotación de un molinete de aspas que gira alrededor de un eje vertical ú horizontal, el sistema de registro y medición es parecido al que utiliza el anemómetro de copas. Al igual que este último se utiliza para medir la velocidad media del aire en estudios de meteorología y climatología (figura 1.3).

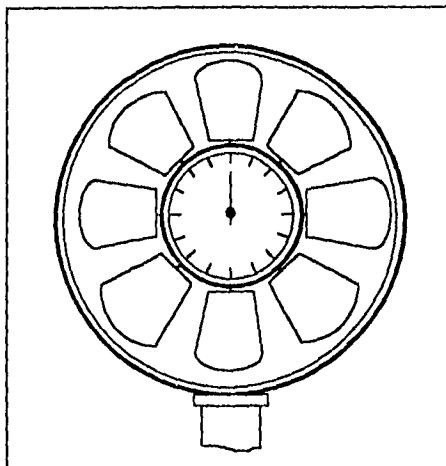


Figura 1.3 Anemómetro de molinete.

d) Anemómetro de contactos.

Este modelo es una variación del anemómetro de copas, donde la velocidad del viento es medida de acuerdo a la frecuencia de contactos eléctricos, siendo esta frecuencia proporcional a la velocidad del viento. Estos contactos pueden ser transformados en señales sonoras, luminosas, etc.

1.3.2 Anemómetros que dependen de la temperatura.

a) Anemómetro de hilo caliente.

Este tipo de anemómetro se apoya en un principio análogo al de la técnica del dedo húmedo. En lugar de indicar una diferencia de temperatura entre la corriente de aire y una superficie húmeda, resultado de la evaporación, este artificio indica solamente la razón de la transferencia de calor desde un hilo caliente a una corriente. Cuando un hilo caliente muy delgado se coloca en una corriente de aire se transmite calor al gas a una velocidad

que depende del movimiento local del aire . Aunque este notable dispositivo es, en principio muy simple, en la práctica su uso es bastante complicado. A pesar de su naturaleza compleja, este anemómetro es un instrumento muy útil en estudios de micrometeorología y en estudios de aerodinámica, a causa de su virtual sensibilidad a la dirección del viento y su rápida respuesta a los pequeños cambios en el movimiento del aire, por lo que es recomendado para mediciones de velocidades pequeñas teniendo un rango que va desde los centímetros por segundo hasta aproximadamente 10 metros por segundo (figura 1.4).

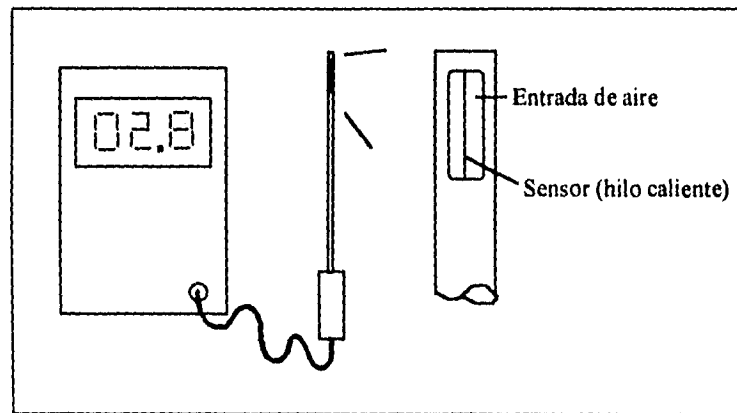


Figura 1.4 Anemómetro de hilo caliente.

b) Kata-termómetro.

Se deriva de los trabajos de Leslie en el año de 1804 pero es dado a conocer a la meteorología un siglo después por Hill, ocupa un termómetro de alcohol para medir velocidades bajas en la circulación del aire, calentando el bulbo largo del termómetro arriba de los 38 °C y anotando el tiempo que toma el enfriamiento de 38 °C a 35 °C ó algún otro intervalo arriba de la temperatura ambiente, siendo el intervalo de tiempo una medición del aire en esa área.

Este procedimiento aparentemente complicado tiene la ventaja de medir pequeñas velocidades del viento con mediana exactitud.

c) Anemómetro de termistor.

Este instrumento está basado en un termistor el cual, cuando su resistencia eléctrica cambia de manera significativa con la temperatura nos entrega una relación de la velocidad del viento en ese instante.

1.3.3 Anemómetros de empuje.

Estos se basan en la desviación de la posición de un obstáculo por el efecto de la fuerza ejercida por el viento.

Como un ejemplo de anemómetro de empuje nos encontramos al anemómetro de Daloz el cual, mide la velocidad del viento por medio de la inclinación que toma un pendulillo en uno de cuyos extremos tiene una bola hueca muy ligera, la inclinación que toma indica la velocidad por medio de los valores que están grabados sobre una pala metálica semicircular, sobre la cual oscila. Este aparato es portátil y para su observación se le sostiene en lo alto con la mano.

a) Anemómetro de palas.

Este anemómetro es una variante del anemómetro de Daloz (figura 1.5), pero no es portátil, la esfera es sustituida por una placa que toma la posición vertical cuando el aire está en calma, y cuya desviación respecto a dicha posición muestra una medida de la velocidad del viento.

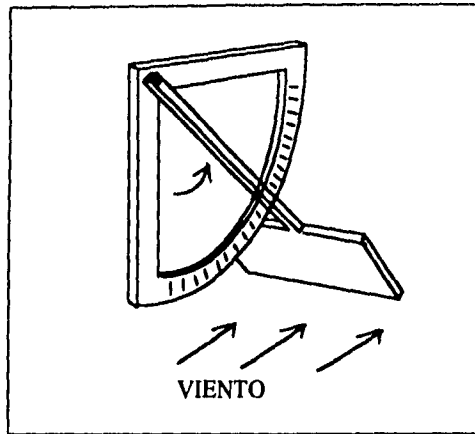


Figura 1.5 Anemómetro de palas.

b) Anemómetro de Wild.

Al igual que el anterior, se encuentra basado en el de Daloz, con la variante de que la placa, en lugar de pender de unas varillas, esta gira alrededor de un eje horizontal.

1.3.4 Anemómetros de compresión.

a) Anemómetro de presión.

La construcción de estos anemómetros está fundada en los siguientes principios; una veleta colocada al extremo de un mástil mantiene un orificio de un tubo de cara al viento, el aire que sopla en esta abertura crea una sobrepresión en el tubo, que depende de la velocidad del viento. Esta sobrepresión se transmite a los aparatos indicadores por un conducto. Otro tubo, situado inmediatamente abajo de la veleta, está provisto de numerosos agujeritos y el viento que pasa alrededor del mismo crea una depresión que se transmite a los aparatos por otro conducto.

El conjunto forma un sistema en el cual, la diferencia entre depresión y sobrepresión es independiente de la diferencia de presión que puede existir entre el interior y el exterior del edificio donde se encuentra el aparato indicador o manómetro.

Se dispone de dos tipos de manómetros para los anemómetros de presión.

1.- El manómetro de flotador de Dines, en el cual la diferencia de presión hace variar la posición de equilibrio de un cilindro flotante sobre el agua. El flotador acciona el dispositivo indicador.

2.- El manómetro Aneroide cuyo funcionamiento es similar al manómetro de Dines es el indicado para usarse sobre los ramos donde el modelo del flotador de Dines no se puede utilizar.

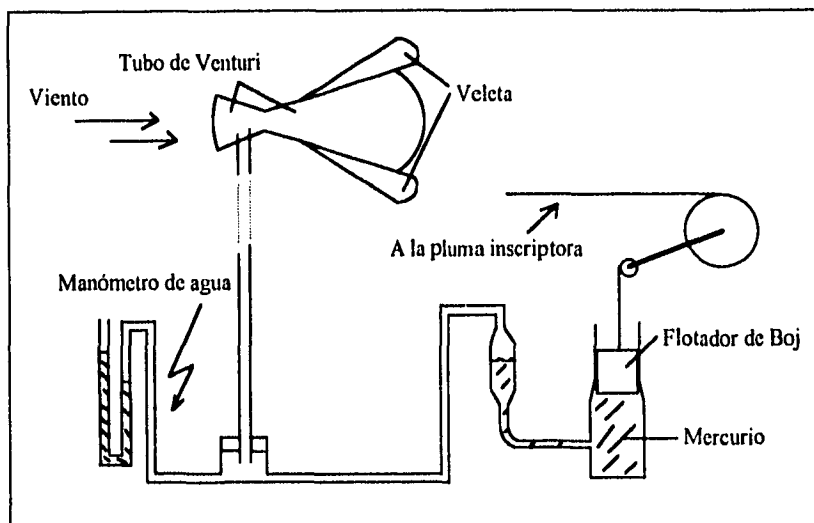


Figura 1.6 Anemómetro de presión.

1.3.5 Anemómetros graficadores (Anemógrafos).

a) Anemógrafo de Dines.

En este modelo (figura 1.7), el viento actúa simultáneamente por compresión (en un tubo de Pitot fijo en una veleta, de cara al viento) y por succión (en unos orificios contenidos en el tubo de bajada del aparato); una campana flotante dentro de un depósito cerrado y a medio llenar de agua recibe en su interior la compresión; la succión se ejerce en el aire comprendido entre la campana y la montura externa. El resultado, son

movimientos verticales de la campana que se comunican a la pluma inscriptora de las velocidades.

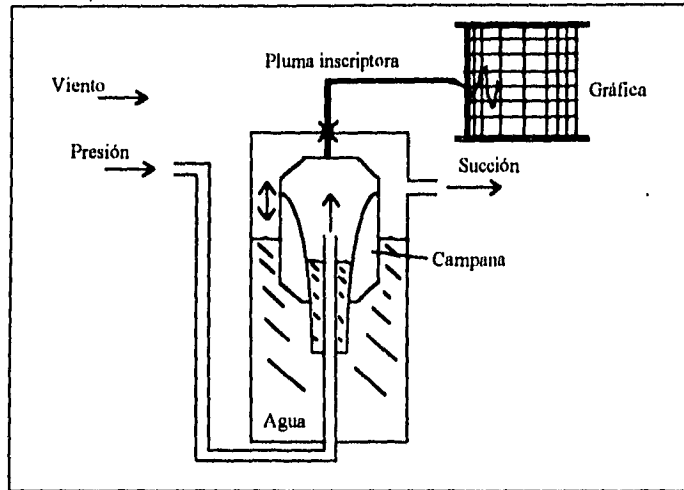


Figura 1.7 Anemógrafo de Dines.

b) Anemógrafo de Steffens.

Este tipo de anemógrafo cuenta con un tubo horizontal orientado según la dirección del viento y por el cual pasa el aire por el interior de una cañería ejerciendo presión en un flotador que es levantado más ó menos según la fuerza del viento. La presión que se ejerce es proporcional a la densidad del aire y al cuadrado de la velocidad. Si la velocidad se expresa en kilómetros por hora y la presión P en kilogramos por metro cuadrado, la fórmula aproximada que liga ambos elementos es la siguiente:

$$P = 0.0094 V^2$$

Este aparato da la velocidad ó la presión según se requiera.

El flotador reposa en un tanque de agua interior, el cual está aislado del tubo central por donde penetra la corriente de aire que empuja al primero hacia arriba.

El flotador que es levantado a causa de la presión que ejerce el viento que entra por el tubo, lleva en la parte superior una varilla con un estilete y una pluma que va señalando en

una gráfica la velocidad correspondiente. De esta manera se puede registrar la presión en kilogramos por metro cuadrado o la velocidad del viento.

1.3.6 Anemómetro laser.

El anemómetro laser proporciona mediciones cuantitativas muy precisas de la velocidad del viento, este dispositivo es capaz de dar una respuesta rápida por lo cual es apropiado para la medición de fluctuaciones de turbulencia a alta frecuencia. Este anemómetro se muestra en la figura 1.8.

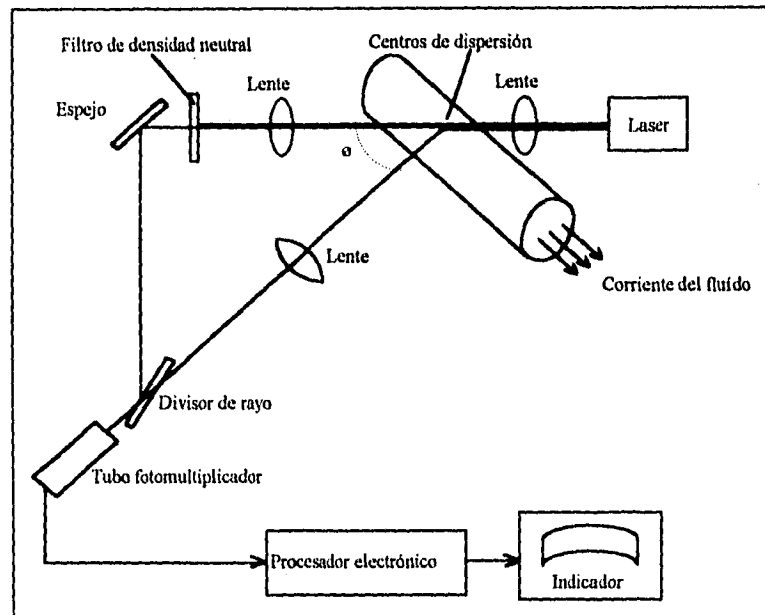


Figura 1.8 Anemómetro laser.

El sistema opera como sigue: El rayo laser se enfoca sobre un elemento del flujo de pequeño volumen por medio de la lente L1. Para que el sistema funcione, el flujo debe contener algún tipo de partículas pequeñas que dispersen la luz. En la mayoría de los casos, la concentración requerida de partículas en el fluido es muy pequeña. Los rayos que pasan a través del flujo se enfocan por medio de dos lentes adicionales: la lente L3 recibe el rayo que no sufre dispersión, mientras que con la lente L2 se enfoca el haz que ha

sufrido una deflexión θ . La luz dispersada sufre un cambio en su frecuencia por efecto Doppler, el cual es directamente proporcional a la velocidad del flujo. La porción no dispersada del rayo se reduce en intensidad por medio de un filtro de densidad neutral y se recombina con el rayo dispersado por medio del divisor de rayo. El anemómetro laser se debe construir en forma que, tanto el rayo directo como el dispersado, recorran la misma trayectoria óptica, de manera que cualquier interferencia observada en el fotomultiplicador se deba únicamente al cambio de la frecuencia, el cual es una indicación de la velocidad del flujo. Para que la velocidad pueda ser interpretada a partir de la señal del fotomultiplicador, esta debe ser procesada por medio de técnicas electrónicas sumamente sofisticadas. Para determinar la velocidad del flujo laminar como la velocidad media y la intensidad de la turbulencia en flujo turbulento, se puede utilizar un analizador de espectro.

En esta misma línea se han desarrollado anemómetros laser que son capaces de medir simultáneamente más de una componente de la velocidad en donde los sistemas ópticos y los procesadores electrónicos de la señal llegan a ser bastante caros y complejos. Aun así, esta técnica tiende a ser la más adecuada para investigaciones detalladas de turbulencia y ciertos fenómenos de flujo.

1.3.7 Anemómetro sónico.

Un anemómetro sónico mide la velocidad del viento mediante la transmisión de ondas de sonido entre un par de transductores acústicos. La componente del viento a lo largo de la trayectoria sónica, definida por la línea de enlace entre el par de transductores, es determinada por la diferencia del tiempo en tránsito de las ondas de sonido transmitidas en direcciones opuestas a lo largo de la trayectoria.

El crédito del primer anemómetro sónico es dado a Carrier y Carlson en 1944, quienes midieron la velocidad del viento. Esta era obtenida midiendo la diferencia de fase entre las señales recibidas por dos micrófonos (localizados a favor y en contra del viento respectivamente), desde una fuente continua de sonido. El instrumento nunca fué terminado.

A este primer intento le siguieron el de Corby (1950), Schotlan (1955), Gurvichen (1959), Bovsheverov y Voronov (1960), Kaimal y Busingher (1963), los cuales desarrollaron un termómetro anemómetro sónico.

Estos primeros anemómetros eran muy grandes y costosos.

Posteriormente continuó el desarrollo de este tipo de instrumentos (A. Coppin y K.J. Taylor, entre otros), en los cuales se ha logrado bajar costos y mejorar la precisión.

Este gran interés que existe por continuar desarrollando estos instrumentos, bajando costos y mejorando su precisión entre otros puntos, se debe a que el anemómetro sónico ha sido considerado como uno de los mejores instrumentos para el estudio de la turbulencia atmosférica.

A continuación se presentan algunos modelos de este tipo de anemómetros

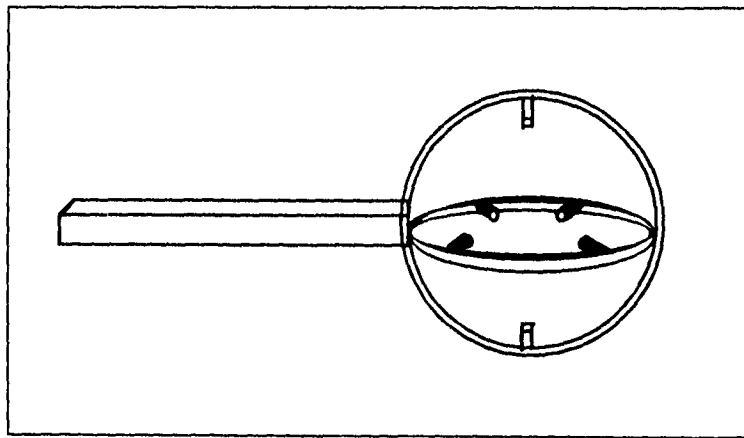


Figura 1.9

El modelo de la figura 1.9 permite realizar mediciones de flujo en áreas forestales y plantaciones, donde las velocidades del viento son muy bajas y las direcciones son altamente impredecibles.

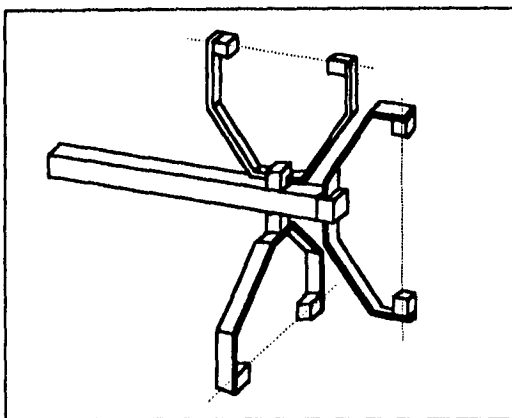


Figura 1.10 Modelo "K".

El modelo "K" (figura 1.10), se utiliza para realizar estudios en las capas atmosféricas, fué diseñado para una gran variedad de aplicaciones, además de que minimiza los errores de distorsión de flujo en mediciones de turbulencia estática.

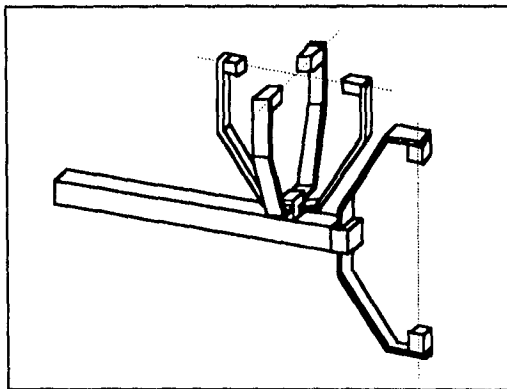


Figura 1.11 Modelo "SX".

Este modelo de anemómetro (figura 1.11), es ideal para monitoreo en el medio ambiente en el cual, la componente horizontal requiere ser medida en un mismo plano.

En el siguiente capítulo, se presenta un análisis detallado del principio de operación y características de los diferentes tipos de anemómetros sónicos que se han desarrollado

tanto a nivel experimental como comercial, para que a partir de esto, planear el diseño y construcción del prototipo, objetivo de este trabajo.

CAPITULO 2

ANTEPROYECTO PARA EL DISEÑO DEL PROTOTIPO

En este capítulo se lleva a cabo un profundo análisis de los instrumentos que se han desarrollado hasta la fecha, así como las características que ofrecen los comerciales. Con ello se definirá el principio de operación, planteando así un prediseño del instrumento.

Dentro de esta tarea se trabajará en los problemas que se han encontrado en los modelos que lo preceden.

2.1 PRINCIPIO DE OPERACION Y CARACTERISTICAS DEL INSTRUMENTO.

Como se mencionó en el capítulo I, el anemómetro sónico es considerado como uno de los mejores instrumentos en el estudio de la turbulencia atmosférica. Entre sus características incluye una respuesta dinámica lineal, carece de piezas móviles, buenas características direccionales y una respuesta en frecuencia limitada sólo por la longitud de la trayectoria del sonido.

Ahora bien, las complejidades involucradas en el diseño, operación y costo de este instrumento han restringido su uso general en los experimentos de campo.

Algunos problemas que se han encontrado y que limitan la precisión, provienen de:

- a) -.Las aproximaciones hechas en el desarrollo teórico
- b)-. Dentro del instrumento.
- c)-. Causas externas tales como ruidos aleatorios, reflejos, etc..
- d)-. El operador.

- Principio de operación:

Este se puede ejemplificar como lo muestra la figura 2.1.

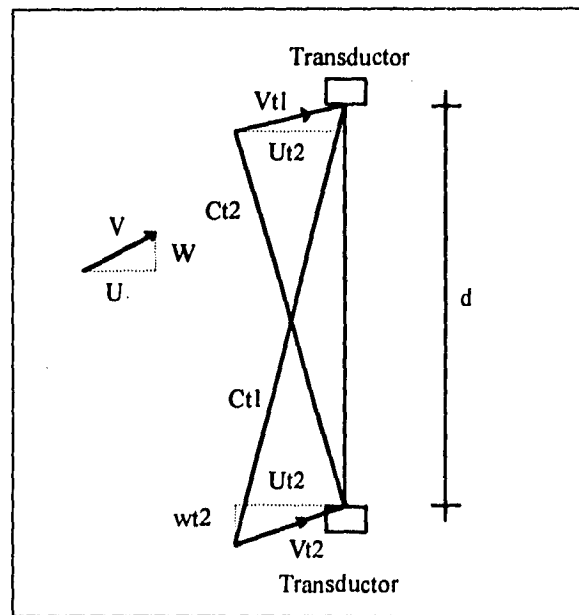


Figura 2.1 Diagrama vectorial de la trayectoria del sonido mostrando el principio de operación del anemómetro sónico

En donde:

El tiempo que tarda en llegar una onda sónica de un transductor al otro extremo en presencia del vector viento (V) está dado por:

$$t_1 = \frac{d}{C \cos \alpha + W} \dots (1)$$

De la misma manera para la dirección opuesta:

$$t_2 = \frac{d}{C \cos \alpha - W} \dots (2)$$

Donde :

d es la distancia entre los transductores.

C es la velocidad local del sonido.

W es la componente del viento paralelo al eje de los transductores.

Existen tres diferentes formas de utilizar las relaciones anteriores para el cálculo de la velocidad del viento (W).

1^o. El primer método consiste en tomar la diferencia de los tiempos transcurridos en ambas direcciones:

$$t_2 - t_1 = \frac{2dW}{C^2 - V^2} \approx \frac{2dW}{C^2}$$

La relación anterior nos proporciona una calibración en función de la distancia que existe entre los transductores y el cuadrado de la velocidad del sonido.

Puesto que la velocidad del sonido varía lentamente en función de la presión atmosférica, la temperatura, y humedad; un instrumento basado en este método está sujeto a los diferentes cambios que se presentan en estos parámetros. En suma los componentes de la velocidad son contaminados por las rápidas fluctuaciones en la temperatura y la concentración de vapor de agua, entregando como consecuencia datos falsos en los cruces de la correlación.

El tiempo de recorrido se puede obtener mediante mediciones en el cambio de fase, utilizando dos pares de transductores transmitiendo continuamente en direcciones

opuestas, (Kaimal y Businger 1963), u ocupando un par sencillo de transductores e intercambiando la función de los transductores entre sí, (Shuttleworth, 1982).

El método anterior presenta la ventaja de eliminar algunas diferencias que presenta el arreglo con el par de transductores en el retraso de fase asociada a los circuitos utilizados.

Los tiempos de recorrido de la onda sónica puede obtenerse directamente midiendo el tiempo del recorrido de la onda.

2^o Con este método se toma la diferencia de los inversos de los tiempos de recorrido de la onda sónica relacionándolos de la siguiente manera:

$$\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1} = \frac{2W}{d}$$

Esta nos da una calibración la cual es función únicamente de la distancia que separa a los transductores, a ésta se le conoce como "calibración absoluta".

Este método ha sido probado comercialmente por la serie KAIJO-DENKI DA, el cual emplea un solo par de transductores y la técnica del pulso en el tiempo para obtener los tiempos de recorrido (Hanafusa 1982). Hasta ese momento, el método no había sido ampliamente difundido debido a la dificultad para obtener el recíproco de los tiempos de recorrido en tiempo real.

3^o Ocupa una técnica ligeramente diferente a los anteriores. Un circuito PLL (Phase Lock Loop) es utilizado para generar una señal cuya frecuencia es cambiada al atrapar la señal recibida en fase con la transmitida.

En resumen, si asumimos un encadenamiento de fase perfecto, la velocidad del viento se puede obtener de la siguiente manera:

$$\left(\frac{\omega_2 - \omega_0}{\omega_0} \right) - \left(\frac{\omega_1 - \omega_0}{\omega_0} \right) = \frac{2W}{C_0}$$

Donde:

ω_2 y ω_1 son las frecuencias necesarias para obtener un encadenamiento perfecto para las dos direcciones de recorrido.

ω_0 es la frecuencia central de oscilación del PLL en ausencia del viento.

C_0 es la velocidad del sonido a ω_0 .

El PLL produce una señal, la cual es linealmente proporcional a $\left(\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \right)$.

La calibración sin embargo es dependiente de C_0 , pero es independiente de la distancia (d) e inmune de la contaminación por las fluctuaciones en temperatura y humedad.

Hasta 1983, dos anemómetros habían utilizado este método, Larsen (1979) ocupando dos pares de transductores, Campbell y Unsworth (1979) utilizando un solo par de transductores y conmutandolos entre sí.

Dentro de los problemas que presenta este método, se incluyen una considerable variación de la temperatura en el oscilador del PLL y la exigencia de una alineación correcta de los transductores para un adecuado comportamiento en fase.

El seguimiento de la frecuencia del PLL causa continuas variaciones de ésta en los sensores por lo que en estas circunstancias, los transductores entran en resonancia produciendo un corrimiento de fase falsa.

Con estos problemas, aunque es un anemómetro de bajo costo su uso se ha restringido a mediciones de la correlación de Eddy donde la media de la velocidad del viento es requerida en periodos de tiempo relativamente cortos entre los 15 y 30 minutos.

2.1.1. Características de algunos anemómetros comerciales.

Teniendo ya el principio de operación de estos anemómetros, así como los métodos para la obtención de la velocidad del viento, sólo falta examinar los anemómetros comerciales. A continuación se presentan algunos de ellos, en donde se puede apreciar el

arreglo de los transductores, así como las tablas en que se describen sus características, costos y el método que ocupan para el cálculo de la velocidad del viento.

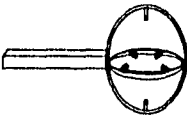
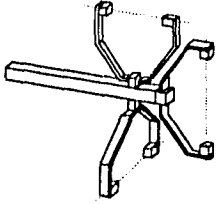
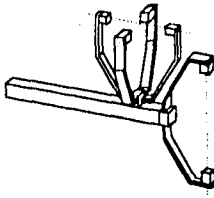
FABRICANTE	APPLIED TECHNOLOGIES INC.		
Características	Mod. SAT-211M/3V	Mod. SAT-211M/3K	Mod. SAT-211M/3SX
Rango de medición	+/- 10 m/s	+/- 10 m/s	+/- 10 m/s
Resolución	0.01 m/s	0.01 m/s	0.01 m/s
Exactitud	+/- 0.05 m/s	+/- 0.05 m/s	+/- 0.05 m/s
Salida de datos	10 muestras/sec. Puerto RS-232	10 muestras/sec. Puerto RS-232	10 muestras/sec. Puerto RS-232
Precio	14,000.00 DLL	13,200.00 DLL	13,200.00 DLL
Usos	Medición de flujos en áreas forestales y plantaciones, donde las velocidades del viento son muy bajas y las direcciones altamente impredecibles.	Este modelo además de cumplir con los usos del modelo anterior, minimiza el flujo de errores de distorsión de estos.	Este modelo es ideal para mediciones en donde la velocidad horizontal del viento se requiere en el mismo plano.
Método de operación	2	2	2
Estructura física			

Tabla 2.1. Anemómetros comerciales marca "Applied Technologies Inc".

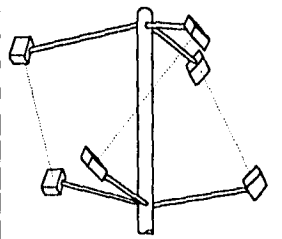
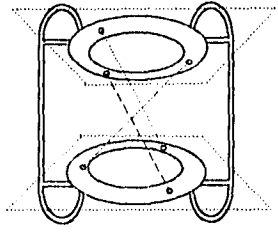
FABRICANTE	METEK	
Características	MODELO USAT-1	MODELO USAT-3
Rango de medición	0 - 60 m/s	0 - 30 m/s
Rango de muestreo	Ajustable	Ajustable
Resolución	0.05 m/s	0.05 m/s
Exactitud	1 m/s: +/- 10 cm/s	1 m/s: +/- 10 cm/s
Salida de información	Puesto serial RS-232	Puesto serial RS-232
Precio	6,250.00 DLL	29,900.00 DLL
Usos	Control de flujos de aire en túneles, control de "stress" de viento en edificios.	Medición de flujos turbulentos (micrometeorología)
Método de operación	1	1
Estructura física		

Tabla 2.2 Anemómetros comerciales marca Metek.

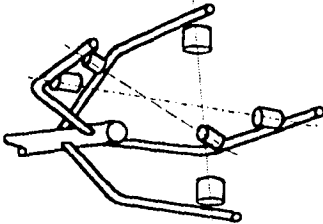
FABRICANTE	MET ONE INSTRUMENTS.
Características	MODELO PAC-1003D
Rango de medición	+/- 20 m/s
Resolución	+/- 0.005 (en valor promedio)
Precisión	3% del valor verdadero.
Salida de datos.	10 muestras por segundo, puerto serie RS-232
Usos	Medición de flujos turbulentos, dinámica de fluidos.
Precio	---
Método de operación	2
Estructura física	

Tabla 2.3 Anemómetro comercial marca Met-one.

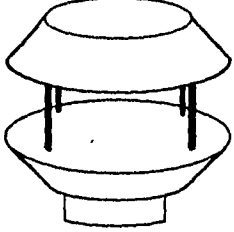
FABRICANTE	CLIMATRONICS CORPORATION
Características	Sonic anemometer
Rango de medición	0 a 50 m/s
Resolución	+/- 0.1 m/s
Precisión	0.25 m/s.
Salida de datos.	
Usos	Reemplaza a los anemómetros mecánicos
Precio	---
Metodo de funcionamiento	2
Estructura física	

Tabla 2.4. Anemómetro comercial marca Climatronics.

2.1.2. Conclusiones y análisis de la investigación para el diseño del prototipo.

En primera instancia se puede notar que el costo de estos instrumentos es muy elevado, lo cual ha limitado su utilización.

En segundo lugar este tipo de instrumentos no se fabrican en el país.

Los modelos presentados son el resultado de los desarrollos experimentales que aún contienen algunos problemas.

Los puntos anteriores aunados al interés mostrado por varios grupos de investigación en ciencias atmosféricas justifican la realización de un proyecto de esta naturaleza.

De los métodos presentados para obtener la velocidad del viento se optó por el segundo, en el cual la velocidad del viento viene dada por la diferencia de los inversos de los tiempos de recorrido de la onda sónica.

$$\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1} = \frac{2W}{d}$$

Las razones principales son las siguientes:

- A diferencia de los otros dos métodos, éste no involucra la velocidad del sonido, la que por su parte es afectada por las variaciones de temperatura, humedad y presión.

- Su calibración está dada únicamente en función de la distancia que separa a los transductores.

Para concluir, al analizar las especificaciones de los anemómetros comerciales, el prototipo a desarrollar deberá de cumplir con las siguientes especificaciones:

Anemómetro sónico de tres componentes.	
Rango de medición	0 a 20 m/s.
Resolución	0.01 m/s.
Exactitud	1%
Salida de datos.	Digital.
Método de operación	Diferencia del inverso de los tiempos (calibración absoluta) (2).

Tabla 2.5 Anemómetro prototipo.

2.2 DISEÑO POR ETAPAS

Partiendo del principio general y habiendo definido el método a seguir, así como las características que deberá tener el instrumento, en esta sección se establecerán las etapas que conformarán al sistema y se dará una breve descripción de la función de las mismas.

Las etapas que conforman el sistema electrónico del instrumento son las siguientes:

- { Detección
- { Cronómetro
- { Controlador
- { Procesamiento y almacenamiento de datos

Ahora bien, para entender su funcionamiento, a continuación se presenta un diagrama de bloques de acuerdo a la operación de las etapas dentro del sistema (figura 2.1).

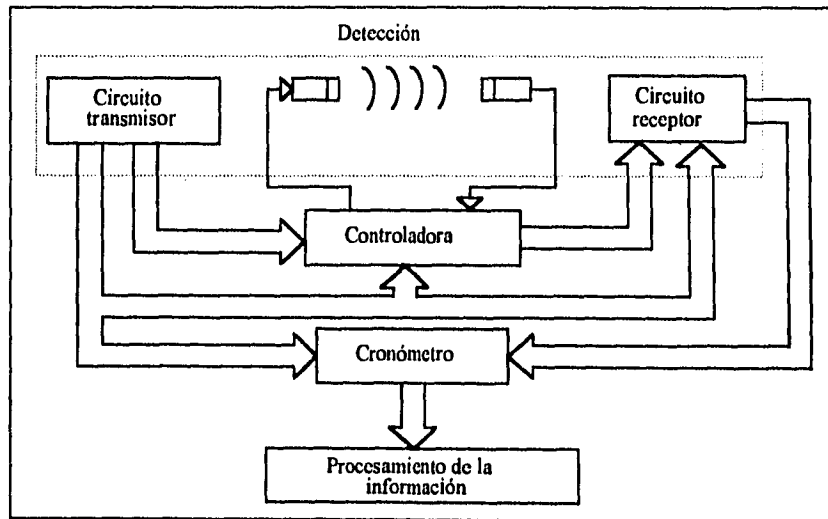


Figura 2.1 Diagrama a bloques de las etapas de diseño.

2.2.1. Función de cada una de las etapas.

Detección: En forma general esta etapa comprende a los circuitos de transmisión y recepción de la señal, incluyendo a los transductores y al circuito de generación de la señal (el cual forma parte del circuito transmisor).

Su función es la de generar, transmitir y recibir la señal mediante un par de transductores sónicos.

Por otra parte el circuito generador se encarga de proporcionar la frecuencia y sincronización requeridas por las etapas del cronómetro, controladora, y los circuitos de transmisión y recepción.

Cronómetro: Se encargará de registrar el tiempo transcurrido entre el momento que la señal es transmitida y el instante en que es recibida.

Controladora: Tiene dos funciones principales:

a) Controlar y conmutar la función de cada uno de los transductores para que estos trabajen como transmisor y receptor para un eje dado.

b) Controlar y conmutar cada uno de los 3 ejes ó direcciones a medir.

Procesamiento y almacenamiento de datos: En ésta se lleva a cabo la captura y almacenamiento de los datos obtenidos por la etapa del cronómetro. Posteriormente se realiza la interpretación de los datos que serán presentados al usuario final.

CAPITULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO

Este capítulo representa la parte central del trabajo, ya que en el se desarrollan cada una de las etapas que conforman al instrumento (subtema 2.2). Su diseño estará basado en el principio de operación de los anemómetros sónicos, siguiendo el método seleccionado para el cálculo de la velocidad del viento y tratando de cumplir con las características y especificaciones planteadas en el capítulo 2.

Para el diseño de cada una de ellas se analizarán posibles alternativas, seleccionando aquélla que resulte más adecuada para el sistema.

3.1 ETAPA DE DETECCION.

Como se mencionó en el capítulo 2, la etapa está compuesta por los circuitos de transmisión y recepción de la señal, incluyendo a los transductores y al circuito de generación de la señal (el cual forma parte del circuito de transmisión).

Un bosquejo del funcionamiento de esta etapa se muestra en el diagrama de bloques de la figura 3.1.

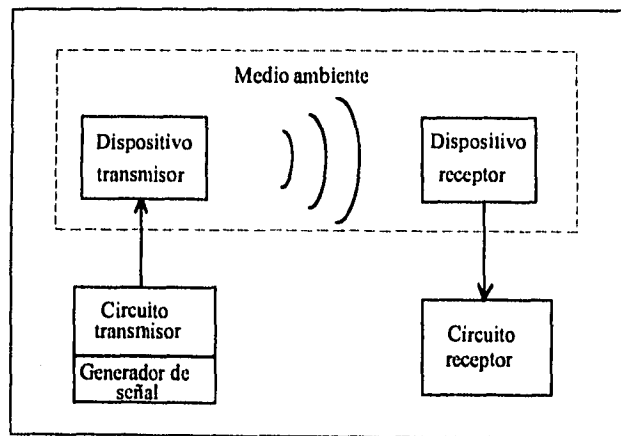


Figura 3.1. Diagrama a bloques de la etapa de detección.

El desarrollo inicial de la etapa debe partir de la selección y arreglo de los transductores, ya que con base en las especificaciones de estos y su posición, se diseñarán los circuitos de transmisión y recepción.

A continuación se describe lo que es un transductor, para posteriormente analizar las características del tipo que se requiere y por último seleccionar los más adecuados para el proyecto.

3.1.1 Los transductores:

Un transductor es un dispositivo que opera bajo el principio de transformar una entrada, que representa una variable física, en una señal eléctrica, o bien, que transforma una forma de energía en otra, reproduciendo las variaciones de amplitud o intensidad de la energía transformada.

En general los anemómetros sónicos, tanto comerciales como los experimentales, ocupan transductores ultrasónicos. Entre otras razones esto se debe a que si se quiere un sistema con alta resolución, la longitud de onda debe ser corta y por lo tanto la frecuencia debe ser lo más alta posible.

Los transductores ultrasónicos son aquellos que trabajan a una frecuencia mayor que la audible, es decir, de los 20 kHz en adelante.

Las altas frecuencias correspondientes a las ondas ultrasónicas se pueden producir mediante vibraciones elásticas de un cristal de cuarzo inducidas mediante resonancia por un campo eléctrico alterno. A esta característica se le conoce como efecto piezoeléctrico, mediante el cual es posible producir frecuencias ultrasónicas hasta de 6×10^8 Hz.

La frecuencia de operación de un transductor (f), es predeterminada por el diseño mecánico. Esta debería ser seleccionada después de considerar un número de factores tales como: tamaño del transductor, resolución en la medición, ruido inherente, la atenuación y rango al transductor de recepción.

La longitud de onda (λ) llega a ser más pequeña conforme la frecuencia crece. La relación entre frecuencia, longitud de onda y la velocidad del sonido es expresada por:

$$\lambda = \frac{C}{f}$$

Donde:

λ es la longitud de onda;
 C es la velocidad del sonido;
 f es la frecuencia de oscilación.

Dado que la velocidad del sonido cambia con la temperatura, se debe determinar la velocidad del sonido corriente antes de calcular la longitud de onda. A cero grados centígrados, la velocidad del sonido es 331.31 m/seg. A otras temperaturas se usa la siguiente fórmula:

$$C_T = C_0 \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

Donde:

C_T es la velocidad del sonido a una temperatura especificada.
 C_0 es la velocidad del sonido a 0 °C.
 T es la temperatura en °C.

Ahora bien, como la resolución en los sistemas ultrasónicos mejora si la longitud de onda se acorta, aplicaciones que requieren una alta resolución deberían usar un transductor con la mayor frecuencia posible en orden para alcanzar la especificación deseada.

Como el sonido viaja a través del aire, esta energía se atenúa más rápidamente si la frecuencia es incrementada. La atenuación teórica máxima para un sonido ultrasónico (arriba de los 200 kHz) puede ser calculada por la siguiente fórmula:

$$A_{max} = F \times 10^{-2} \text{ -----Ecuación 1}$$

Donde:

A_{max} es la atenuación máxima en db/ft.

F es la frecuencia en kHz.

La atenuación puede disminuir dependiendo de la humedad, pero esto no puede ser definido o calculado fácilmente.

Aunque la atenuación limita el rango de las frecuencias altas de los transductores, el ruido inherente a la frecuencia alta es también menor. Por lo tanto sensores ultrasónicos de alta frecuencia tienen una mejor oportunidad de trabajar en un ambiente con ruido acústico que los sensores de baja frecuencia.

Otra característica importante de los transductores ultrasónicos es su directividad (Esta se refiere básicamente a que al emitir una señal solo se esparce unos cuantos grados, lo que se conoce como "narrow beam", esto permite eliminar los lóbulos secundarios de emisión haciendo que a su vez presente una mejor recepción.).

Frecuentemente este tipo de transductores están diseñados para ser direccionales de manera que el sonido sea eficientemente transmitido o recibido solo bajo un cierto ángulo de abertura cónica en la parte frontal del sensor, en algunos casos esto genera lóbulos laterales, los diseños de transductores más avanzados eliminan estos lóbulos secundarios.

El ángulo de abertura del haz de un transductor (α), es definido como el ángulo total entre los puntos en los cuales la potencia del sonido ha sido reducida a la mitad de su valor pico. Estos son referidos comúnmente como los puntos bajos a 3db. Por último este ángulo de abertura ayuda a minimizar la interferencia de ruido de fondo limitando la sensibilidad al ruido del transductor al área definida por el ángulo de abertura del haz del sensor.

Selección y pruebas de los transductores.

Características requeridas:

Para la selección de los transductores, además de las características referidas, es necesario tomar en cuenta las siguientes:

- a).- Que estén protegidos para trabajar a la intemperie.
- b).- Que el medio ideal de trabajo sea el aire.
- c).- Que la frecuencia de oscilación sea estable a su valor nominal.

Con estos elementos se procedió a entrar en contacto con los fabricantes, buscando el transductor con las características deseadas. Cabe hacer notar que estos dispositivos no pudieron ser localizados en el mercado nacional, por lo que se tuvo que recurrir al extranjero.

Finalmente se optó por el modelo E-188/220 fabricado por la compañía Massa Products, dado que reúne las características y especificaciones buscadas, las cuales se presentan a continuación (tabla 3.1):

Características	Valores
Tipo	Piezoeléctrico
Frecuencia de trabajo	220 KHz \pm 2.5 KHz
Ancho de Banda (Transmisión)	25 kHz
Sensibilidad de transmisión (db vs 1 μ bar) por volt a 1 pie.	+ 20
Sensibilidad de recepción (db vs 1 volt/ μ bar)	-77
Voltaje de excitación (10 % ciclo de trabajo).	50 V _{p-p}
Impedancia nominal.	1000 Ω
Angulo total del haz del rayo.	10°
Temperatura de operación.	0 – 70° C
Humedad.	No condensada
Peso.	10 gramos

Tabla 3.1 Características y especificaciones del transductor modelo E-188/220.

Resolviendo la fórmula para calcular la atenuación que presentará la señal transmitida en el aire , tenemos que esta será de 2.2 db/ft.

En la figura 3.2. se observa la respuesta del transductor en transmisión, recepción, direccionalidad, e impedancia.

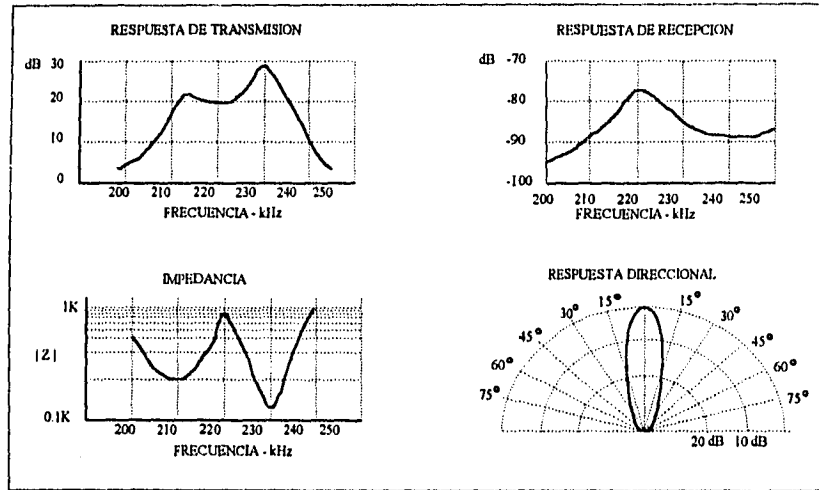


Figura 3.2. Curvas de respuesta del transductor Modelo E-188/220.

Pruebas de funcionamiento de los transductores en el laboratorio.

Para verificar el funcionamiento y establecer las condiciones bajo las cuales operarán los transductores, se efectuaron una serie de pruebas en laboratorio con el equipo y arreglo que se muestra en la figura 3.3.

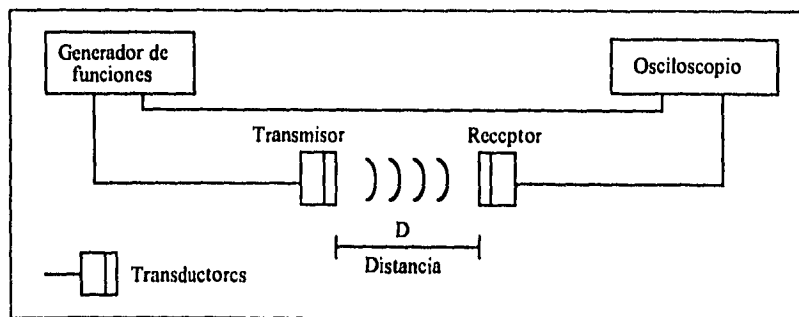


Figura 3.3 Colocación del equipo para las pruebas de laboratorio de los transductores.

La primera serie se dividió en tres partes, forma de onda de la señal a transmitir, amplitud de ésta y por último la distancia a transmitir.

a) - Esta consistió en alimentar al transductor tres señales con diferente forma de onda (senoidal, triangular y cuadrada) mediante el generador de funciones, verificando en el osciloscopio tanto la transmisión como la recepción. Los resultados se muestran en la figura 3.4



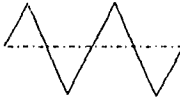

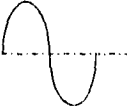

Forma de onda	Transmisión	Recepción
Cuadrada		
Triangular		
Senoidal		

Figura 3.4 Diagrama de formas de ondas transmitidas y recibidas.

De acuerdo con los resultados se puede observar que la forma de onda adecuada para trabajar con los transductores es la senoidal. Aunque en los tres casos la señal contiene ruido en la recepción, la forma de onda elegida muestra mayor uniformidad, lo que beneficiará al fijar los niveles de detección y permitirá evitar falsos disparos al llegar la señal al circuito de recepción (subtema 3.1.2).

b) - La siguiente prueba tiene por objeto saber la atenuación que sufrirá la señal en la recepción variando la amplitud en la transmisión. Con esto se podrá determinar que amplitud se requiere en la transmisión, para que la señal recibida posea los niveles adecuados para su detección. Cabe aclarar que la distancia entre transductores se mantuvo

fija a 20 cm (la distancia está relacionada con el tiempo que toma la señal en ser recibida, ver subtema 3.2.), Los resultados de la prueba se observan en la figura 3.5.

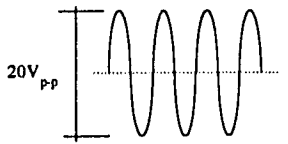
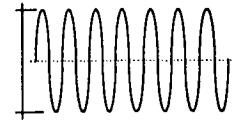
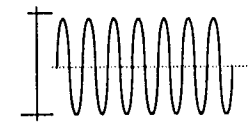
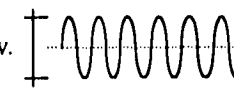
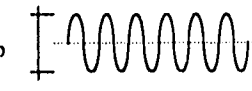
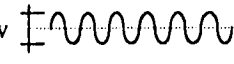
Transmisión.	Recepción.
 <p>20V_{pp}</p>	 <p>Amp = 12.70 mv.</p> <p>Atenuación: 19.98 volts</p>
 <p>15V_{pp}</p>	 <p>Amp = 9.50 mv.</p> <p>Atenuación: 14.9 volts</p>
 <p>10V_{pp}</p>	 <p>Amp = 6.31 mv</p> <p>Atenuación: 9.94 volts.</p>

Figura 3.5. Diagrama de resultados de la atenuación de la señal en la recepción a diferentes amplitudes en la transmisión.

Dentro de los resultados obtenidos, se encontró que la atenuación teórica era muy similar a la real, y que la amplitud en la señal de transmisión debe tomar en cuenta los niveles de detección utilizados en la recepción (subtema 3.1.3). Finalmente ésta se fijó en 15 V_{pp} (tabla 3.3).

c) -. Esta prueba es un complemento de la anterior ya que en este caso se variará la distancia entre los transductores, manteniendo fija la amplitud. Como se mencionó anteriormente, para entender mejor la razón de estas pruebas es necesario referirse a la etapa del cronómetro (subtema 3.2), en donde se podrán ver todos los detalles de la misma.

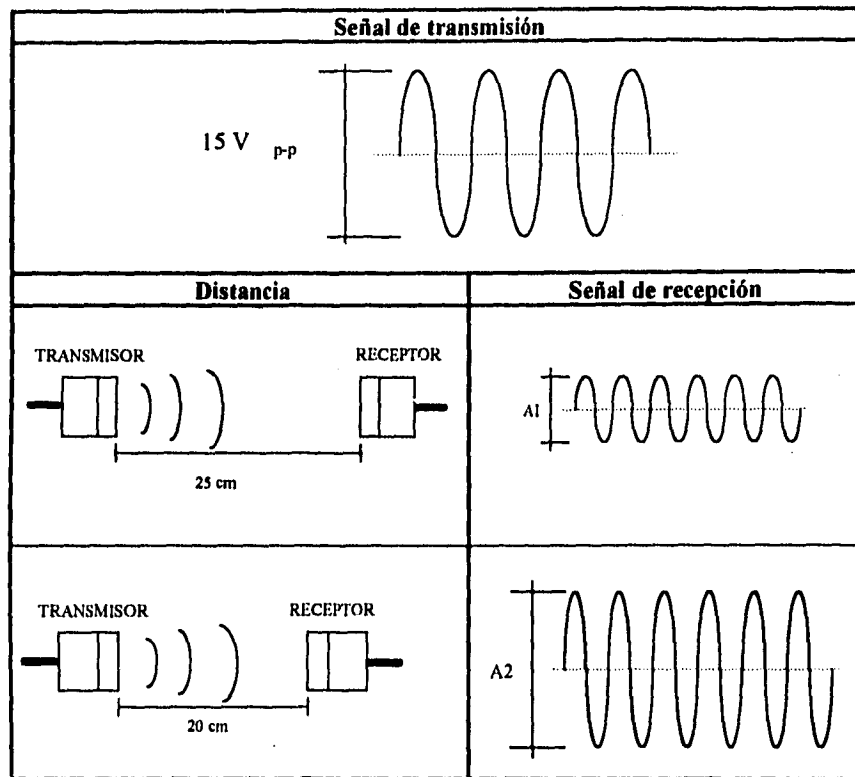


Figura 3.6 Diagrama de la prueba de distancia entre transductores.

Como era de esperarse a menor distancia entre transductores, la amplitud de la señal resultó mayor. Ahora bien, para poder definir la distancia adecuada, es necesario relacionarla con los niveles de detección requeridos en la recepción (por lo tanto saber la amplitud de la señal en la transmisión), y la frecuencia de conteo de la etapa del cronómetro. Por lo que la prueba realizada solo da una idea de la misma.

Tomando en cuenta lo anterior, la distancia se varió entre los 15 y 30 cm (distancias usadas en los anemómetros experimentales y comerciales), encontrando que una distancia adecuada serían 20 cm.

2a.- Serie

Con base en los resultados obtenidos en la primera serie de pruebas (tabla 3.2), en esta segunda parte se definirá el tipo de transmisión, tiempo de transmisión y número de ciclos, con lo que se completarán las características y especificaciones de la señal a transmitir y recibir para poder iniciar el diseño de la etapa.

Forma de onda	Senoidal.
Amplitud	15 Volts.
Distancia	20 cm.

Tabla 3.2 Tabla de resultados de la primera serie de pruebas.

a) -. Esta prueba tiene como objetivo determinar la forma de transmitir la onda; ya sea continua o a intervalos, con el fin de establecer el momento de inicio de la transmisión. Este inicio se encuentra relacionado con la medición del tiempo en la etapa del cronómetro (subtema 3.2.).

Los resultados se muestran en la figura 3.7:

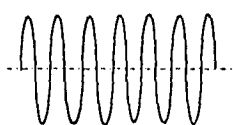

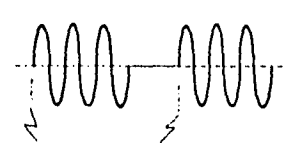
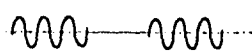
Forma de transmisión.	Transmisión.	Recepción.
Continua		
A intervalos	 Inicio de transmisión	

Figura 3.7. Transmisión de Señal

Como resultado de esta prueba tenemos que la transmisión a intervalos presenta ventajas con respecto a la continua, debido a que en ésta es posible precisar el momento de inicio de la transmisión y donde termina en la recepción, que finalmente es lo que se busca.

b) -. Esta prueba tiene por objeto, determinar el intervalo de tiempo a transmitir, así como el número de ciclos que componen cada intervalo con el fin de evaluar la cantidad aproximada de muestras por segundo que podemos obtener.

Para la primera especificación, se tomó como referencia el número de muestras que utilizan los anemómetros comerciales y experimentales, encontrando que este oscila entre 10 y 40 muestras/segundo.

El número máximo de ciclos a transmitir en cada intervalo se encuentra dado de acuerdo a este último y al período de la señal a transmitir de la siguiente manera:

$$\text{No. de ciclos} = \frac{\text{Intervalo de transmisión}}{\text{Período de la señal a transmitir}}$$

$$\text{No. de ciclos} = \frac{0.0125 \text{ seg}}{4.545 \mu \text{ seg}} = 5500 \text{ ciclos}$$

De acuerdo a este número máximo se partió para encontrar experimentalmente el número de ciclos adecuado para transmitir a una distancia entre transductores de 20 cm. Los resultados de la prueba se observan en la figura 3.8.

Dado que a mayor número de muestras es posible lograr una mayor precisión y confiabilidad, se optó por ocupar un intervalo de transmisión de 40Hz que representa 40 muestras/segundo, lo que dió buenos resultados.

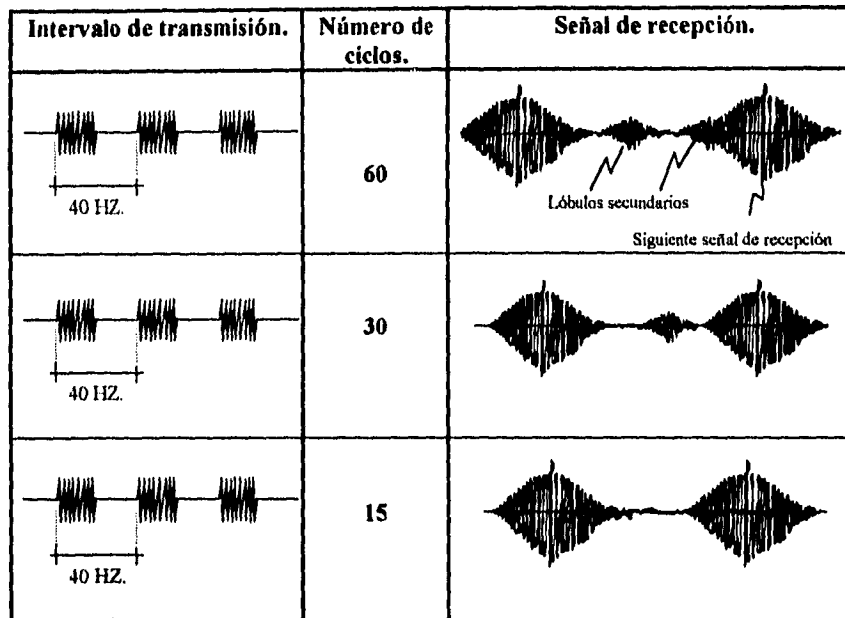


Figura 3.8 Señales de recepción a diferentes ciclos de transmisión.

Como se puede observar en las figuras anteriores, a mayor número de ciclos transmitidos el receptor crea lóbulos secundarios, los cuales se mezclan y distorsionan las señales de recepción, de acuerdo a esta prueba encontramos que el número de ciclos apropiado para la transmisión es de 15, ya que dicha señal fantasma desaparece, por lo que se eliminan los problemas mencionados. (ver subtema 3.1.2.)

Resumen de los resultados obtenidos de las pruebas efectuadas a los transductores:

Como resultado de estas pruebas, a continuación se presenta una tabla que contiene las características y especificaciones que deben cumplir los circuitos de transmisión y recepción (subtemas 3.1.2. y 3.1.3.).

Forma de Onda	Senoidal.
Frecuencia	220 kHz
Distancia	0.20 m
Amplitud	15 Volts.
Forma de transmisión	A intervalos
Número de ciclos a transmitir	15 ciclos por intervalo.
Intervalo de transmisión (no. de muestras/seg)	40 muestras/seg.

Tabla 3.3. Características y especificaciones de la señal a transmitir.

3.1.2. CIRCUITO TRANSMISOR DE SEÑAL.

Este circuito será el responsable de generar y transmitir la señal con la que se podrá calcular la velocidad del viento en las etapas del cronómetro y procesamiento de datos.

Para el diseño de este circuito se tomarán en cuenta las características que deberá cumplir el anemómetro presentadas en la tabla 2.5 y las generadas en las pruebas realizadas a los transductores (tabla 3.3).

En la figura 3.9. se observa el diagrama operativo del circuito transmisor.

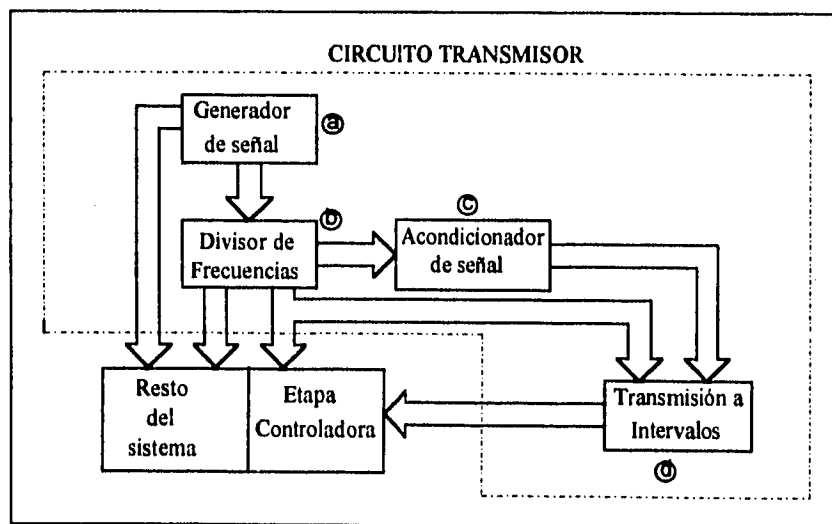


Figura 3.9. Diagrama a bloques del circuito transmisor.

a).- Generador de la señal de Transmisión.

Como se observa en la figura 3.9. y de acuerdo con los requerimientos establecidos en la tabla 3.4, este circuito se ocupará de generar la frecuencia más alta, 20 MHz, para que a partir de ésta, el divisor de frecuencias entregue las restantes (entre ellas la señal de transmisión).



Frecuencia necesaria.	Sección.	Etapas.	Forma de onda
20 Mhz	Círculo de transmisión (Generador de señal.)	Detección	
20 Mhz.	Contador.	Cronómetro	
20 Mhz.	Círculo de transmisión (Divisor de frecuencias)	Detección	
220 kHz.	Círculo de transmisión (Convertidor de señal.)	Detección	
220 kHz.	Círculo de transmisión (Formador de pulsos.)	Detección	
40Hz .	Conmutador/Secuenciador	Controladora.	
40Hz.	Círculo de recepción. (Detector de secuencia)	Detección	

Tabla 3.4 Frecuencias y formas de onda requeridas por el sistema.

Para generar una señal de estas características existen diferentes alternativas, como son, cristales de cuarzo, circuitos PLL (del inglés phase-locked-loop, circuito de sincronización de fase) y circuitos VCO (Oscilador controlado por voltaje).

Dada la fase experimental del proyecto, se optó por el PLL utilizado como VCO (figura 3.10), debido a que se puede variar la frecuencia y a su simplicidad en el diseño.

Para el caso particular se ocupó su configuración básica (figura 3.10) que se compone de un detector de fase que compara la entrada con una señal creada por el V.C.O, un filtro paso-bajas el cual se encarga de filtrar las entradas del comparador de fase y un oscilador controlado por voltaje (V.C.O.), el cual proporciona la frecuencia libre de oscilación del PLL

Dentro de los circuitos integrados como PLL, se usó el modelo XR215 de la compañía Exxar que es capaz de oscilar en un rango de 0.0000005 a 35 MHz. ya que cumple con las características requeridas.

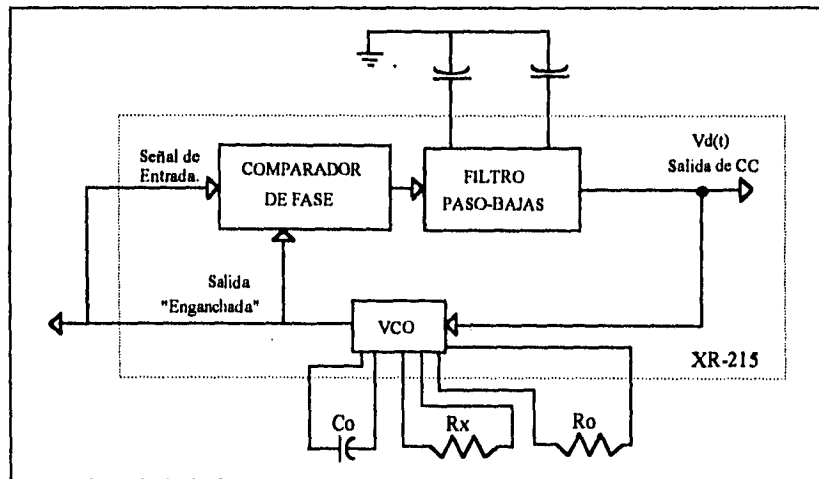


Figura 3.10. Diagrama de un PLL configurado como Oscilador.

Los parámetros a calcular son los siguientes :

Frecuencia de oscilación del V.C.O:

$$F_o = \frac{200}{C_o} \left(1 + \frac{0.6}{R_x} \right)$$

Donde: Rx esta dada en $K\Omega$. y Co esta dado en μF

Para una frecuencia de 20 MHz, y Rx de 280Ω (valor elegido de acuerdo a un rango establecido por el fabricante, consultar la bibliografía), obtenemos :

$$C_o = 30pF$$

Ganancia del V.C.O. (ko):

$$K_o = \frac{700}{C_o R_o} \left[\left(\frac{\text{radian / segundo}}{\text{volts}} \right) \right]$$

Donde : C_o está dado en μF y R_o (fabricante) = $1 K\Omega$.

$$K_o = 22.54 e^6$$

Ganancia del comparador en fase :

$$K_T = 2 \text{ v/rad (gráfica del fabricante).}$$

Rango de enganche (wt):

$$WT = KT = Kd \times K_o$$

$$WT = KT = 0.4666 \times 2 = 0.9333 \left[\frac{\text{volts radians}}{\text{seg}} \right]$$

Rango de captura:

$$\Delta \omega c \approx \Delta \omega L [f(j\Delta \omega c)]$$

Donde:

$[f(j\Delta \omega c)]$ es la magnitud del filtro tomando $\omega = \Delta \omega c$

Para un filtro de retraso, éste puede ser expresado como:

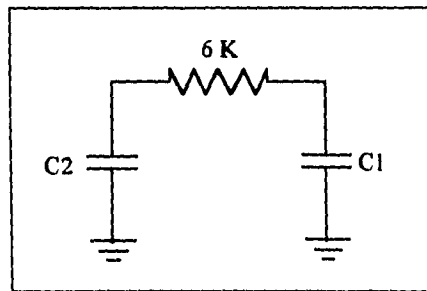
$$\Delta \omega c \approx \sqrt{\frac{\Delta \omega L}{T1}}$$

Donde: T1 es la constante del filtro.

Sustituyendo datos obtenemos:

$$\Delta \omega c \approx \sqrt{\frac{0.9333}{6 \times 0.1}} = 1247.2$$

Filtro Paso-Bajas:



Función de transferencia:

$$F_s = \frac{1}{1 + R_1 C_1 S}$$

$$C1 = C2 = 0.1 \mu f.$$

Características del V.C.O.:

Frecuencia de oscilación.	20 MHz.
Ganancia de el V.C.O.	$K_0 = 22.54 e^6$

El diagrama eléctrico del PLL se muestra en conjunto con el divisor de frecuencias.

b) Divisor de frecuencias

La salida del PLL (señal cuadrada de 20 MHz) entra al circuito divisor, para que éste proporcione las frecuencias requeridas por el sistema (tabla 3.4), y sincronice las señales.

El circuito divisor está formado por un arreglo de contadores binarios y en décadas conectados en cascada como se muestra en el diagrama de bloques de la figura 3.11. Sus características y especificaciones se muestran en la tabla 3.5.

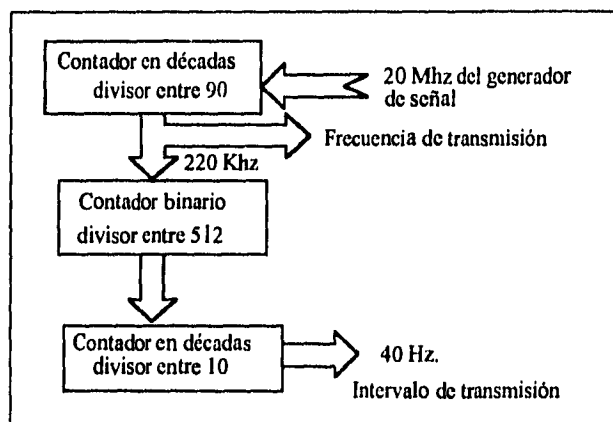


Figura 3.11. Divisor de frecuencias.

No. de divisor.	Modelo.	División.	Frecuencia recibida.	Frecuencia obtenida	Observaciones. (Razones de uso)
1o.	2 contadores de décadas 7490 tecnología TTL	÷ 90	20 MHz	220 kHz	Trabajan a altas frecuencias, razón de división óptima,
2o.	1 contador binario 4040 tecnología CMOS.	÷ 512	220 kHz	400 Hz	Alta escala de integración (2^{12})
3o.	1 contador décadas tipo Johnson 4017 tecnología CMOS.	÷ 10	400 Hz	40 Hz	Ciclo de trabajo de 1/10, amplitud de la señal a la salida de +15 volts.

Tabla 3.5 Características del divisor de frecuencias.

El diagrama eléctrico del generador de señal y divisor de frecuencias se muestra en la siguiente página (diagrama 1).

c).Acondicionador de señal.

Para transmitir la señal en las condiciones preestablecidas en las pruebas efectuadas a los transductores (tabla 3.3), es necesario adecuarla a estas últimas. Esto significa convertir la señal cuadrada de 220kHz dada por el divisor de frecuencias a una señal senoidal de la misma frecuencia, y garantizar que la señal tenga una amplitud de 15 Vp-p.

Esta será la tarea que realizará el circuito acondicionador de señal, el cual se integró como se muestra en la figura 3.13.

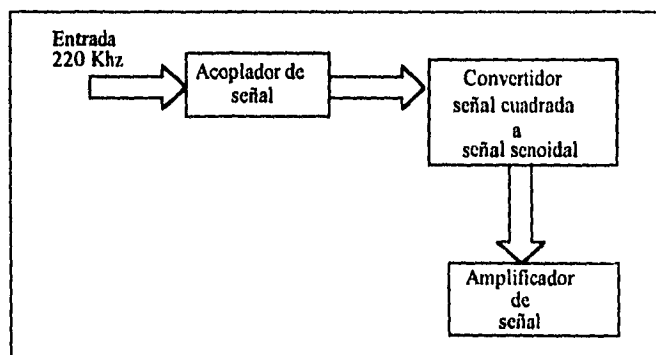


Figura 3.13. Diagrama a bloques del acondicionador de Señal.

Acoplador de señal

El acoplador recibirá la señal cuadrada de 220kHz, a la que aumentará su ciclo de trabajo de un 10% a un 50% para lograr que la señal sea simétrica.

Para realizar dicha función se ocupó un multivibrador monoestable redispensible (MC14538), aprovechando la característica de que ante un cambio de estado a la entrada, suministra un pulso a la salida. La duración del pulso de salida se encuentra en función de una constante RC asociada al mismo monoestable.

El cambio de estado a la entrada se configuró de 0 a 1, al establecer las condiciones mostradas en su tabla de verdad (tabla 3.6).

Entradas			Salidas	
RESET	A	B	Q	Q'
H		H		
H	L			
H		L	Sin disparo	Sin disparo
H	H		Sin disparo	Sin disparo
H	L,H,	H	Sin disparo	Sin disparo
H	L	L,H,	Sin disparo	Sin disparo
L	X	X		
	X	X	Sin disparo	Sin disparo

Tabla 3.6 Tabla de verdad del monoestable del MC14538.

Ahora, sabemos que la frecuencia que se tiene a la entrada del monoestable es de 220 kHz (45.45 μ seg) entonces, para tener un ciclo de trabajo del 50 %, el ancho de pulso necesario en que debe mantenerse el nivel alto es de 22.7273 μ seg.

Para obtener los valores aproximados de la resistencia y el capacitor, se debe ir a la gráfica del fabricante (figura 3.14), sabiendo para entonces el ancho de pulso necesario y la polarización del circuito (5V).

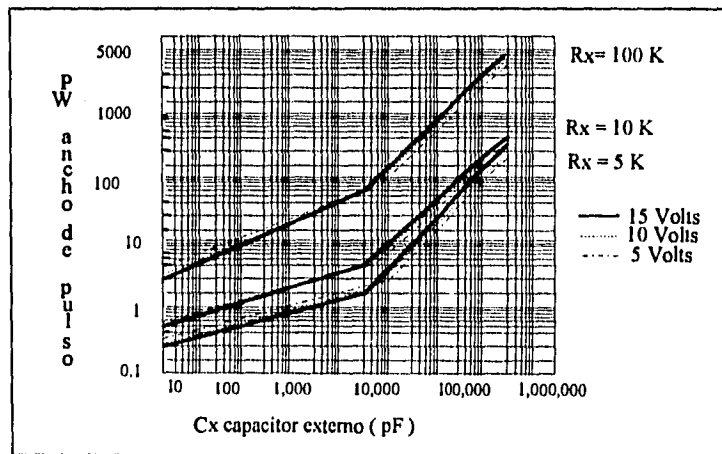


Figura 3.14 Tabla para cálculo del valor aproximado de R y C para un tiempo dado.

Los valores obtenidos aproximados encontrados en la gráfica anterior son:

$$R_{ext} = 5K\Omega$$

$$C_{ext} = 68 \text{ nf.}$$

Una vez que se tienen estos valores, se realizará una prueba con el osciloscopio, conectando la salida del monoestable a la entrada del primero. Posteriormente (de ser necesario) se variará la resistencia o la capacitancia (según convenga) hasta alcanzar el ancho de pulso calculado

Convertidor de señal cuadrada a senoidal

Para convertir una señal cuadrada en senoidal es necesario eliminar la mayor parte de sus armónicos. Esto se puede lograr mediante el uso de un filtro paso-banda de banda angosta, dadas sus características de funcionamiento que permiten atenuar los armónicos mencionados y dejar pasar exclusivamente la señal de frecuencia principal.

En la figura 3.15. se puede observar el comportamiento típico (ideal y real) del filtro paso-banda.

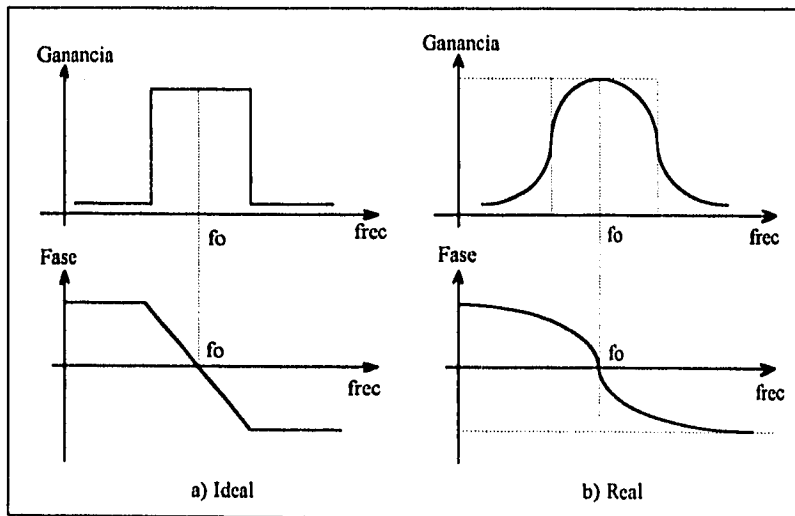


Figura 3.15. Respuestas ideal y real de filtros paso-banda.

Dentro de los filtros paso-banda de "banda angosta" existen diferentes opciones, las cuales pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

Filtros paso - banda de banda angosta	Analógicos	Pasivos (Chebyshev, Butterworth)
		Activos (Chebyshev, Butterworth)
	Digitales	Clásicos (Chebyshev, Butterworth)
		Nuevos (Ecuaciones en Diferencia)

De estos, se eligió un filtro analógico del tipo activo por las ventajas que presenta para nuestro caso particular, como son: tener una respuesta predecible, bajo costo y flexibilidad en el manejo de sus parámetros. Cabe aclarar, que con los otros tipos de filtros es posible lograrlo aunque con mayores dificultades y en algunos casos a mayor costo.

Como última etapa de la elección, se requiere definir si se usará del tipo Butterworth o Chebyshev.

El método a seguir, será calcular las dos opciones y posteriormente realizar una comparación de sus parámetros.

El filtro Chebyshev logra una mayor selectividad que el Butterworth para un mismo orden. La selectividad natural en los filtros Chebyshev se acerca más a la ideal que el otro, pero la estabilidad puede ser menor (hay una mayor tendencia a la oscilación espontánea).

Un filtro Butterworth requerirá un orden mayor que un Chebyshev para cumplir una especificación dada, sin embargo, la simplificación del orden se contrapone al deterioro del comportamiento deseado.

Como primer paso se calcula el orden de la función que cumple la especificación del filtro (ancho de banda, atenuación, frecuencia central, factor de calidad (Q) y el rizo). Con ese dato se consultan las tablas para filtros Chebyshev o Butterworth, las cuales proporcionan el valor normalizado de los polos correspondientes a secciones de segundo grado que componen la función total.

A continuación se comparan los órdenes obtenidos y los factores de calidad de las etapas de segundo orden calculados a partir de la consulta en tablas.

Diseño del filtro

Con la finalidad de facilitar la elección del mejor tipo de aproximación matemática (Butterworth o Chebyshev), se utilizó un programa en computadora para generar funciones de transferencia desnormalizadas a partir de una especificación de diseño (frecuencia central, ancho de banda, frecuencia superior de supresión y atenuación). Dicho programa fue realizado en el departamento de Instrumentación Meteorológica (Escalante 1993.); los detalles del mismo pueden ser consultados en la tesis correspondiente (ver bibliografía).

A continuación se presenta una corrida para dos filtros realizables del mismo.

CORRIDA DEL PROGRAMA PARA CALCULAR LOS PARAMETROS DE FILTROS PASO-BANDA CHEBYSHEV Y BUTTERWORTH:

Dame la FRECUENCIA CENTRAL [Hz]? 222000
Dame el RIZO en dB? 0.1
Factor de CALIDAD? 15
GANANCIA en frecuencia central [dB]? 30
FRECUENCIA superior de SUPRESION [Hz]? 270000

PARA LA ESPECIFICACION DADA, EL FILTRO PASO-BAJAS NORMALIZADO DE
CHEBYSHEV TIENE UN ORDEN MINIMO DE: 3

PARA LOS MISMOS DATOS, EL FILTRO PASO-BAJAS NOMALIZADO DE
BUTTERWORTH REQUIERE UN ORDEN MINIMO DE: 2

ELIGE UNA OPCION Y TECLEA:

Desnormalizar para un filtro paso-bandas CHEBYSHEV 1
Desnormalizar para un filtro paso-bandas BUTTERWORTH ... 2
Desnormalizar para AMBOS filtros 3
No deseas desnormalizar [RETURN]
? 3

FILTRO CHEBYSHEV

F0 = 222000 Hz, Q = 15, ATEN = 30 dB, RIZO = 0.10dB, FSS= 270000 Hz.

ETAPAS DE SEGUNDO ORDEN

FREC (Hz)	FAC. CALIDAD	GANANCIA
213252.6875	30.97195243835449	8.48766040802002
231106.125	30.97166633605957	8.487601280212402
222000	15.47341728210449	3.162277698516846

DESEAS IMPRIMIR LA TABLA (S/N)? n

FILTRO BUTTERWORTH

F0 = 222000 Hz, Q = 15, ATEN = 30 dB, FSS = 270000 Hz.

ETAPAS DE SEGUNDO ORDEN

FREC (Hz)	FAC. CALIDAD	GANANCIA
216827.65625	21.21910285949707	7.954912185668945
227295.765625	21.2190990447998	7.954939365386963

DESEAS IMPRIMIR LA TABLA (S/N)? n

OTRA ITERACION (S/N)? n

Como puede apreciarse, se obtuvieron dos alternativas razonables para el filtro. La elegida fué la de función Butterworth, por ser menor el orden requerido, además de necesitar factores de calidad menores, los cuales son menos difíciles de obtener en la práctica.

Una vez calculada y elegida la función matemática del filtro, se procede al diseño del circuito que realice dicha función. Para ello, analizaremos algunas opciones de realización práctica de filtros paso-banda de segundo orden.

Alternativa 1: Configuración bicuadrática (biquad):

Está basada en el análisis de variables de estado de la teoría de control analógico, y se le denomina bicuadrática porque es capaz de realizar la función del cociente de dos polinomios cuadráticos. Tiene excelentes características de estabilidad y sintonía, además de poder lograr valores altos de Q . Su estructura básica se puede ver en la figura 3.16.:

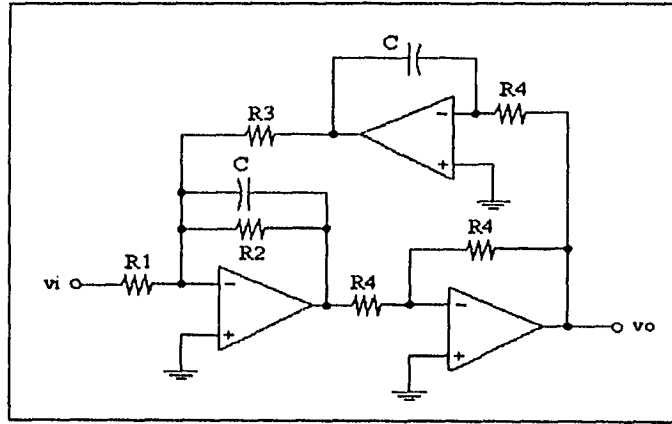


Figura 3.16. Filtro paso-banda bicuadrático.

La función de transferencia es:

$$H(s) = \frac{H_o \alpha \omega_o s}{s^2 + \alpha \omega_o s + \omega_o^2} = \frac{\frac{H_o \omega_o s}{Q}}{s^2 + \frac{\omega_o s}{Q} + \omega_o^2}$$

Los parámetros de la función se calculan mediante:

$$R_1 = \frac{Q}{H_o \omega_o C}$$

$$R_2 = \frac{Q}{\omega_o C}$$

$$R_3 = \frac{1}{\omega_o^2 R_4 C^2}$$

Alternativa 2: Configuración con doble amplificador.

Esta ocupa dos amplificadores operacionales y tiene la ventaja de que sus parámetros Q y f_o son ajustables en forma independiente. Su circuito se observa en la figura 3.17.:

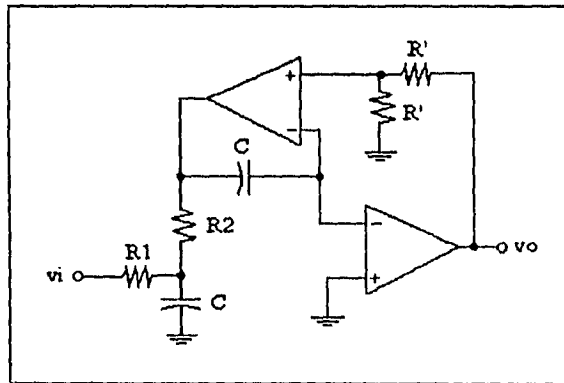


Figura 3.17. Filtro paso-banda en configuración de doble amplificador.

Los valores de los componentes del circuito se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$R_2 = R_3 = R = \frac{1}{2\pi f_o C}$$

$$R_1 = QR$$

$$H_o = 2$$

El valor de R se elige arbitrariamente.

De estas dos alternativas se utilizó la primera, por haber presentado mejores características de sintonía y estabilidad, además de no elevar excesivamente el costo comparada con la segunda.

Sintonización del Filtro.

La sintonía del filtro se lleva a cabo haciéndolo por separado a cada etapa de segundo orden, ajustando los valores de parámetros hasta lograr la ganancia, el factor de calidad y frecuencia central correspondientes. Finalmente se mide el comportamiento del filtro, acoplando las etapas previamente sintonizadas. Para hacerlo, se armó el siguiente circuito (figura 3.18):

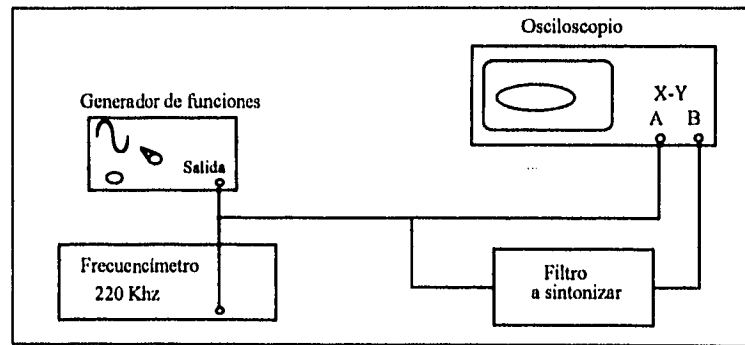


fig. 3.18. Pruebas de sintonización para el filtro paso-banda.

El generador de funciones se ajustó a la frecuencia deseada, con señal senoidal. El osciloscopio se colocó en la función "trazar x contra y", conectando la entrada de la señal senoidal del generador de funciones a "x", y la salida del filtro a "y", de tal suerte que lo que aparezca en la pantalla sea una de las "figuras de Lissajous". Estas figuras pueden evolucionar desde una línea inclinada recta hasta una circunferencia, dependiendo del ángulo de fase (Φ), que exista entre la entrada y la salida del filtro: (ver figura 3.19)

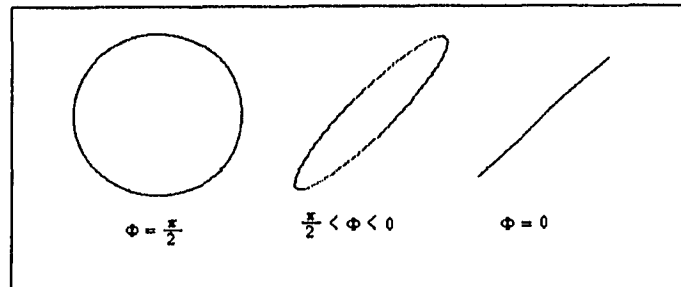


Figura 3.19. Figuras de Lissajous para señales senoidales de frecuencia y amplitud iguales.

Para utilizar los trazos de Lissajous, es necesario observar el comportamiento típico de un filtro paso-banda de segundo orden en frecuencia respecto a la fase (figura 3.20):

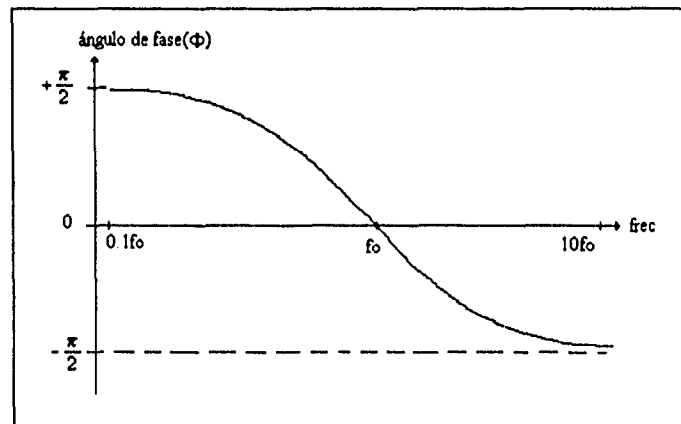


Figura 3.20. Comportamiento típico de un filtro paso-banda de segundo orden en fase respecto a la frecuencia.

Observando la gráfica de la figura 3.20, se puede afirmar que cuando la frecuencia de la señal que entra al filtro sea igual a la central, la entrada y salida guardarán entre sí un ángulo de fase igual a cero grados. Si se está viendo al osciloscopio el trazo de Lissajous de la entrada contra la salida, deberá aparecer en pantalla una línea recta cuando se esté pasando por frecuencia central, equivalente al defasamiento nulo mencionado.

El circuito completo del filtro se mostrará en el diagrama 2, junto con las secciones acondicionadora y de transmisión a intervalos.

El amplificador de señal:

Una vez que la señal ha sido convertida es necesario darle la amplitud especificada para la transmisión (tabla 3.3).

Este amplificador es utilizado para dar la amplitud necesaria a la señal senoidal para que pueda ser transmitida por el transductor. Consta de un amplificador en configuración no inversor y otro en configuración seguidor para poder acoplar la señal de salida con la etapa siguiente (figura 3.21.).

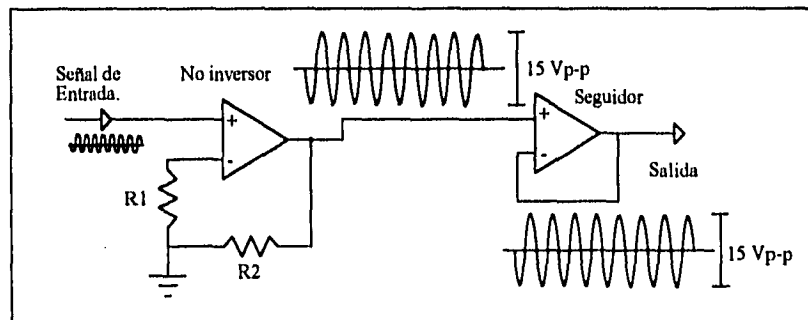


Figura 3.21. Amplificador de señal de transmisión.

La ganancia del amplificador no inversor viene dada de la siguiente manera:

$$A_c = \frac{V_{sal}}{V_{entr}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Donde:

R_1 y R_2 esta dada en $K\Omega$

$$A_c = \frac{V_{sal}}{V_{entr}} = 1 + \frac{2.8 K\Omega}{1 K\Omega} = 3.8$$

El amplificador en configuración seguidor únicamente se está utilizando para dar una mayor ganancia de corriente y acoplar las señales con la siguiente etapa. por lo que su ganancia de salida es la unidad.

Transmisión a intervalos.

Esta sección cumplirá las especificaciones de la tabla 3.3, referentes a transmitir la señal a intervalos con una frecuencia de 40Hz, a 15 ciclos.

Esta tarea se realizó con un multivibrador monoestable 14538, el cual controlará el paso de la señal senoidal a la etapa controladora por medio de un interruptor analógico (CD4066). Este último permanecerá cerrado durante 67.5 microsegundos, con lo que la señal se transmitirá a la frecuencia y número de ciclos especificados.

Su funcionamiento se muestra en la figura 3.22.

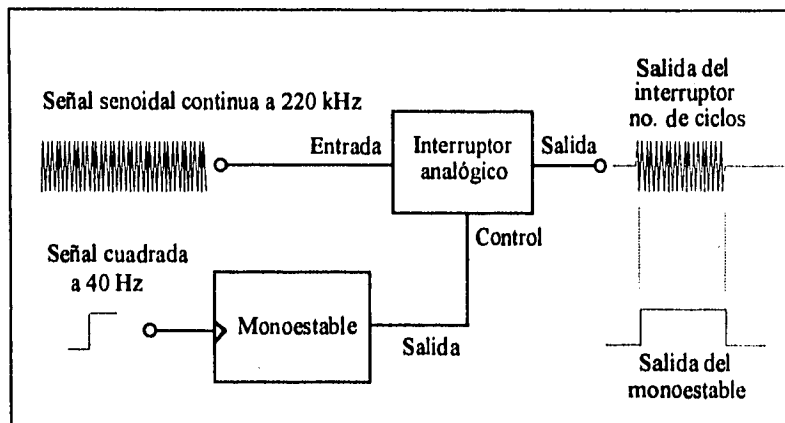


Figura 3.22. Diagrama de Señales del circuito para la transmisión a intervalos.

Como en el caso del monoestable utilizado en el circuito acoplador del acondicionador de señal, se ocupará la misma condición de responder al flanco de subida para cerrar el interruptor analógico (tabla 3.5). Los valores de la resistencia y el capacitor relacionados con la duración del pulso de salida (67.5 microsegundos) del monoestable se

obtienen de la gráfica asociada (figura 3.14) siguiendo el proceso mencionado para el acoplador (pag 16).

El diagrama esquemático del interruptor analógico y su tabla de estados se muestran a continuación (figura 3.23.):

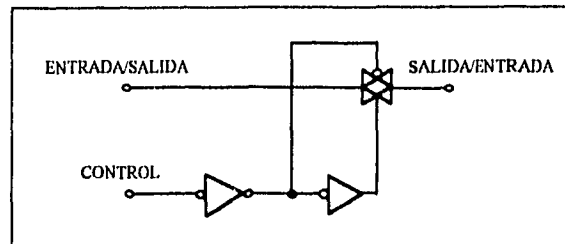


Tabla de estados:

CONTROL	Interruptor
0=	abierto
1=	cerrado

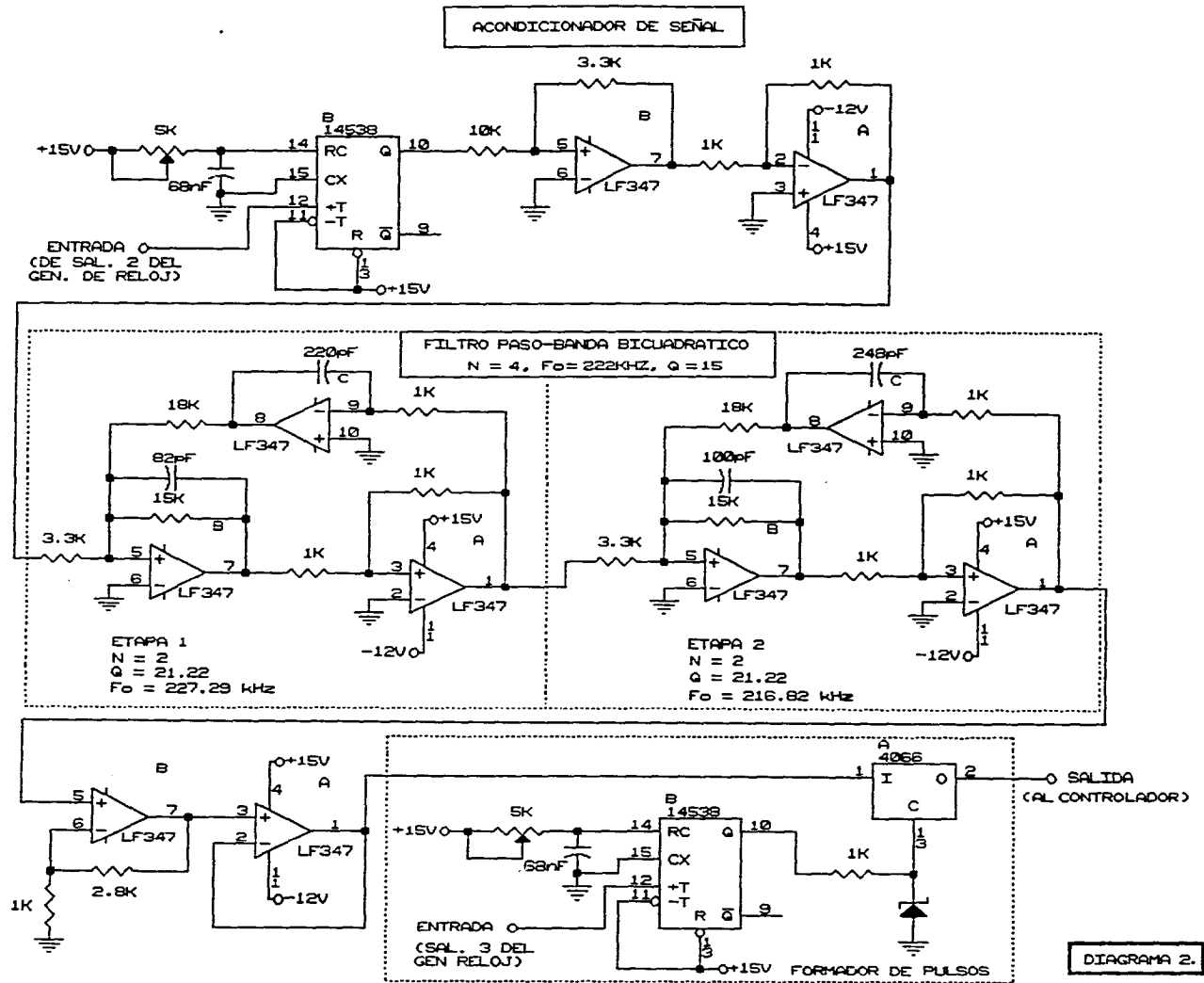
Figura 3.23. Diagrama esquemático de un interruptor analógico.

Con este circuito concluye el desarrollo del circuito de transmisión, quedando lista la señal para ser enviada al circuito de recepción en el instante que la etapa controladora lo determine (subtema 3.3).

En la página siguiente se muestra el diagrama general del circuito acondicionador de señal, filtro paso-banda y del transmisor a intervalos (diagrama 2).

3.1.3. Circuito de recepción.

La señal generada en la transmisión llegará al circuito de recepción después de que la etapa controladora (subtema 3.3.) habilite la transmisión. En ese instante el circuito receptor dará la indicación a la etapa del cronómetro (subtema 3.2) de que ésta ha sido recibida.



En las pruebas efectuadas a los transductores (subtema 3.1.1.) se muestran las características de la señal recibida. Ahora bien, las condiciones reales (al incorporar el circuito de transmisión) de ésta se observan en la figura 3.24.

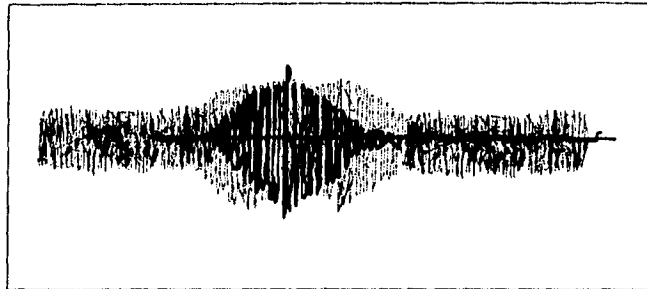


Figura 3.24. Imagen de la señal recibida.

Como se puede notar la señal llega atenuada y se encuentra montada en ruido por lo que se requiere un circuito que primero la amplifique, limpie y acondicione de manera que permita trabajar con ella. A continuación el circuito deberá ser capaz de discernir si se trata de la señal esperada, o bien, de un falso disparo, ondas electromagnéticas que se encuentren en el ambiente o generadas por el mismo sistema. Esto lo hará para indicar a la etapa del cronómetro que la señal ha llegado.

Para esta tarea se planteó el desarrollo de un circuito que consta de 2 bloques que operarán de la siguiente forma (figura 3.25)

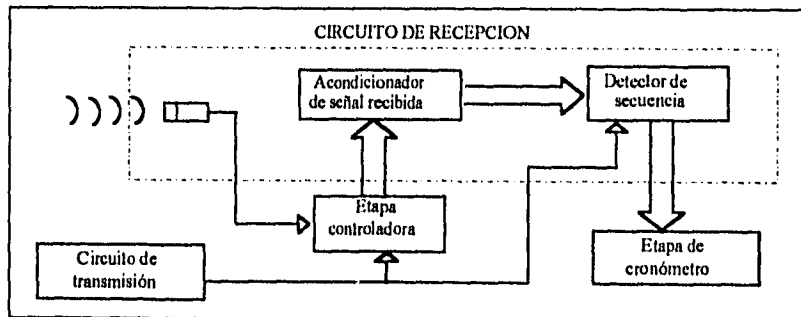


Figura 3.25. Diagrama funcional del circuito de recepción.

Para su realización se analizaron varias alternativas, las cuales se pueden resumir como muestra la figura 3.26.

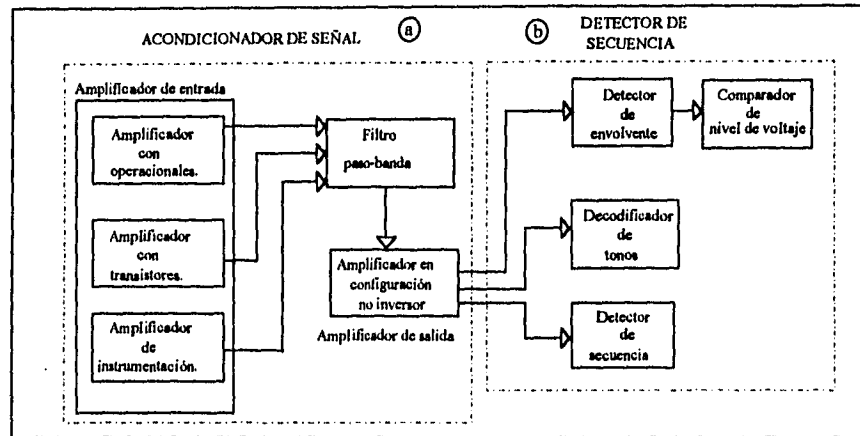


Figura 3.26. Alternativas para el desarrollo del circuito de recepción.

Análisis de alternativas.

El procedimiento seguido consistió en examinarlas por bloques funcionales.

a) - Acondicionador de la señal recibida.

Amplificador de entrada.

El primer paso consistirá en amplificar la señal, para que esta tenga el nivel de amplitud exigido por el filtro (300 mV).

Para ello se examinaron tres posibilidades, los resultados aparecen en la tabla.3.7.

Alternativa	Tipo de amplificador	Características
1	Amplificador operacional (Configuración no inversor).	Ganancia estable de voltaje, alta impedancia de entrada, impedancia de salida muy baja, ancho de banda amplio.
2	Amplificador con transistores.	Ancho de banda amplio, alta impedancia de entrada, alta ganancia, dificultad para el ajuste del punto de operación (Q), máxima simetría de amplitud (MSS).

3	Amplificador de instrumentación.	Alta impedancia de entrada, impedancia de salida muy baja, alto rechazo de ruido en modo común ((RRMC) (donde a la entrada existe un voltaje diferencial pequeño y un voltaje común grande)), poca ganancia (para no desestabilizarlo).
---	----------------------------------	---

Tabla 3.7 Análisis de alternativas del amplificador de entrada.

De esta se concluye que con cualquiera de las tres configuraciones se puede lograr el objetivo, optando por la del amplificador de instrumentación, dado que sus características fueron las más adecuadas para el sistema.

A continuación se muestra su configuración y los cálculos del mismo.

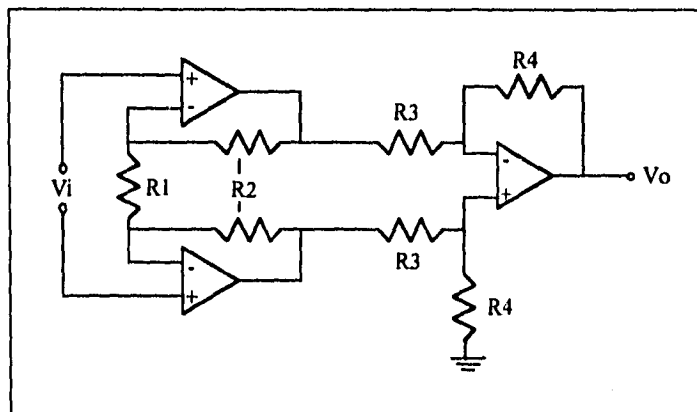


Figura 3.27 Configuración de un amplificador de instrumentación.

Como se puede observar en la figura 3.27. éste se encuentra compuesto por un amplificador en configuración de entrada y salida diferencial y un amplificador de entrada diferencial. La ganancia del circuito está dada por:

$$A_c = \frac{V_o}{V_i} = \left[2 \frac{R_2}{R_1} + 1 \right] \frac{R_4}{R_3}$$

Si hacemos $R_3 = R_4$, la ecuación anterior de ganancia del circuito se reduce a:

$$A_c = \frac{V_o}{V_i} = 2 \frac{R_2}{R_1} + 1$$

La ganancia mínima que se puede obtener en este caso es la unidad.

Donde R_1 y R_2 están dadas en $K\Omega$.

Los valores de las resistencias deberán mantenerse bajos para minimizar el desbalance de corriente directa (c.d.)

Si suponemos R_1 y R_2 con valores bajos de:

$$R_1 = 1.2 \text{ K}, \quad R_2 = 0.680 \text{ K}$$

Sustituyendo valores tenemos que:

$$A_c = \frac{V_o}{V_i} = 2 \frac{680 \text{ K}\Omega}{1.2 \text{ K}\Omega} + 1 = 2.13 \text{ de Ganancia}$$

Las señales de entrada y salida del amplificador de instrumentación se muestran en la figura 3.28:

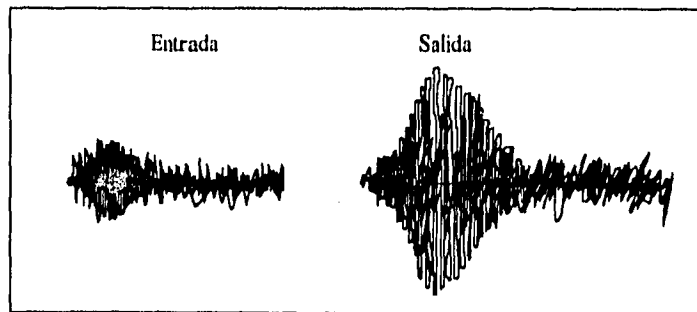


Figura 3.28 Señales de entrada y salida del amplificador de instrumentación.

Filtro paso banda de banda angosta:

Como se puede observar en la figura anterior (3.28), aunque el amplificador rechaza ruido en modo común, persiste la presencia de un ruido montado sobre la señal a diferentes frecuencias de la señal de trabajo. Para eliminarlo como se mencionó anteriormente, se requirió un filtro paso-banda de banda angosta a una frecuencia central de 222 kHz (frecuencia de trabajo).

Los criterios tomados en cuenta para el diseño de éste, fueron los mismos utilizados en el diseño del filtro paso-banda del circuito transmisor (subtema 3.1.2), debido a que se está trabajando con la misma señal generada. Por lo tanto, se procedió a repetir el circuito diseñado y probado anteriormente.

La sintonización fué realizada de la misma manera que la referida en el diseño del transmisor, mediante ajustes sucesivos de fase.

En la figura 3.29. se muestra la entrada y la salida del filtro paso-banda, en la cual se puede observar que el ruido presentado por la señal se atenuó, permitiendo observar con claridad la respuesta dinámica del transductor en recepción.

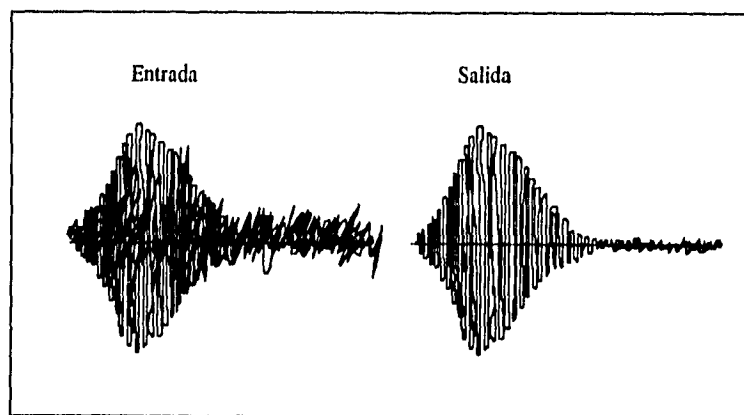


Figura 3.29. Señal de entrada y salida del filtro paso-bajas bicuadrático de 4o. orden.

Amplificador de salida:

La última sección del acondicionador de señal será la encargada de dar la amplitud necesaria (9Vp-p) a la señal para poder acoplarla con la sección del detector

Consta de un amplificador en configuración no inversor y otro en configuración seguidor, como en el caso del amplificador de salida perteneciente al acondicionador de señal del circuito de transmisión (figura 3.21.).

Dado que los requerimientos son similares, se eligió el circuito desarrollado para dicha sección. Para el cálculo de la ganancia referirse a dicho circuito (subtema 3.1.2), en donde:

$$R1 = 1 \text{ k}\Omega \quad R2 = 0.820 \text{ k}\Omega \quad A_v = 1.82$$

b) Detector de secuencia.

Desde un punto de vista teórico, la función de esta sección es en si, la única tarea que debería cumplir el circuito de recepción, detectar la señal de llegada e indicárselo a la etapa del cronómetro, sino fuera necesario limpiar y acondicionar ésta, como se vió en la primera sección que conforma dicho circuito.

Ahora bien, al efectuar las pruebas con el circuito de transmisión y el acondicionador de señal del circuito de recepción, se encontró que la señal de llegada venía acompañada de una onda electromagnética, la cual no había sido posible eliminar después de pasar por éste último, como se muestra en la figura 3.30.

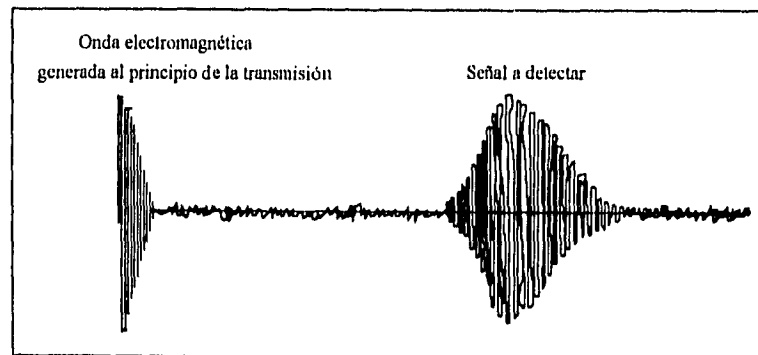


Figura 3.30 Señal recibida por el detector de secuencia.

Por lo tanto se requiere un circuito que primero elimine dicha onda y a continuación detecte la señal.

La onda electromagnética presenta las siguientes características en comparación con la señal de interés:

Frecuencia: igual.

Amplitud: variable, con tendencia a ser mayor que la señal de interés.

Duración: menor

Se presenta al inicio de la transmisión.

Tomando en cuenta estas características, se plantearon las siguientes alternativas para el desarrollo del detector (tabla 3.8).

Alternativa 1.: Detector de envolvente, con comparador de nivel de voltaje.

Características:

En esta opción se detectan los picos de la señal de entrada, de manera que la salida sea igual a la envolvente superior. El comparador de voltaje detecta el momento en que su voltaje de referencia es sobrepasado cambiando su salida de "0" a "1" lógico, con lo que mandará un pulso a la etapa del cronómetro, indicando que la señal ha sido recibida.

Resultados:

Falsos disparos en la detección.

Alternativa. 2: Decodificador de tonos.

Características:

Esta opción compara frecuencia y fase de acuerdo a la que se le programa a la entrada; entregando un "0" lógico ante la presencia de la señal de interés y un "1" lógico ante una diferencia o en ausencia de señal.

Resultados:

Falsos disparos, dependiente de una amplitud de llegada (un solo nivel de referencia), detecta ondas electromagnéticas de la misma frecuencia.

Alternativa 3: Detector de secuencia.

Características

Esta opción se compone de un arreglo de 4 "Flip- Flops" tipo D conectados en cascada que funcionan como un secuenciador, en el que la condición para que cada uno de los pulsos que permita pasar al siguiente, está dada por un comparador de voltaje con histéresis (cuatro en total), el cual detecta un nivel de referencia. Por otra parte, un monoestable recibe la señal de inicio de transmisión para dar la señal de reinicio de secuencia al detector.

A la salida de este arreglo entrega un pulso que será enviado a la etapa del cronómetro (subtema 3.2).

Resultados:

Se tienen 4 niveles de referencia, detecta únicamente la señal de interés

Tabla 3.8. Alternativas para el diseño del detector de secuencia.

Por los resultados obtenidos en las pruebas realizadas (tabla 3.7), la alternativa 3 resulta la más adecuada y confiable para el sistema.

A continuación se describe el funcionamiento y características del detector de secuencia:

Como se muestra en la figura 3.31, el arreglo de comparadores con histéresis (LM311) recibe la señal filtrada del acondicionador de señal. Cada uno de ellos detecta un nivel de referencia prefijado mediante los cuales dará la secuencia (figura 3.32, tabla 3.8).

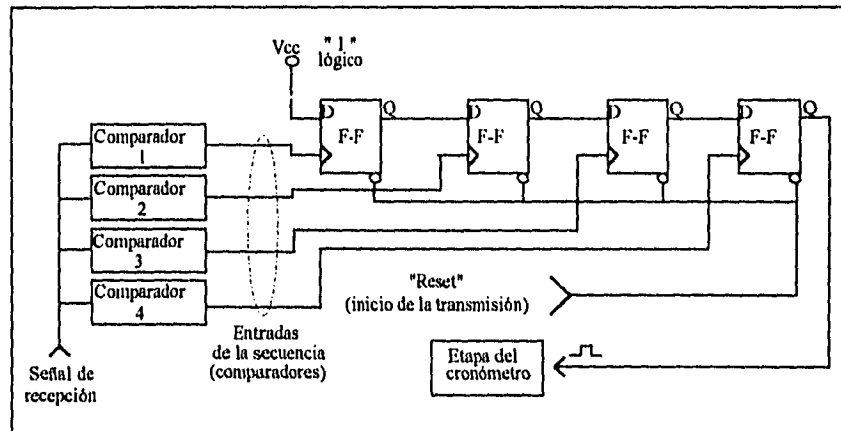


Figura 3.31 Arreglo de los comparadores con histéresis y del secuenciador.

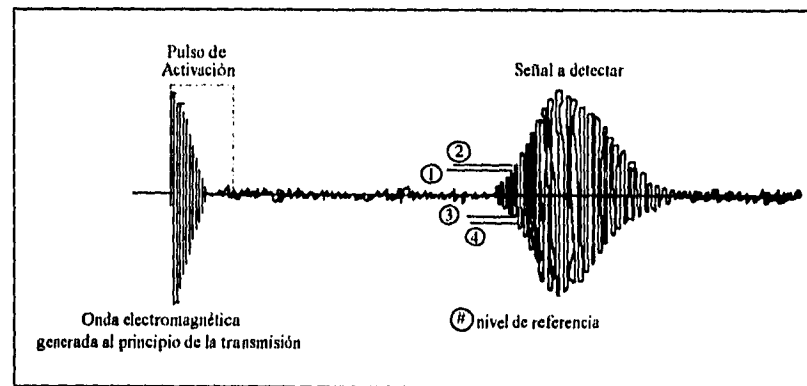


Figura 3.32 Niveles de referencia de los comparadores.

El arreglo de los multivibradores biestables (del inglés "Flip-Flops") funciona como un secuenciador, el cual recibe a la entrada de reloj, un pulso del comparador en el instante que este detecta el nivel de referencia prefijado. La secuencia solo se llevará a cabo si los cuatro niveles de referencia son detectados. En ese instante saldrá el pulso que indicará a la etapa del cronómetro que la señal ha sido recibida (subtema 3.2).

Por otra parte, un monoestable recibe la señal de inicio de transmisión para dar la señal de activación o reinicio de secuencia al arreglo. El tiempo dado por la constante RC que permite mantener en nivel alto el pulso dado por el monoestable será ligeramente mayor al tiempo de duración de la onda electromagnética (figura 3.33)

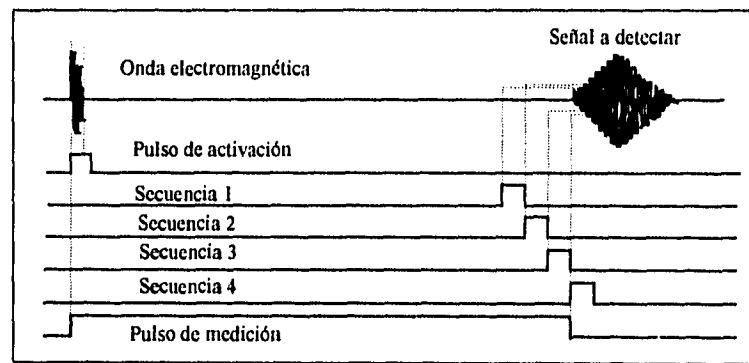


Figura 3.33. Diagrama de tiempos del detector de secuencia.

Cálculos y especificaciones de la sección:

La razón para usar un comparador con histéresis es que a diferencia de los convencionales, evita falsos disparos ante pequeñas variaciones en amplitud de la señal de interés, como sucede en este caso. Por otra parte tiene la característica de poder cambiar de estado cuando la señal de entrada pasa secuencialmente por dos niveles de referencia.

Los niveles de referencia se definieron experimentalmente, conforme a lo observado en el osciloscopio, y a diferentes pruebas realizadas. Estos quedaron como se muestra en la tabla 3.8.

Nivel de referencia	valor(mV)
1	200
2	800
3	1640
4	80

Tabla 3.8 Niveles de referencia fijados por los comparadores

El voltaje de histéresis se puede fijar como la variación de la señal en amplitud (150mV) ó se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V_{hist.} = \left(\frac{R_1}{R_1 R_2} \right) V_{cc}$$

La que se uso para obtener R2, fijando R1 en 10K y Vcc en 5V, con los siguientes resultados (tabla 3.10)

Comparador	R1	R2	R3
Comparador 1	10 KΩ	3.3 KΩ	200 KΩ (variable)
Comparador 2	10 KΩ	3.3 KΩ	200 KΩ (variable)
Comparador 3	10 KΩ	1 KΩ	200 KΩ (variable)
Comparador 4	10 KΩ	2.2 KΩ	200 KΩ (variable)

Tabla 3.10 Valores obtenidos para los comparadores con histéresis

Como se puede notar en la figura 3.34, R3 es variable y se agrega para sumar un voltaje (c.d.) al voltaje de histéresis.

Para mayores detalles sobre los cálculos, consultar el manual de referencia (referido en la bibliografía).

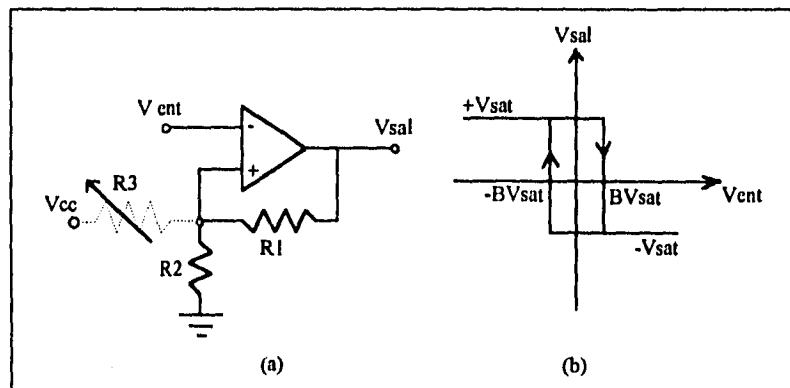


Figura 3.34. Diagrama esquemático y curva de respuesta de un comparador con histéresis (retroalimentación o Schmitt trigger)

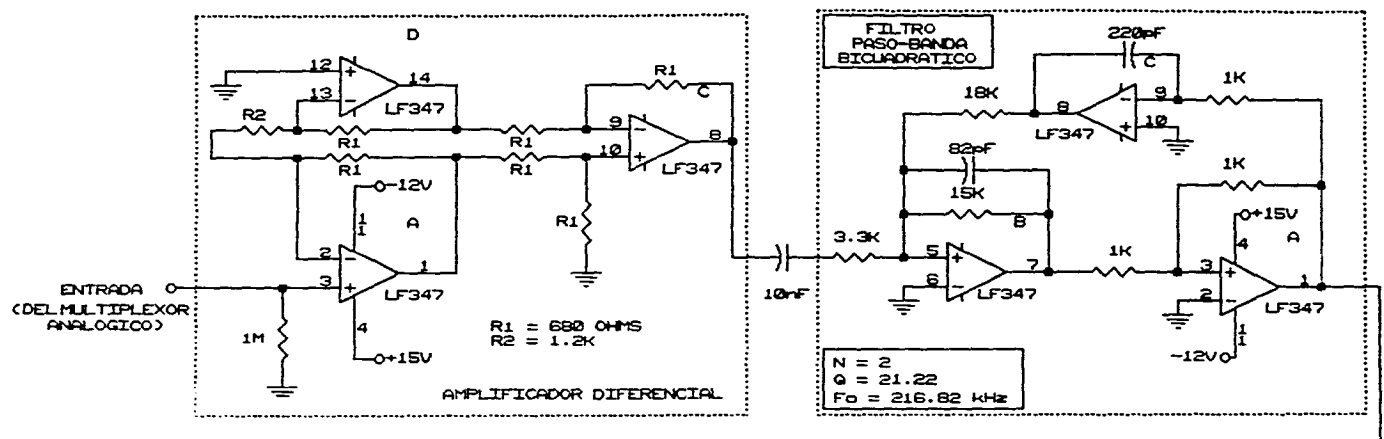
En lo que se refiere al monoestable que da la señal de activación y de reinicio("reset") la constante RC que da el ancho del pulso, se cálculo de la misma manera que para el usado en el acondicionador de señal del circuito de transmisión (subtema 3.1.2), obteniendo los siguientes valores para una ancho de pulso de $400 \mu s$ (figura 3.32).

$$R_x = 5 \text{ K}\Omega$$

$$C_x = 0.1 \mu \text{ F.}$$

Los diagramas eléctricos generales de la etapa de recepción y detección de secuencia se muestran en las siguientes páginas (diagramas 3 y 4).

CIRCUITO RECEPTOR



18

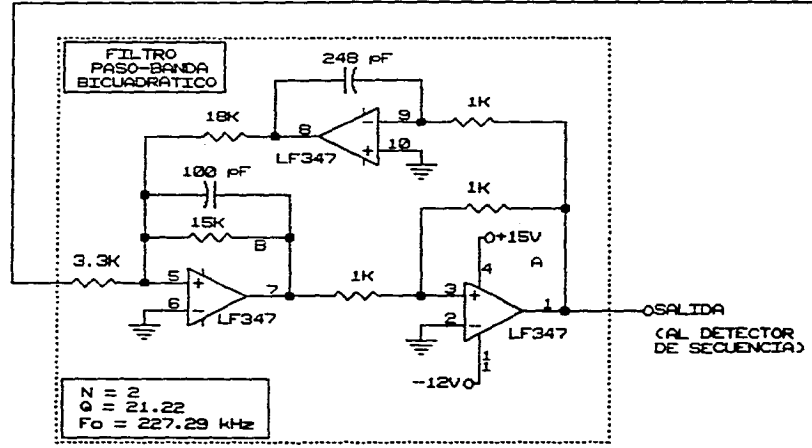


DIAGRAMA 3.

DETECTOR DE SECUENCIA

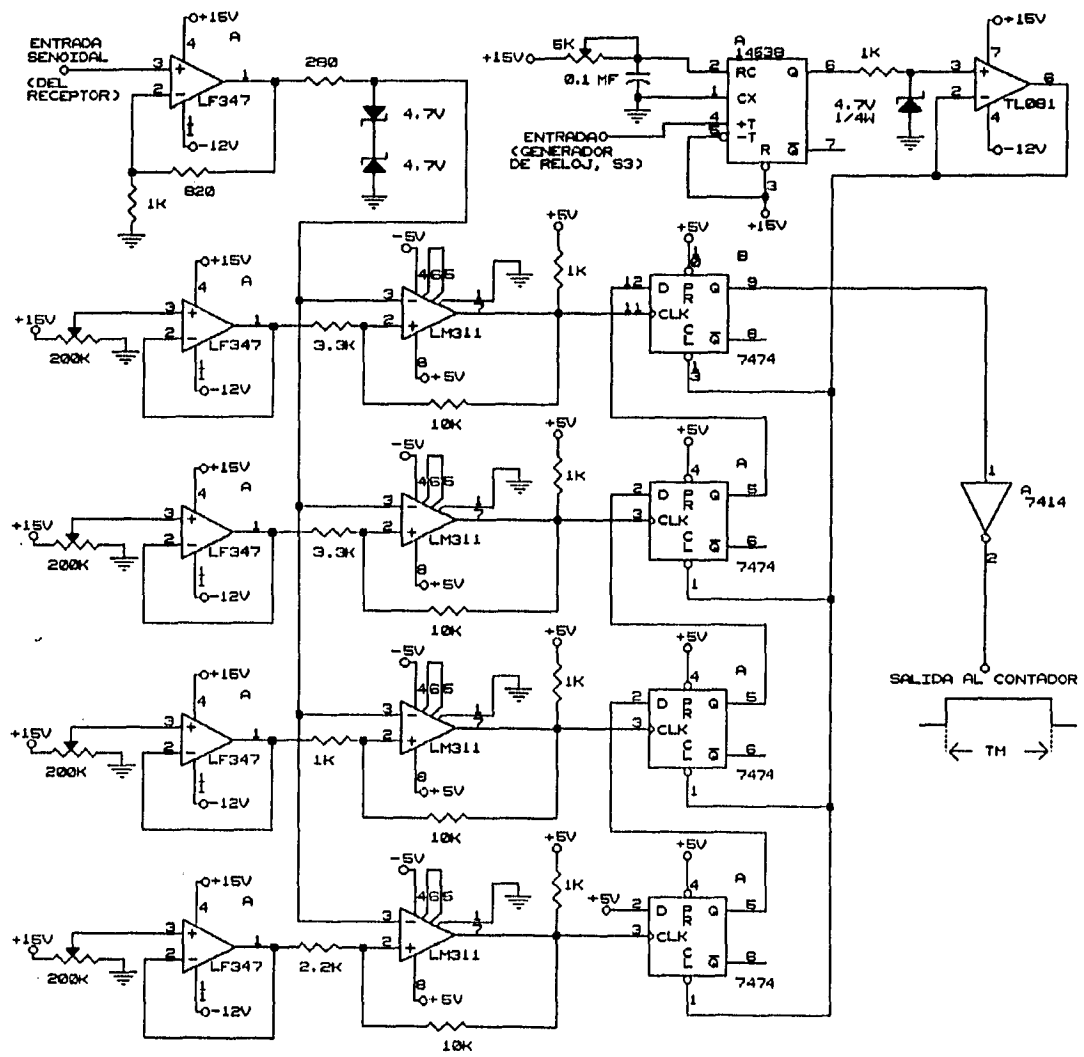


DIAGRAMA 4.

3.2. ETAPA DEL CRONOMETRO

La función de esta etapa será la de medir el tiempo que transcurre entre el momento en que la señal es transmitida y el instante en que se recibe.

Para ello requiere recibir dos señales de reloj: una proporcionada por el divisor de frecuencias del circuito de transmisión (que representa el inicio de la transmisión, subtema 3.1.2) y la segunda dada por el detector de secuencia del circuito de recepción (que representa la llegada de la onda ultrasónica, subtema 3.1.3). Con ellas obtendrá un pulso, cuya duración se denominará como el tiempo del pulso de medición. Durante este tiempo generará una cuenta, la cual enviará a la etapa de procesamiento y almacenamiento de información en donde se determinará la velocidad del viento(subtema 3.4).

Esta operación se repetirá en seis ocasiones, una para cada sentido (ida y regreso) de cada eje ("X", "Y" "Z"; subtemas 3.3 y 3.4).

En la figura 3.35 se ejemplifica lo que será el funcionamiento de la etapa.

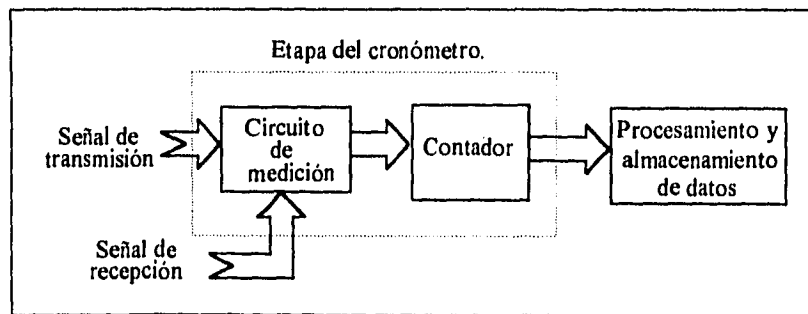


Figura 3.35 Diagrama a bloques del funcionamiento de la etapa.

3.2.1 Diseño de la etapa

Como ya se dijo el circuito de medición dará el pulso de medición, tiempo durante el que se generará una cuenta en el contador. Este pulso está delimitado por el inicio y

recepción de la señal. Dicho procedimiento se puede entender mejor si se observa el diagrama de tiempos de la etapa (figura 3.36).

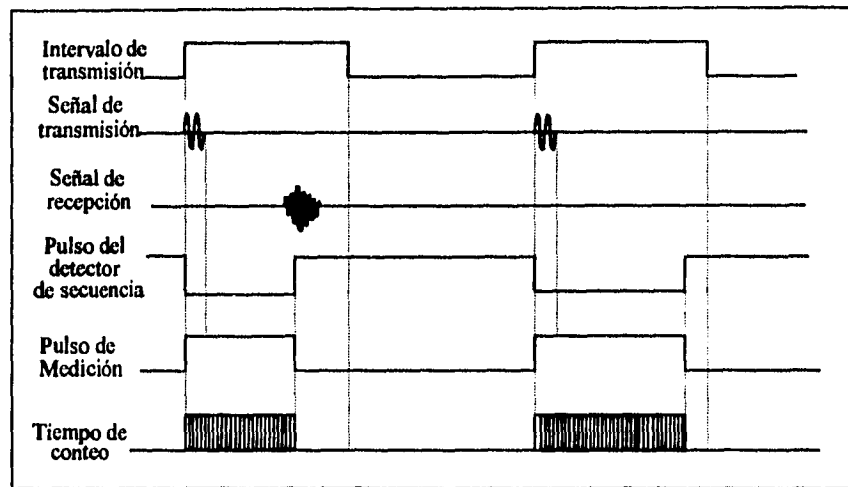


Figura 3.36 Diagrama de tiempos del circuito de medición.

Para su desarrollo se plantearon dos alternativas:

Alternativa 1.

Generar el pulso de medición por medio de un monoestable, el cual será programado para responder al flanco subida, tomando el pulso de inicio de la transmisión (intervalo de transmisión) en su entrada (a), y el pulso de recepción de la señal dado por el detector de secuencia del receptor en su terminal "Reset". El pulso generado por el monoestable se conectará a la entrada de una compuerta "y" (del inglés "and") cuya otra entrada recibirá la frecuencia de cuenta. La salida de ésta contendrá el tiempo y frecuencia de conteo, y se conectará a la entrada de reloj "clk" del contador.

Alternativa 2.

Esta nace del desarrollo de la alternativa 1, ya que si se compara el pulso que entrega y las señales que recibe, son las mismas que las del detector de secuencia (subtema 3.1.3).

Esto es, el detector entregará a su salida un pulso que tendrá su flanco de bajada al inicio de la transmisión y conmutará (flanco de subida) al recibir la señal. Por lo tanto antes de ingresar a la compuerta, tendrá que pasar por un inversor.

A simple vista se puede notar que la alternativa 2 supera a la primera ya que solo requiere tomar el pulso de un circuito que ya está operando en el sistema y ocupar un inversor por la lógica de la etapa. Por otra parte con la alternativa elegida se tendrá una mejor sincronización entre las señales del sistema.

Ahora, para la elección del contador y la frecuencia que maneje, es necesario comprender lo siguiente.

La cuenta generada está dada en función del tiempo de medición y la frecuencia del reloj del contador:

$$N_c = \text{Frec}_{\text{CLK}} \times T_M \quad \text{ecuación 1.}$$

Donde:

N_c = Cuenta generada por el contador {dimensional}

Frec_{CLK} = Frecuencia del reloj del contador {Hz}

T_M = Tiempo de duración del pulso de medición {segundos}

En gran medida la resolución, precisión, exactitud y la sensibilidad están relacionadas con esta etapa y en particular con el contador y su frecuencia. En estas especificaciones también se encuentran involucrados los transductores, el intervalo y la frecuencia de transmisión, como se vió en los capítulos anteriores

Como se puede notar en la ecuación 1, la frecuencia de reloj del contador (en este caso) es determinante para la cuenta generada (N_c). En otras palabras a:

$$> \text{Frec}_{\text{CLK}} > N_c$$

$$< \text{Frec}_{\text{CLK}} < N_c$$

Esto se comprende mejor en la tabla 3.10, en donde $T_M = 1$ ms para todos los casos.

$f_{rec_{CLK}}$ (MHz)	Nc (cuenta generada)
1	1000
10	10000
20	20000

Tabla 3.10 Cuentas generadas para tres frecuencias de conteo a un tiempo de medición constante.

Dentro del mundo de los contadores se optó por un arreglo de cinco contadores en décadas "7490" conectados en cascada que manejan una frecuencia de trabajo hasta 35 MHz. Con ello se obtendrán 20 bits a la salida, lo que representa una cuenta potencial (Nc) máxima de 99,999. (diagrama 5).

Cabe aclarar que una mejor elección sería ocupar contadores binarios, porque se ocuparía un contador menos para la máxima cuenta esperada. Pero dada la fase experimental del proyecto en la que se requería monitorear las cuentas generadas en forma permanente, e independiente de la etapa de procesamiento, se seleccionaron los primeros para este proceso. El prototipo definitivo usará dichos contadores binarios, lo que no representará mayores modificaciones.

El diagrama de tiempos de la etapa (figura 3.36) ejemplifica claramente el funcionamiento de la misma, y las pruebas de operación se presentan en el capítulo 4 (subtema 4.1).

Como complemento del contador de la etapa, éste ocupa tres memorias temporales (dos circuitos integrados 74116 y un 7475) que se encargarán de congelar la cuenta, para que esta sea tomada por la etapa de procesamiento. Por otra parte se ocupó un 74123 que contiene dos monoestables, uno para dar la orden de congelar la cuenta y el otro para reiniciar los contadores. El funcionamiento de estos monoestables es similar al descrito en el acondicionador de señal (subtema 3.1.2), solo que en estos, el ancho del pulso se puede calcular (consultar manual del fabricante). Su operación en esta etapa se muestra en el diagrama de tiempos de la figura 3.37.

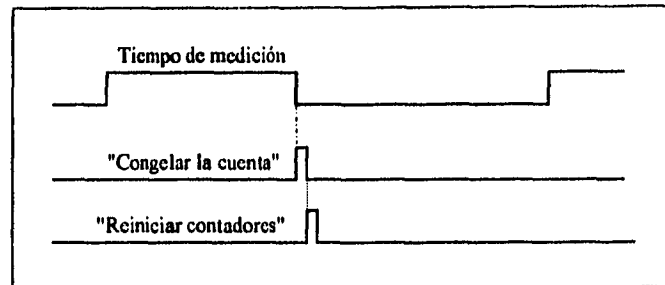


Figura 3.37. Intervalo de medición y señales de congelar y reiniciar cuenta del contador.

El diagrama de tiempos del contador se muestra en la figura 3.38

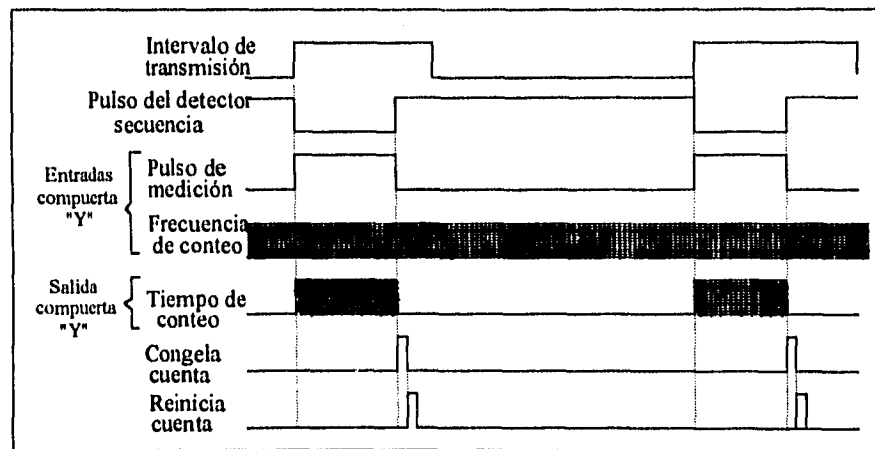


Figura 3.38. Diagrama de tiempos del contador.

El circuito eléctrico completo del cronómetro se muestra en la siguiente página (diagrama 5).

CRONOMETRO

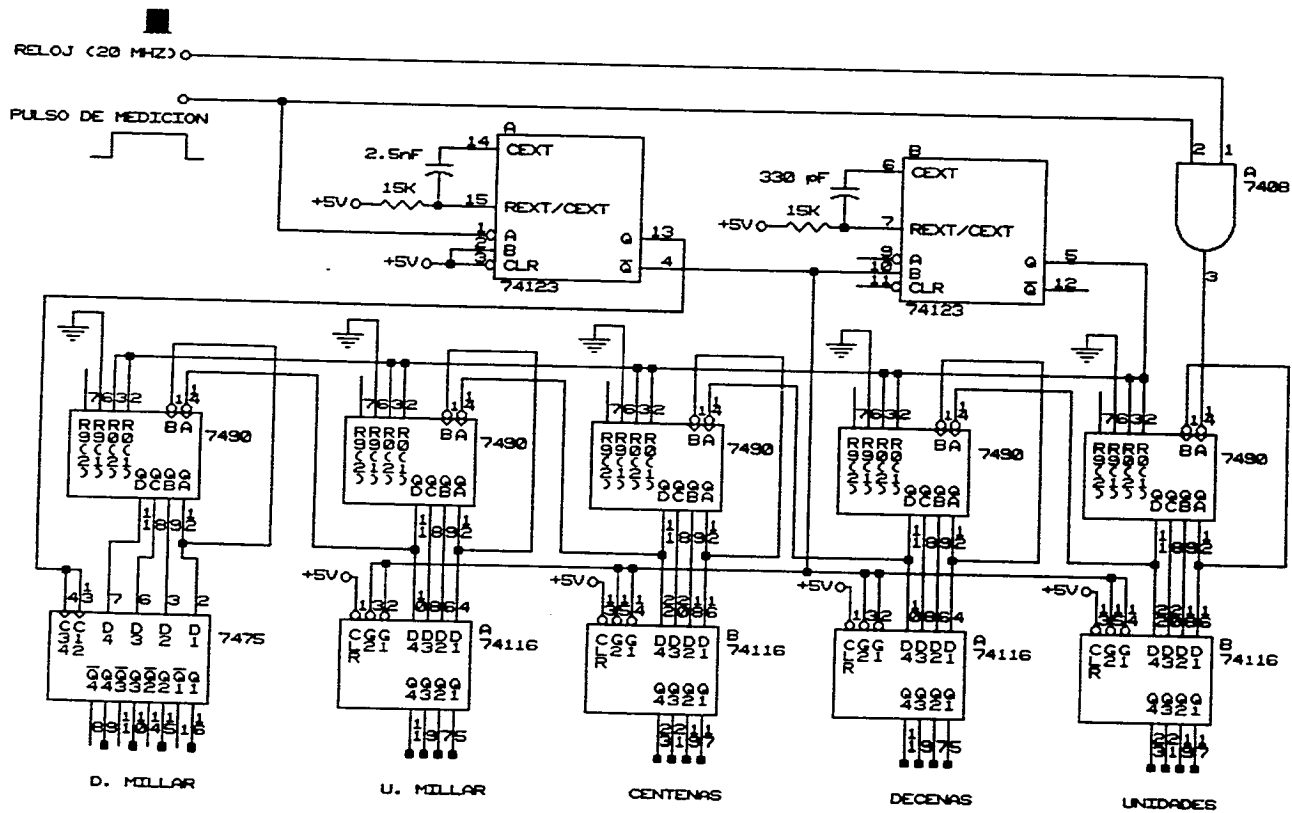


DIAGRAMA 5.

3.3. ETAPA CONTROLADORA.

Como se mencionó en el subtema 2.1, un anemómetro sónico mide la velocidad del viento en el espacio, ocupando tres direcciones: los ejes "x" y "y" para obtener la velocidad del viento en el plano horizontal, y el eje "z" para medir la velocidad vertical. También se mencionó que el método utilizado para calcular la velocidad en una dirección dada, será función de la diferencia del recíproco de los tiempos de ida y regreso de la onda (subtema 2.1):

$$\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1} = \frac{2W}{d}$$

Por lo tanto se necesitará medir dos tiempos (ida y regreso de la señal) para cada una de las tres direcciones (subtema 3.2).

Para no usar un par de transductores para medir cada tiempo (lo cual duplicaría el sistema) los valores de t_1 y t_2 se pueden obtener intercambiando la función de transmisor y del receptor (subtema 3.1.1.) en diferentes instantes.

Para realizar lo anterior, es necesario diseñar un circuito de control capaz de conmutar la función de los transductores (figura. 3.39).

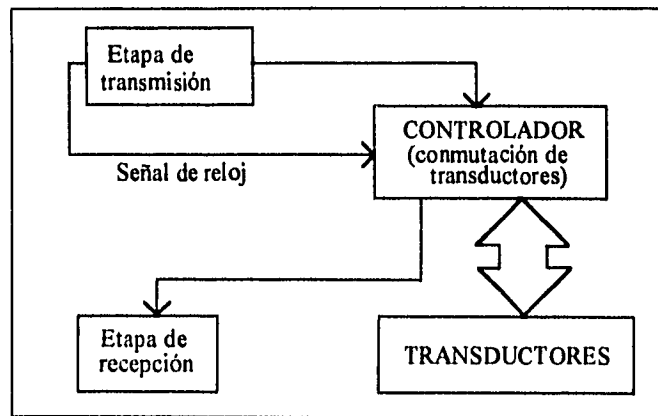


Figura 3.39 Etapa controladora.

Se plantearon dos alternativas para su desarrollo, las cuales se presentan a continuación .

Alternativa 1:

Está constituida por una serie de interruptores o "switches" analógicos controlados por medio de un multivibrador biestable tipo "T" (del ingles flip-flop) , el cual cambia alternativamente de estado cuando recibe un pulso de reloj proporcionado por el circuito transmisor (subtema 3.1.2). Por otra parte se incluyeron amplificadores operacionales en configuración seguidora para acoplar impedancias.

A continuación se presenta el diagrama operativo del circuito para una de las tres direcciones (figura 3.40).

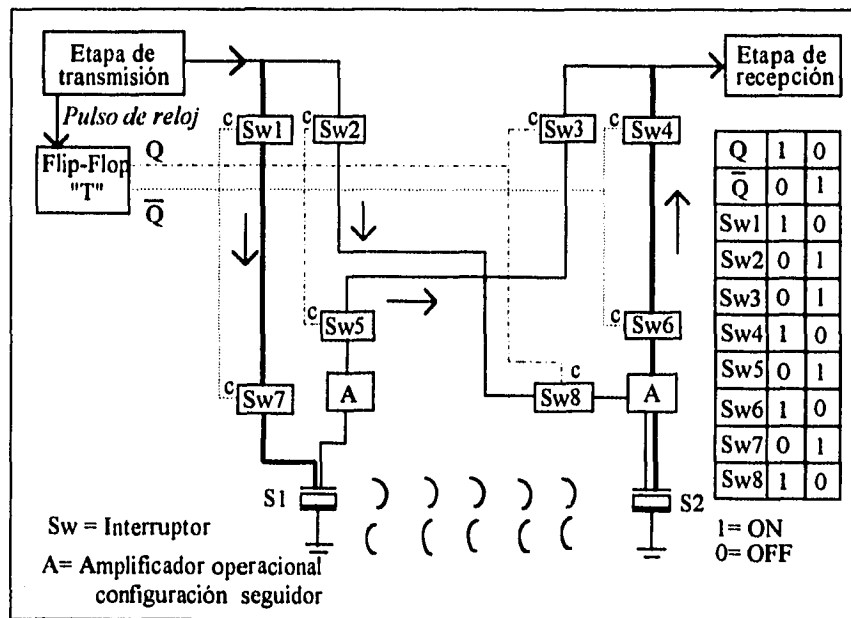


Figura 3.40. Circuito operativo para la conmutación de transductores en un solo eje.

En éste se observa el camino que seguirían las señales para cada estado del multivibrador biestable.

Como se mencionó, el circuito sirve para conmutar los transductores en una sola dirección, por lo que la alternativa completa incluiría tres circuitos controladores iguales, junto con tres receptores y tres cronómetros.

Alternativa 2.

Esta plantea un circuito que realiza una conmutación de transductores, a continuación cambia de eje, repitiendo la acción tres veces antes de volver a muestrear en la dirección inicial.

Al intercambio de función en los transductores se le denominó "conmutación de transductores" y al cambio de dirección "rotación de ejes". El funcionamiento planteado se ilustra a continuación (figura 3.41):

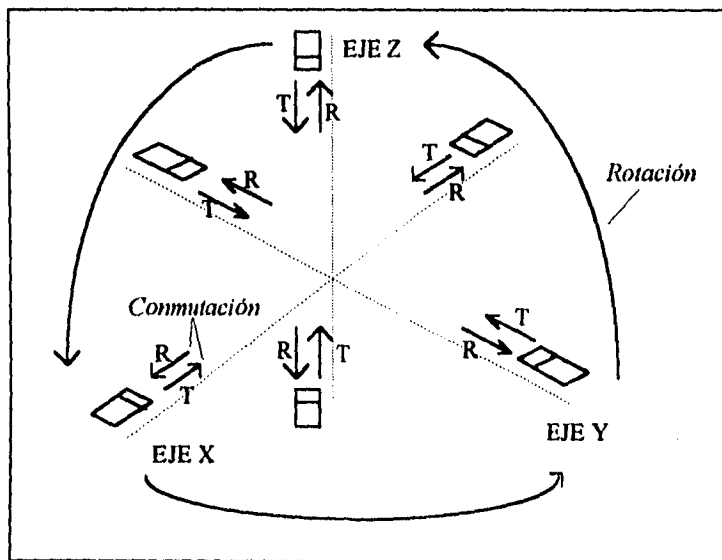


Figura 3.41. Diagrama de conmutación y rotación del sistema..

El circuito está formado por un multiplexor/demultiplexor de tipo analógico, controlado por medio de un contador binario, el cual determinará la conmutación de transductores y la rotación de ejes.

El siguiente diagrama ilustra esta alternativa (figura 3.42):

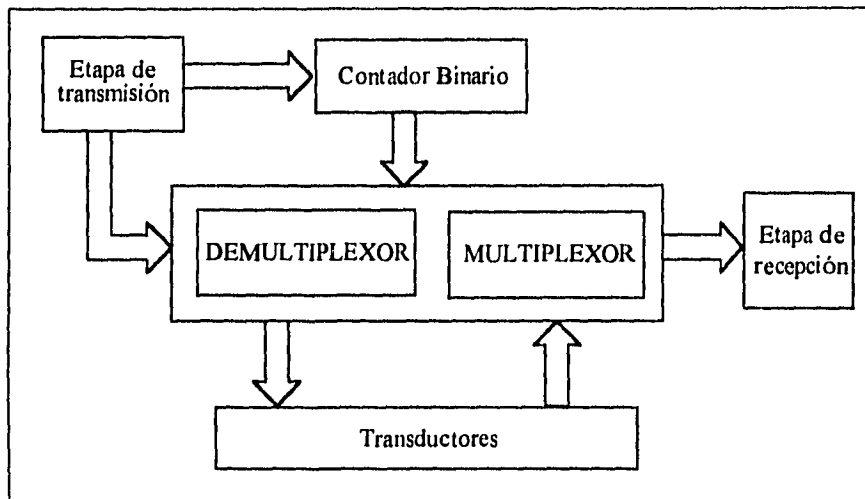


Figura 3.42 Diagrama a bloques de la alternativa 2.

Para facilitar su comprensión, se expone brevemente la función de un multiplexor y la de un demultiplexor.

Un multiplexor es un circuito lógico que acepta varias entradas de datos y permite que sólo una de ellas pase en un tiempo a la salida. La elección de la entrada deseada que aparezca a la salida, está manejada por las entradas de control (a las que se hace referencia en algunas ocasiones como entradas de selección).

El multiplexor actúa como un interruptor multiposición controlado digitalmente, donde el código digital aplicado a las entradas de selección controla qué dato de entrada será conmutado hacia la salida. (Ver figura 3.43)

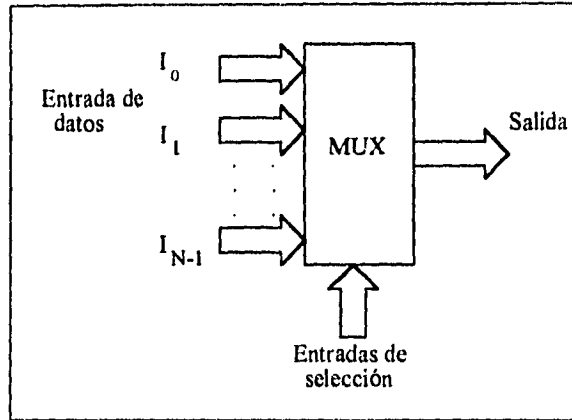


Figura 3.43 Diagrama funcional de un multiplexor.

Un demultiplexor ejecuta la operación inversa a un multiplexor, es decir, toma una sola entrada y la manda a la salida elegida, la cual depende del código digital de control que se aplique a su entrada de selección. (ver figura 3.44.)

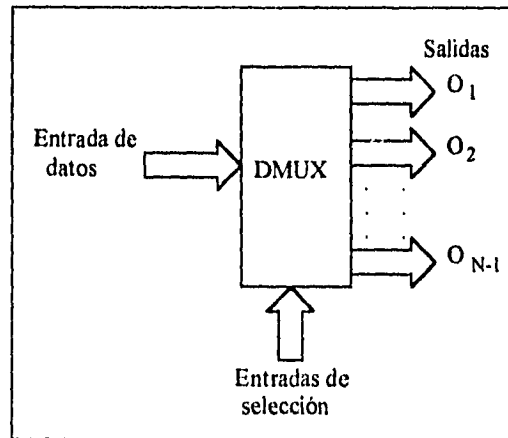


Figura 3.44. Diagrama funcional de un demultiplexor..

En la figura 3.45 se muestra el diagrama operativo de esta alternativa.

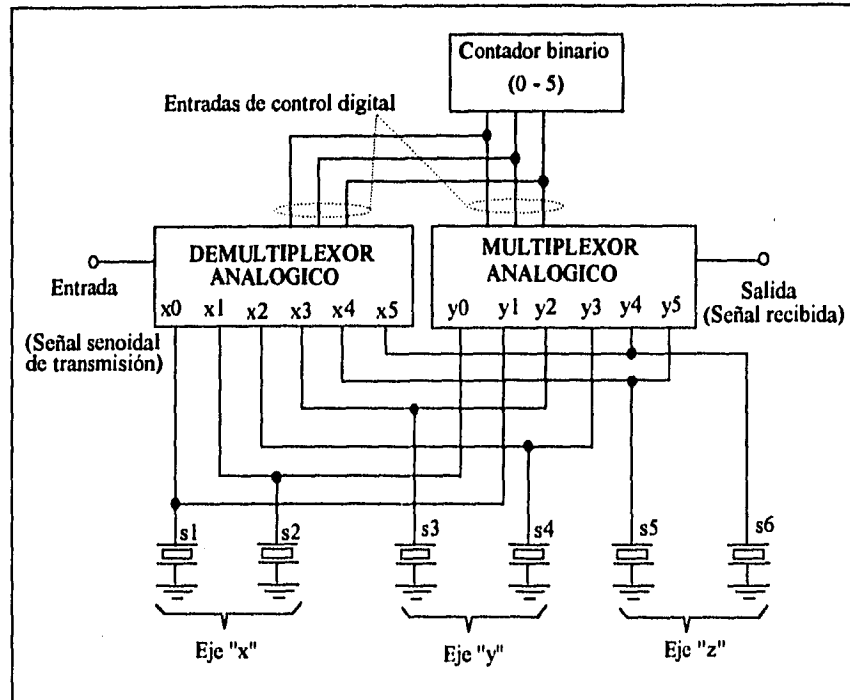


Figura 3.45 Alternativa 2 para controlador.

En la tabla 3.11 se explica su funcionamiento

Palabra de control	Interruptor activado		Función del transductor		Dirección (eje)	Sentido
	Demux	Mux	Transmisor	Receptor		
000	X0	Y0	S1	S2	x	Ida
001	X1	Y1	S2	S1	x	Regreso
010	X2	Y2	S3	S4	y	Ida
011	X3	Y4	S4	S3	y	Regreso
100	X4	Y4	S5	S6	z	Ida
101	X5	Y5	S6	S5	z	Regreso

Tabla 3.11. Funcionamiento del sistema.

Esta alternativa presenta amplias ventajas con respecto a la primera, en cuanto a número de componentes, simplificación de diseño y ahorro de corriente, pues con un solo circuito se tienen controlados los tres ejes y las tres direcciones.

3.2.1 Diseño del controlador.

Dentro del mercado existe un variedad de multiplexores/demultiplexores de varios canales de entrada (8,4,2, etc.) por uno de salida. El multiplexor utilizado es de tecnología CMOS: el MC14097, el cual cuenta con dos multiplexores/demultiplexores de 8*1 en un solo integrado, por lo que con uno de estos elementos se puede armar todo el circuito multiplexor/demultiplexor.

La tabla de verdad del multiplexor/demultiplexor está contenida en la tabla 3.11.

Como se mencionó el circuito controlador de la etapa será un contador binario MM74C93 de National semiconductor, el cual es programable y puede ser borrado a partir de cualquier estado en que se encuentre para volver a iniciar la cuenta.

La señal de reloj para este contador proviene de la etapa de recepción y es la que va a dar la condición para realizar el cambio de eje ó de transductor.

Como se van a manejar 3 ejes y cada eje tiene que realizar un cambio de sentido, necesitamos 6 estados para el funcionamiento (cuenta de 0 a 5), ver. tabla 3.12.

La tabla de funciones de borrado "Reset" y cuenta del contador es :

Entradas de "Reset"		Salida			
Ro1	Ro2	QD	QC	QB	QA
H	H	L	L	L	L
L	X	Cuenta	Cuenta	Cuenta	Cuenta
X	L	Cuenta	Cuenta	Cuenta	Cuenta

Tabla 3.12 Funciones de borrado del contador 74C93

Así pues, para que cuando el contador llegue a la cuenta de 6 (110 en binario) se borre automáticamente, bastará con conectar las salidas QB y QC a las entradas R01 y R02 respectivamente. De ese modo se obtiene la cuenta deseada (de 0 a 5).

En el diagrama de tiempos (figura 3.46), se muestra la secuencia que sigue la etapa controladora.

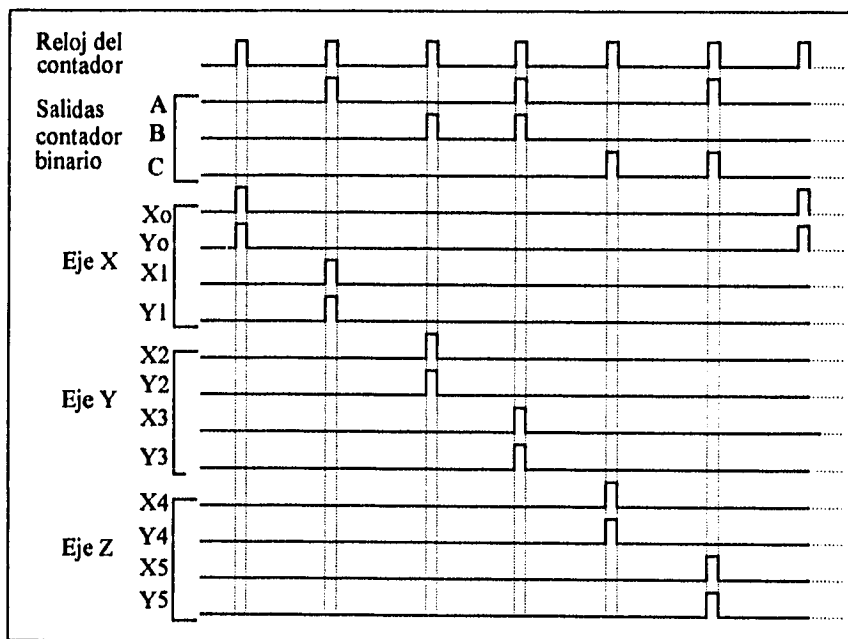


Figura 3.46. Diagrama de tiempos de la etapa controladora.

El diagrama eléctrico completo de esta etapa se muestra en la página siguiente (diagrama 6).

MULTIPLEXOR ANALOGICO PARA TRES EJES
ETAPA CONTROLADORA

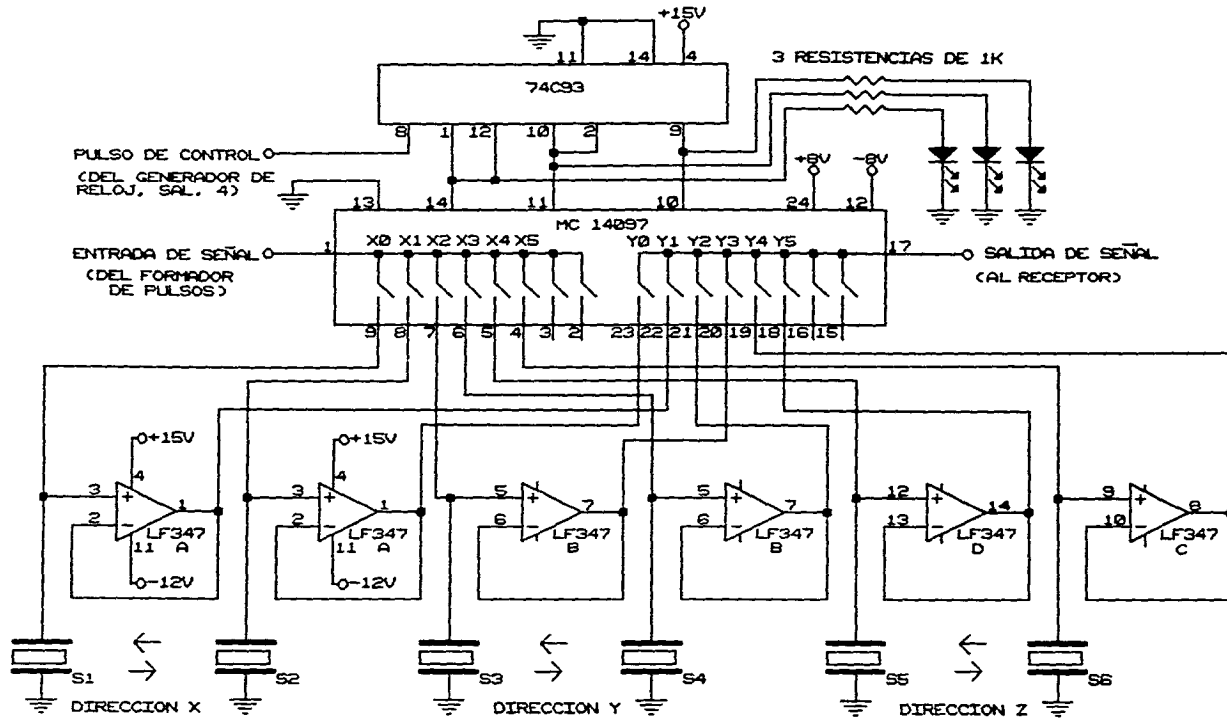


DIAGRAMA 6.

3.4. PROCESAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE DATOS.

La función de esta etapa concluye el trabajo de las anteriores, calculando la velocidad del viento ocupando el método elegido en el subtema 2.1.

En el se refiere que ésta se obtendrá a partir de la diferencia de los inversos de los tiempos de recorrido de la onda sónica relacionándolos de la siguiente manera:

$$\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1} = \frac{2W}{d} \quad \text{ecuación 1}$$

Estos tiempos fueron tomados en la etapa del cronómetro (subtema 3.3) y ahora llega el momento de relacionarlos para obtener la velocidad del viento.

El primer paso será tomar los datos que vayan siendo registrados por el contador del cronómetro (subtema 3.2). Una vez concluido el período de muestreo, los datos serán guardados en un sistema de almacenamiento para que posteriormente se realicen los cálculos antes mencionados.

En el siguiente diagrama a bloques se muestra la secuencia que seguirá esta etapa. (figura 3.47)

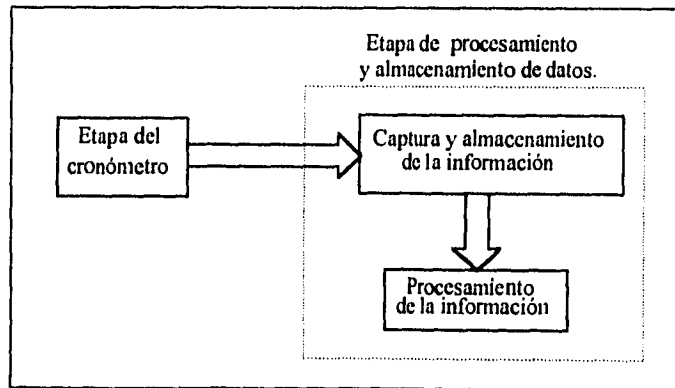


Figura 3.47 Diagrama a bloques del funcionamiento de la etapa.

3.4.1 Captura de los datos.

Para llevar a cabo la captura de los datos, existen varias alternativas en sistemas de adquisición de datos: en cassette, módulos de memoria RAM, conocidos como "RAM pack", sistemas mínimos, tarjetas adquirentes que se conectan a una P.C. etc.

A continuación se presenta un breve análisis de las mismas.(tabla 3.13)

Opciones para la captura y almacenamiento de datos.

Opciones de captura.	Características.
Cassette.	Un tanto obsoletos hoy en día por los problemas inherentes al sistema de grabación.
Captador de datos con paquete de memoria RAM "Data logger con Ram pack".	Ideales para periodos largos de captura en campo. Gran capacidad de almacenamiento. Muy usados en estaciones meteorológicas automáticas.
Sistemas mínimos.	Ideal para pruebas de laboratorio y puede ser complementado con memorias "Ram Pack" para usarse en campo
P.C. (con tarjeta adquirenta).	Adecuado para pruebas de laboratorio y para trabajo en campo. Presenta la desventaja de que la computadora se vuelve esclava del sistema.

Tabla 3.13 Opciones para la captura y almacenamiento de los datos.

Para este proyecto se usó un sistema mínimo para pruebas en laboratorio y la P.C. para el sistema definitivo .

El sistema mínimo para las pruebas en laboratorio se encuentra basado en un microprocesador 8086 el cual captura los datos de la etapa del cronómetro (subtema 3.2) por medio de un puerto paralelo (8255) para almacenarlos en su memoria "RAM" y desplegarlos por medio de los indicadores numéricos contenidos en este sistema.

Para el sistema definitivo se utiliza una tarjeta adquirenta de datos la cual sirve de interfase entre la etapa del cronómetro (subtema 3.2) y la computadora P.C, ésta almacenará y procesará los datos capturados.

Las características de la tarjeta utilizada son las siguientes:

Marca: Advantech (Industrial and Lab. Automation with P.C.) Modelo: PCL- 720.

Descripción:

- Entradas y salidas digitales con contadores integrados.
- 32 entradas/salidas digitales TTL. (dos puertos paralelo de 16 bits c/u).
- Un contador programable (INTEL 8253), el cual proporciona un contador de 16 bits por canal.

Aplicaciones:

- Entradas digitales:
- Interfase de recepción de datos BCD
- Interfase de señales digitales.
- Monitoreo de interruptores de control.

3.4.2 Procesamiento de los datos.

Primera fase

Para capturar y llevar a cabo la primera fase del procesamiento de los datos se desarrolló un programa en lenguaje ensamblador con el paquete "Macroensamblador de Microsoft, versión 4.0. el cual creará un archivo en donde se almacenarán los datos.

El programa se encargará de traer los datos guardados momentaneamente por las memorias temporales de la etapa del cronómetro a la P.C. de la siguiente manera.

Al iniciar la adquisición se tendrán presentes en la memoria temporal un total de 24 bits, 20 correspondientes al dato y 4 a la palabra de control (tabla 3.14)

Palabra de control	D A T O				
	decenas de millar	unidades de millar	centenas	decenas	unidades
PTO 2A3H	PTO 2A2H	PTO 2A1H	PTO 2A0H	PTO 2A0H	PTO 2A0H
D 27-D24	D19-D16	D15-D12	D11-D8	D7-D4	D3-D0

Tabla 3.14 Orden asignado a los puertos para la adquisición del dato.

Como se vió en la etapa controladora (subtema 3.3) la medición se realizará en forma secuencial como se puede ver en la tabla 3.11. Dicha secuencia (dada por el contador mencionado) será parte de la palabra de control utilizada para que el programa sepa de que dato se trata (sentido y dirección). La palabra de control estará formada en total por cuatro bits, los tres indicados y uno más (el bit más significativo) que indicará si el dato correspondiente está presente o no. Dicho bit es tomado del monoestable de la etapa del cronómetro que da la orden de reinicio de cuenta.

Por ejemplo:

La palabra de control 1001 indicará que se trata de

Dirección: eje x.

Sentido : regreso.

Cuando el bit más significativo se encuentre en 1 (como es el caso), esto indicará que el dato está presente.

Aunque la tarjeta utilizada posee un puerto de 32 bits, su canal de datos está limitado a 8 bits, por lo que sólo será capaz de tomar la información en bloques de de 8 bits en el siguiente orden (tabla 3.15):

Orden seguido	Identificación
1	Palabra de control.
2	Decenas de millar
3	Unidades de millar y centenas
4	Decenas y unidades

Tabla 3.15 Orden seguido para la adquisición de un dato.

Una vez terminada la adquisición del dato, agregará una coma para separarlo del próximo.

Por otra parte el programa grabará la hora de inicio y terminación de la adquisición (el programa pregunta la hora de terminación al inicio del programa).

A continuación se presenta el diagrama de flujo del programa principal y de las subrutinas.

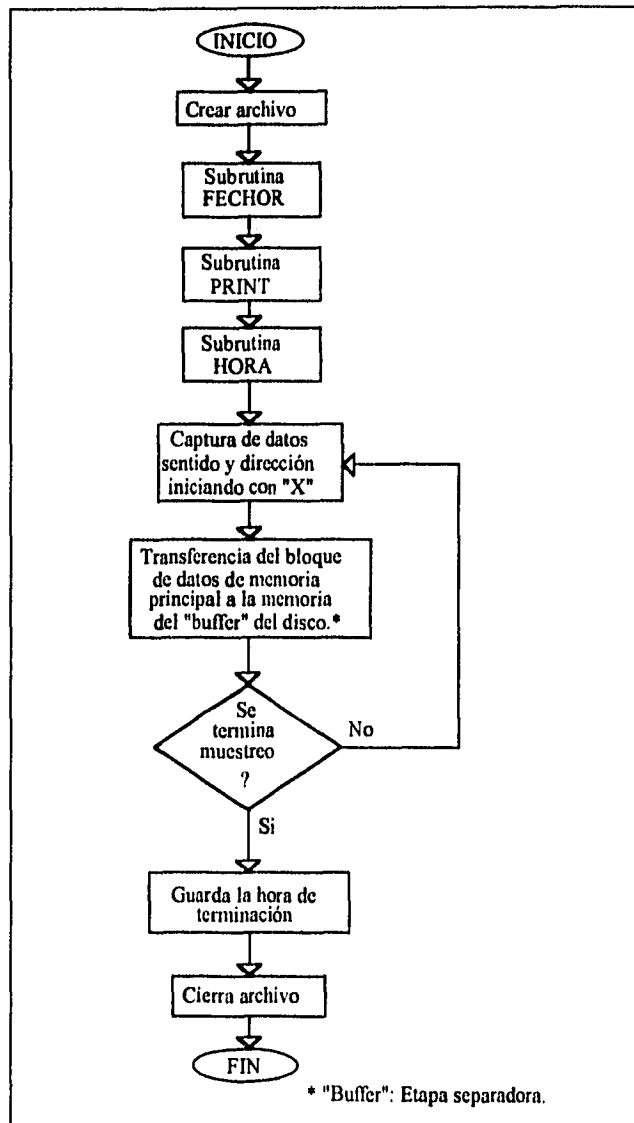
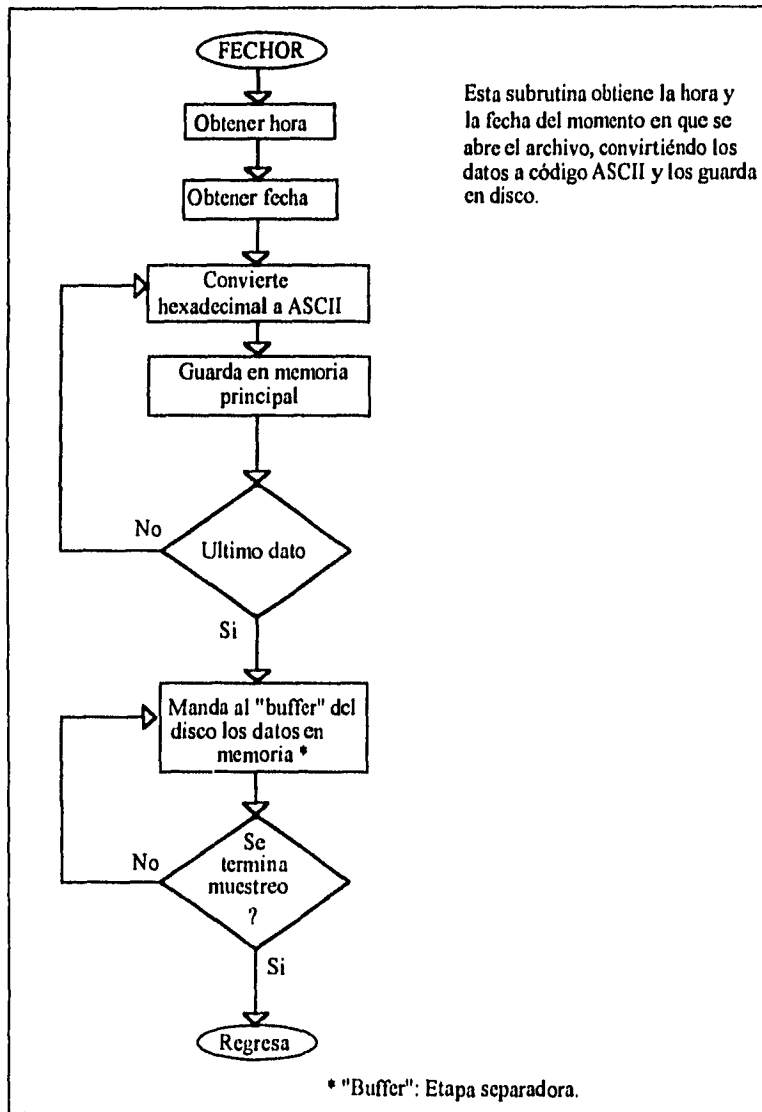
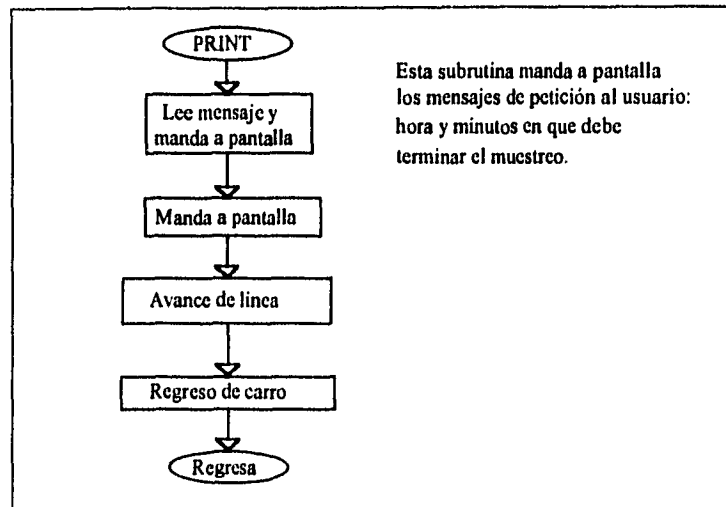


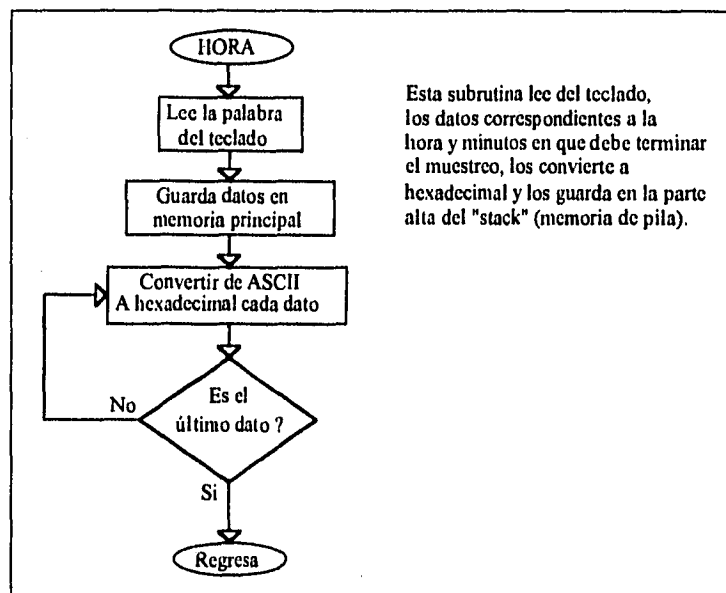
Diagrama de flujo del programa principal.



Subrutina 1 ("FECHOR").



Subrutina 2 ("PRINT").



Subrutina 3 ("HORA").

A continuación se presenta el listado del programa:

Macro Assembler Version 4.0 09-14-95 10:33:32 Page 1
 SONICO.ASM
 SONICO -CAPTURA LECTURAS PROVENIENTES DEL ANEMOMETRO SONICO

```

1          ;
2          ;
3 0000          STACK SEGMENT PARA STACK 'PILA'
4 0000 40*(50 49 4C 41) DB 64 DUP('PILA') ;RESERVA ESPACIO PARA EL
                                           SEGMENTO DEL STACK

5 0100          STACK ENDS
6          ;
7 0000          DATO SEGMENT PARA PUBLIC 'DATA'
8          LLEN EQU 1 ;NO DE BYTES A GRABAR/CICLO
9 0000 - 0001 DDTA DB LLEN DUP(' ') ;DTA
10         FCBLB LABEL BYTE ;BLOQUE FCB
11 0001 01 DRIVE DB 1 ;# DRIVE (1-A)
12 0002 01*(50 52 55 45 42 41+ NNAME DB 1 DUP('PRUEBAS DAT');NOMBRE Y EXT
13         53 20 44 41 54)
14 000D 0000 BBLOCK DW 0 ;BLOQUE 0
15 000F ????? RECSZ DW ? ;TAM.REGISTRO
16 0011 ???????? FILESZ DD ? ;TAM.ARCHIVO
17 0015 ????? DDATE DW ? ;FECHA
18 0017 ?????????????????????? RESERV DT ? ;RESERVADO
19 0021 00 RECDE1 DB 0 ;REG.ACTUAL
20 0022 ???????? RECDE2 DO ? ;REG.RELATIVO
21 0026 48 4F 52 41 20 59 20 + MES01 DB 'HORA Y MINUTOS DE TERMINACION (TERMINAR CON
                                           ENTER)

22         40 49 4E 55 54 4F 53 +
23         20 44 45 20 54 45 52 +
24         40 49 4E 41 43 49 4F +
25         4E 20 28 54 45 52 40 +
26         49 4E 41 52 20 43 4F +
27         4E 20 45 4E 54 45 52 +
28         29
29 0058 24 DB '$'
30 0059 48 4F 52 41 28 30 30 + MES02 DB 'HORA(00-23):','$'
31         20 32 33 29 3A 24
32 0066 40 49 4E 55 54 4F 53 + MES03 DB 'MINUTOS:','$'
33         3A 24
34 006F 04 BUFFMX DB 04 ;NO. MAXIMO DE BYTES VIA
                                           TECLADO
35 0070 ?? BUFFLN DB ? ;LONGITUD DE LA CADENA DE
                                           ENTRADA
36 0071 04*(20) 24 CHAR DB 04 DUP(' ','$') ;CONTENIDO DE LA CADENA
37 0076 ????? BASE DW ? ;VALOR BASE LLAMADO PARA
                                           CONVERSION ASCII-
                                           HEXADECIMAL

38 0078          DATO ENDS
39          ;
40 0000          CSEG SEGMENT PARA PUBLIC 'CODE'
41 0000          FILECR PROC FAR
42                ASSUME CS:CSEG,OS:DATO,SS:STACK
43 0000 1E PUSH DS ;ASEGURA REGRESO
44 0001 2B CO SUB AX,AX ;A DOS
45 0003 50 PUSH AX
46          ;
47 0004 B8 0000s MOV AX,SEG DATO ;ABRIR
48 0007 8E 08 MOV OS,AX ;ARCHIVO
49 0009 B4 16 MOV AH,16H
50 000B 8D 16 0001r LEA DX,FCBLB
51 000F CO 21 INT 21H

```



```

52                                     ;
53 0011 88 0001                       MOV AX,LLEN           ;DEFINE TAMAÑO
54 0014 A3 000Fr                       MOV RECSZ,AX         ;DE REGISTRO
55 0017 8D 16 0000r                     LEA DX,DDTA
56 0018 B4 1A                           MOV AH,1AH
57 001D CD 21                           INT 21H
58                                     ;
59 001F E8 0172                       CALL FECHOR          ;GUARDAR FECHA Y HORA DE
                                                INICIO
60                                     ;
61 0022 B4 06                           MOV AH,06H          ;LIMPIAR PANTALLA
62 0024 80 00                           MOV AL,00H
63 0026 B9 0000                       MOV CX,00H
64 0029 86 17                           MOV DH,23
65 002B B2 4F                           MOV DL,79
66 002D B7 07                           MOV BH,07H
67 002F CD 10                           INT 10H
68 0031 B4 02                           MOV AH,2             ;AVANCE DE LINEA EN PANTALLA
69 0033 B2 DA                           MOV DL,DAH
70 0035 CD 21                           INT 21H
71 0037 B4 02                           MOV AH,2             ;RETORNO DE CARRO EN PANTALLA
72 0039 B2 OD                           MOV DL,ODH
73 003B CD 21                           INT 21H
74                                     ;
75 003D 8D 16 0026r                     LEA DX,MES01        ;IMPRIME MENSAJE 1 EN
                                                PANTALLA
76 0041 E8 0100                       CALL PRINT
77 0044 8D 16 0059r                     LEA DX,MES02        ;PREGUNTA HORA DE
                                                TERMINACION
78 0048 E8 00F9                       CALL PRINT
79 004B E8 0107                       CALL HORA            ;GUARDA HORA
80 004E BE 0301                       MOV SI,0301H
81 0051 88 1C                           MOV [SI],BL
82 0053 8D 16 0066r                     LEA DX,MES03        ;PREGUNTA MINUTOS
83 0057 E8 00EA                       CALL PRINT
84 005A E8 00F8                       CALL HORA            ;GUARDA MINUTOS
85 005D BE 0300                       MOV SI,0300H
86 0060 88 1C                           MOV [SI],BL
87 0062 8B 04                           MOV AX,[SI]
88                                     ;
89 0064 50                               START: PUSH AX       ;GUARDAR HH/MM EN STACK
90 0065 BE 0200                       MOV SI,0200H
91 0068 B3 08                           WWW: MOV BL,08H     ;ASEGURA INICIO CON EJE X IDA
92 006A 88 0000                       MOV AX,00H
93 006D BA 02A3                       INICIO: MOV DX,02A3H ;CHECAR EJE CORRESPONDIENTE
94 0070 EC                               GO: IN AL,DX
95 0071 24 0F                           AND AL,0FH
96 0073 3A C3                           CMP AL,BL
97 0075 75 F9                           JNZ GO
98 0077 BA 02A2                       MOV DX,02A2H
99 007A EC                               SIGUE: IN AL,DX     ;CAPTURA PAR DE DIGITOS
100 007B 8A E0                          MOV AH,AL
101 007D B1 04                          MOV CL,04H
102 007F D2 EC                          SHR AH,CL

```

SONICO -CAPTURA LECTURAS PROVENIENTES

```

103 0081 24 0F          AND AL,0FH
104 0083 80 C4 30      ADD AH,030H
105 0086 04 30          ADD AL,030H
106 0088 88 24          MOV [SI],AH          ;GUARDA DIGITO
107 008A 46             INC SI
108 008B 88 04          MOV [SI],AL
109 008D 46             INC SI
110 008E FE CA          DEC DL
111 0090 80 FA 9F      CMP DL,09FH          ;VERIFICAR SI SE TIENE
112 0093 75 E5          JNZ SIGUE             ;EL DATO COMPLETO
113 0095 FE C3          INC BL
114 0097 80 FB 0E      CMP BL,0EH           ;VER SI ES EL ULTIMO EJE
115 009A 79 07          JNS SALTA
116 009C B0 2C          MOV AL,2CH           ;AÑADIR COMA AL FINAL DEL
                                DATO
117 009E 88 04          MOV [SI],AL
118 00A0 46             INC SI
119 00A1 EB CA          JMP INICIO
120 00A3 B0 0D          MOV AL,0DH           ;AÑADIR RETORNO DE CARRO AL
                                FINAL DE LA MUESTRA
121 00A5 88 04          MOV [SI],AL
122 00A7 46             INC SI
123 00A8 81 FE 22D0     CMP SI,022D0H        ;COMPARA BLOQUE ACTUAL CON
124 00AC 75 BA          JNZ WWW              ;EL PROGRAMADO (BLOQUE DE
                                200 MUESTRAS)
125 00AE BF 0200        MOV DI,0200H
126 00B1 BE 0000        MOV SI,00H
127 00B4 8A 05          MOV AL,[DI]          ;GUARDAR BLOQUE DE MUESTRAS
128 00B6 88 84 0000r   MOV DDIA[SI],AL      ;EN EL BUFFER DEL DISCO
129 00BA B4 15          MOV AH,15H
130 00BC 8D 16 0001r   LEA DX,FCBLB
131 00C0 CD 21          INT 21H
132 00C2 47             INC DI
133 00C3 81 FF 22D0     CMP DI,022D0H
134 00C7 75 EB          JNZ VALOR
135
136 00C9 B4 2C          ; MOV AH,02CH
137 00CB CD 21          INT 21H              ;MONITOREA HDRA (CH=HH,CL=MM)
138 00CD 5B             POP AX
139 00CE 3B C8          CMP CX,AX            ;COMPARA HORA ACTUAL CON LA
                                PROGRAMADA
140 00D0 78 92          JS START
141
142 00D2 BE 0600        ; MOV SI,0600H
143 00D5 B4 2C          MOV AH,02CH          ;GUARDAR HORA DE TERMINACION
144 00D7 CD 21          INT 21H
145 00D9 88 2C          MOV [SI],CH          ;HH
146 00DB 46             INC SI
147 00DC 88 0C          MOV [SI],CL          ;MM
148 00DE 46             INC SI
149 00DF 88 34          MOV [SI],DH          ;S5
150 00E1 46             INC SI
151 00E2 88 14          MOV [SI],DL          ;CCSS
152 00E4 BE 0603        MOV SI,0603H
153 00E7 BF 0500        MOV DI,0500H

```

SONICO.ASM

SONICO -CAPTURA LECTURAS PROVENIENTES

```

154 00EA B0 0D          MOV AL,0DH          ;RETURN
155 00EC 88 05          MOV [DI],AL
156 00EE 47             INC DI
157 00EF B8 0000        DO6:  MOV AX,00H          ;CONVERTIR HEXADECIMAL-ASCII
158 00F2 8A 04          MOV AL,[SI]
159 00F4 B8 0000        MOV BX,00H
160 00F7 B9 000A        MOV CX,10
161 00FA 3C 0A          DO7:  CMP AL,10
162 00FC 72 0D          JB EXITS
163 00FE 8A 0000        MOV DX,00H
164 0101 F7 F1          DIV CX
165 0103 80 C2 30        ADD DL,30H
166 0106 88 15          MOV [DI],DL
167 0108 47             INC DI
168 0109 EB EF          JMP DO7
169 010B 04 30          EXITS: ADD AL,30H
170 010D 88 05          MOV [DI],AL
171 010F 47             INC DI
172 0110 81 FE 0600      CMP SI,0600H
173 0114 74 05          JZ AAA
174 0116 B0 3A          MOV AL,3AH          ;AGREGA ":"
175 0118 88 05          MOV [DI],AL
176 011A 47             INC DI
177 011B 4E             AAA:  DEC SI
178 011C 81 FE 05FF      CMP SI,05FFH
179 0120 75 CD          JNZ DO6
180 0122 4F             DEC DI
181 0123 BE 0000        MOV SI,00H
182 0126 8A 05          ETIQ9: MOV AL,[DI]
183 0128 88 84 0000r    MOV DTA[SI],AL
184 012C 84 15          MOV AH,15H
185 012E 80 16 0001r    LEA DX,FCBLB
186 0132 CD 21          INT 21H
187 0134 4F             DEC DI
188 0135 81 FF 04FF      CMP DI,04FFH
189 0139 75 EB          JNZ ETIQ9
190                      ;
191 013B 84 10          MOV AH,10H          ;CIERRA ARCHIVO
192 013D 80 16 0001r    LEA DX,FCBLB
193 0141 CD 21          INT 21H
194 0143 C8             RET
195 0144                FILECR ENOP
196                      ;
197                      ;
198                      ;
199 0144                PRINT PROC NEAR      ;SUBROUTINA PRINT
200 0144 B4 09          MOV AH,9
201 0146 CD 21          INT 21H            ;MANDA MENSAJE A PANTALLA
202 0148 B4 02          MOV AH,2
203 014A B2 0A          MOV DL,0AH
204 014C CD 21          INT 21H            ;AVANCE DE LINEA

```

SONICO.ASM

SONICO -CAPTURA LECTURAS PROVENIENTES

```

205 014E B4 02          MOV AH,2
206 0150 B2 0D          MOV DL,0DH
207 0152 CD 21          INT 21H          ;RETORNO DE CARRO
208 0154 C3             RET
209 0155                PRINT ENDP
210                    ;
211 0155                HORA  PROC   NEAR          ;FIN DE LA SUBROUTINA
212 0155 8D 16 006Fr    LEA DX,BUFFMX   ;SUBROUTINA HORA
213 0159 B4 0A          MOV AH,10       ;LEER DATO DEL TECLADO
214 015B CD 21          INT 21H
215 015D BE 0200        MOV SI,0200H
216 0160 BF 0071r      MOV DI,OFFSET CHAR
217 0163 8A 05          MOV AL,[DI]
218 0165 88 04          MOV [SI],AL
219 0167 46             INC SI
220 0168 8A 45 01        MOV AL,[DI+1]
221 016B 88 04          MOV [SI],AL
222 016D BB 0000        MOV BX,00H
223 0170 B8 0001        MOV AX,1
224 0173 A3 0076r      MOV BASE,AX
225 0176 B9 000A        MOV CX,10
226 0179 8A 04          IR1:  MOV AL,[SI]          ;CONVERTIR ASCII A
                                          ;HEXADECIMAL
227 017B 25 000F        AND AX,000FH
228 017E F7 26 0076r   MUL BASE
229 0182 03 D8          ADD BX,AX
230 0184 A1 0076r      MOV AX,BASE
231 0187 F7 E1          MUL CX
232 0189 A3 0076r      MOV BASE,AX
233 018C 4E             DEC SI
234 018D 81 FE 01FF    CMP SI,01FFH
235 0191 75 E6          JNZ IR1
236 0193 C3             RET
237 0194                HORA  ENDP
238                    ;
239 0194                FECHOR PROC   NEAR          ;SUBROUTINA FECHOR
240 0194 BE 0600        MOV SI,0600H
241 0197 B4 2C          MOV AH,02CH     ;OBTENER HORA
242 0199 CD 21          INT 21H
243 019B 88 2C          MOV [SI],CH     ;HH
244 019D 46             INC SI
245 019E 88 0C          MOV [SI],CL     ;MM
246 01A0 46             INC SI
247 01A1 88 34          MOV [SI],DH     ;SS
248 01A3 46             INC SI
249 01A4 88 14          MOV [SI],DL     ;CCSS
250 01A6 46             INC SI
251 01A7 B4 2A          MOV AH,02AH     ;OBTENER FECHA
252 01A9 CD 21          INT 21H
253 01AB 88 14          MOV [SI],DL     ;DIA
254 01AD 46             INC SI
255 01AE 88 34          MOV [SI],DH     ;MES

```

```

256 0180 46          INC SI
257 0181 89 0C      MOV [SI],CX      ;AÑO
258 0183 BE 0606    MOV SI,0606H
259 0186 BF 0500    MOV DI,0500H
260 0189 80 0D      MOV AL,0DH      ;RETORNO DE CARRO
261 018B 88 05      MOV [DI],AL
262 018D 47          INC DI
263 018E 88 04      MOV AX,[SI]
264 01C0 EB 06 90    JMP DO1
265 01C3 88 0000    D03: MOV AX,00H      ;CONVERSION HEX-ASCII
266 01C6 8A 04      MOV AL,[SI]
267 01C8 8B 0000    D01: MOV BX,00H
268 01CB 89 000A    MOV CX,10
269 01CE 3C 0A      D02: CMP AL,10
270 01D0 72 0D      JB EXIT1
271 01D2 BA 0000    MOV DX,00H
272 01D5 F7 F1      DIV CX
273 01D7 80 C2 30    ADD DL,30H
274 01DA 8B 15      MOV [DI],DL
275 01DC 47          INC DI
276 01DD EB EF      JMP DO2
277 01DF 04 30      EXIT1: ADD AL,30H
278 01E1 8B 05      MOV [DI],AL
279 01E3 47          INC DI
280 01E4 81 FE 0605  CMP SI,0605H
281 01E8 78 05      JS XXX
282 01EA 80 2F      MOV AL,2FH      ;AGREGA "/"
283 01EC 88 05      MOV [DI],AL
284 01EE 47          INC DI
285 01EF 81 FE 0604  XXX:  CMP SI,0604H
286 01F3 75 05      JNZ YYY
287 01F5 80 0D      MOV AL,0DH      ;AGREGA RETORNO OE CARRO
288 01F7 88 05      MOV [DI],AL
289 01F9 47          INC DI
290 01FA 81 FE 060D  YYY:  CMP SI,060DH
291 01FE 74 08      JZ ZZZ
292 0200 81 FE 0604  CMP SI,0604H
293 0204 79 05      JNS ZZZ
294 0206 80 3A      MOV AL,3AH      ;AGREGA ":"
295 0208 88 05      MOV [DI],AL
296 020A 47          INC DI
297 020B 4E          ZZZ:  OEC SI
298 020C 81 FE 05FF  CMP SI,05FFH
299 0210 75 B1      JNZ DO3
300 0212 4F          DEC DI
301 0213 BE 0000    MOV SI,00H
302 0216 8A 05      ETIQ2: MOV AL,[DI]      ;MANDA DATOS AL BUFFER DEL
                                           DISCO
303 0218 88 84 0000r MOV DDTA[SI],AL
304 021C 84 15      MOV AH,15H
305 021E 8D 16 0001r LEA DX,FCBLB
306 0222 CD 21      INT 21H

```

SONICO.ASM

SONICO -CAPTURA LECTURAS PROVENIENTES

```

307 0224 4F          DEC DI
308 0225 81 FF 04FF  CMP DI,04FFH
309 0229 75 EB      JNZ ETIQ2
310 022B C3        RET
311 022C          FECHOR ENDP
312              ;
313 022C          CSEG ENDS
314              END FILECR

```

A continuación se presenta una corrida del programa

HORA Y MINUTOS DE TERMINACION (TERMINAR CON ENTER)

HORA (00:23):

14

MINUTOS:

20

A>

Una vez concluida la corrida del programa, se genera un archivo de datos llamado "pruebas.dat", el cual se visualiza con el siguiente formato:

+----- PRUEBAS.DAT

```

9:59:39:49,,,,,
15/9/1995,,,,,
14673,14670,13344,13349,10765,10762
14673,14671,13343,13348,10765,10762
14673,14671,13343,13348,10765,10762
14673,14671,13343,13348,10765,10763
14672,14672,13344,13349,10764,10763
14672,14672,13344,13349,10764,10762
14673,14671,13343,13348,10765,10763
14673,14672,13343,13348,10765,10762
14673,14671,13343,13348,10765,10762
14672,14672,13343,13349,10766,10762
14673,14671,13343,13348,10765,10762
14673,14671,13343,13348,10765,10762

```

```

. . . . .
: : : : :
. . . . .

```

```

14627,14629,13305,13398,10733,10731
14628,14629,13304,13398,10734,10731
14628,14629,13304,13398,10733,10731
14628,14628,13304,13398,10733,10731
14628,14628,13304,13397,10733,10731
10:0:40:2,,,,,

```

2a Fase

El archivo generado se introducirá en una hoja de cálculo como Lotus, Excel, etc.. para convertir las cuentas generadas en tiempos, mediante los cuales se calculará la velocidad del viento para cada eje. La hoja de cálculo utilizada será "Excel".

En el diagrama de flujo (figura 3.52) se muestra el proceso .

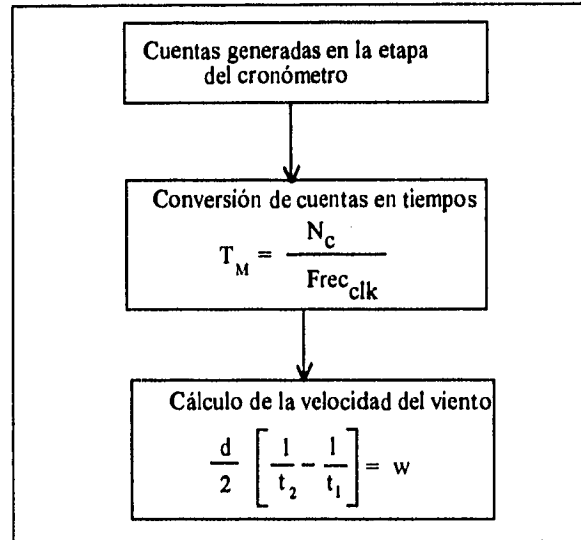


Figura 3.52 Diagrama de flujo del proceso de cálculo de la velocidad del viento.

La relación del tiempo con la cuenta generada se obtendrá de la siguiente fórmula:

$$T_M = \frac{N_c}{Frec_{CLK}}$$

Donde:

N_c Cuenta generada por el contador {adimensional}

$Frec_{CLK}$ Es la frecuencia del reloj del contador {Hz}

$T_M (t_1 \text{ y } t_2)$ Tiempo de duración del pulso de medición {Segundos}.

Finalmente la velocidad del tiempo para cada eje se obtendrá de la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1} = \frac{2W}{d} \quad \text{ecuación 1}$$

Ejemplo:

Tomando solo el eje x. Cuenta generada (Ida): 4754, Cuenta generada (Regreso): 4781. a una frecuencia de 20 MHz y con una distancia entre transductores de 20 cm.

$$T_M = \frac{Nc}{Frec_{CLK}}$$

$$t_1 = 239.05 \text{ microsegundos.}$$

$$t_2 = 237.7 \text{ microsegundos.}$$

sustituyendo en la ecuación 1

$$w = 2.37 \text{ m/s}$$

A continuación se presenta una tabla generada en Excel

Cabe aclarar que la velocidad presentada es similar a la que entregaría un anemómetro de copas, de hilo caliente, etc.

CUENTA GENERADA						
Eje	X	X	Y	Y	Z	Z
Hora	I	R	I	R	I	R
10:40:54:15	12846	13072	13009	12906	12896	12967
11:10:54:15	12938	13083	12918	12909	12906	12977
11:40:54:15	12933	13003	12918	12901	12904	12967
12:10:54:15	12945	13003	12917	12905	12896	13060
12:40:54:15	12931	13081	12899	12894	12899	12972
13:10:54:15	12927	12992	12924	12904	12889	13058
13:40:54:15	12947	13090	13009	12821	12891	13058
14:10:54:15	12839	13005	13015	12898	12902	12974
14:40:54:15	13033	13001	12933	12899	12894	13058
15:10:54:15	12846	13004	12911	12905	12907	13055
15:40:54:15	12951	12997	12916	12902	12905	12971
16:10:54:15	12940	13099	13007	12901	12990	13060
16:40:54:15	12942	13008	12912	12904	12899	12976
17:10:54:15	12837	12998	13015	12897	12906	13055
17:40:54:15	12947	12996	12911	12901	12903	13068
18:10:54:15	12925	13013	12917	12907	12903	13065
18:40:54:15	12937	13012	12919	12910	12891	12966
19:10:54:15	12937	13087	12920	12903	12915	13055
19:40:54:15	12936	13011	12902	12900	12896	12972
20:10:54:15	12951	12991	13022	12888	12901	12971
20:40:54:15	12932	12994	13016	12906	12901	12974
TIEMPOS OBTENIDOS						Velocidad
t1(X)	t2(X)	t1(Y)	t2(Y)	t1(Z)	t2(Z)	W
I	R	I	R	I	R	m/s
0.0006424	0.000654	0.00065	0.000645	0.000645	0.000646	2.936131
0.0006469	0.000654	0.000646	0.000645	0.000645	0.000649	1.7153173
0.0006467	0.00065	0.000646	0.000645	0.000645	0.000648	0.8517475
0.0006473	0.00065	0.000646	0.000645	0.000645	0.000653	0.7040269
0.0006466	0.000654	0.000645	0.000645	0.000645	0.000649	1.7745883
0.0006464	0.00065	0.000646	0.000645	0.000644	0.000653	0.6103596
0.0006474	0.000655	0.00065	0.000641	0.000645	0.000653	2.8160154
0.000642	0.00065	0.000651	0.000645	0.000645	0.000649	2.426316
0.0006517	0.00065	0.000647	0.000645	0.000645	0.000653	0.5557137
0.0006424	0.00065	0.000646	0.000645	0.000645	0.000653	1.8686086
0.0006476	0.00065	0.000646	0.000645	0.000645	0.000649	0.5718085
0.000647	0.000655	0.00065	0.000645	0.00065	0.000653	2.2818288
0.0006471	0.00065	0.000646	0.000645	0.000645	0.000649	0.7899415
0.0006419	0.00065	0.000651	0.000645	0.000645	0.000653	2.3876699
0.0006474	0.00065	0.000646	0.000645	0.000645	0.000653	0.5948829
0.0006463	0.000651	0.000646	0.000645	0.000645	0.000653	1.0532706
0.0006469	0.000651	0.000646	0.000646	0.000645	0.000646	0.6975856
0.0006469	0.000654	0.000646	0.000645	0.000646	0.000653	1.783633
0.0006466	0.000651	0.000645	0.000645	0.000645	0.000649	0.6915351
0.0006476	0.00065	0.000651	0.000644	0.000645	0.000649	1.6661666
0.0006466	0.00065	0.000651	0.000645	0.000645	0.000649	1.5032314

Tabla creada por "Excel" a partir del archivo generado en la captura de datos.

3.5 MODULO EXTERNO.

En este subtema se presentan las características y dimensiones físicas del instrumento, así como el arreglo y alineación de los transductores.

Estas se presentan en una serie de figuras de acuerdo con los siguientes puntos:

Característica	Figura
Arreglo de los transductores y posición de los ejes.	3.53 y 3.54
Alineación de los transductores	3.54 y 3.55
Distancia entre los transductores	3.54
Montaje del transductor	3.55
Dimensiones	3.54 y 3.55
Estructura general	3.53
Material: aluminio anodizado	

Es importante mencionar aquí, que la alineación de los transductores se realiza con un detector de posición.

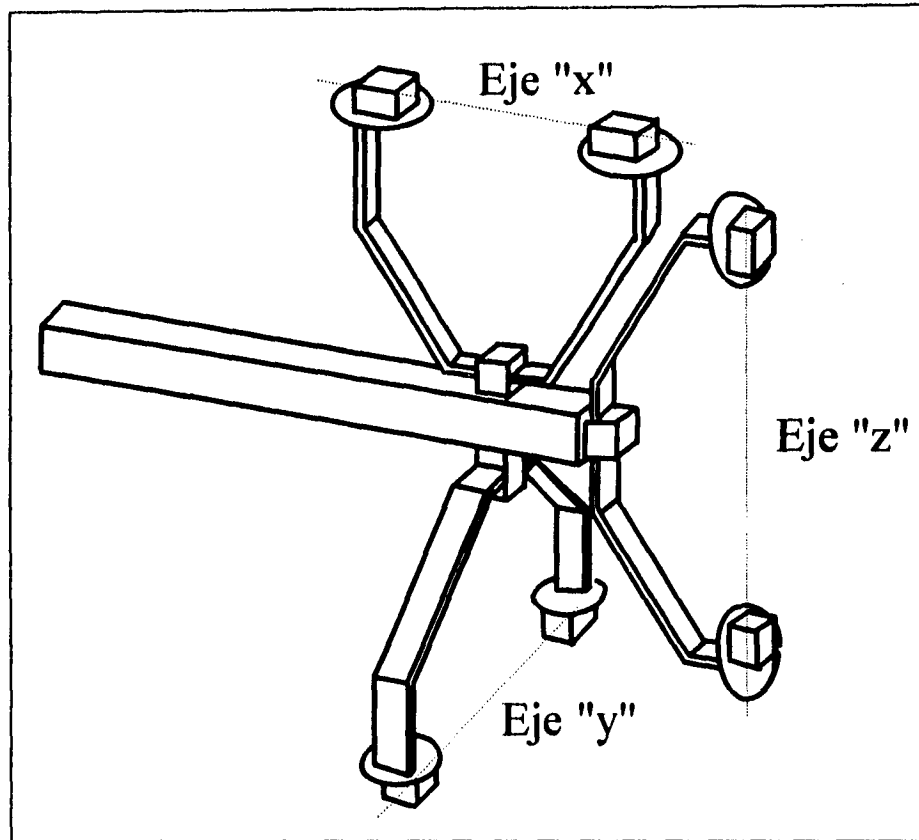


Figura 3.53 Estructura general del anemómetro y arreglo de los transductores.

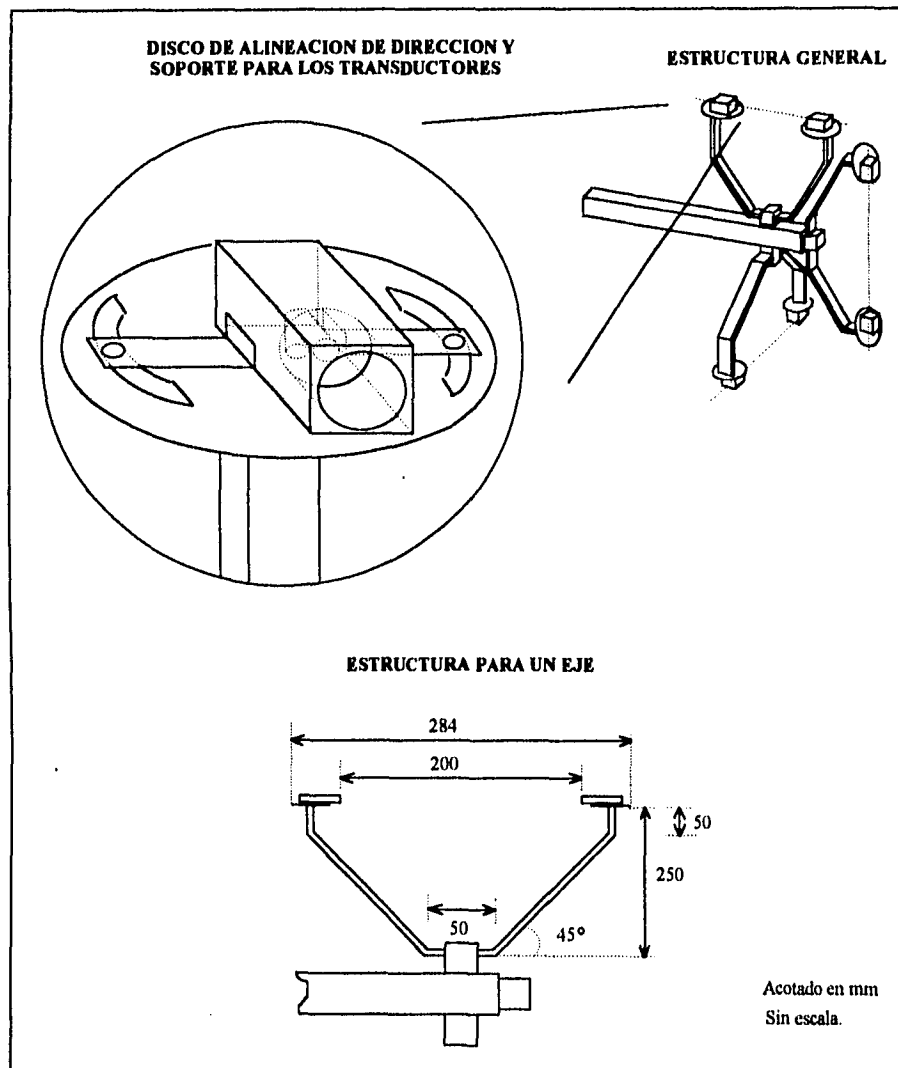
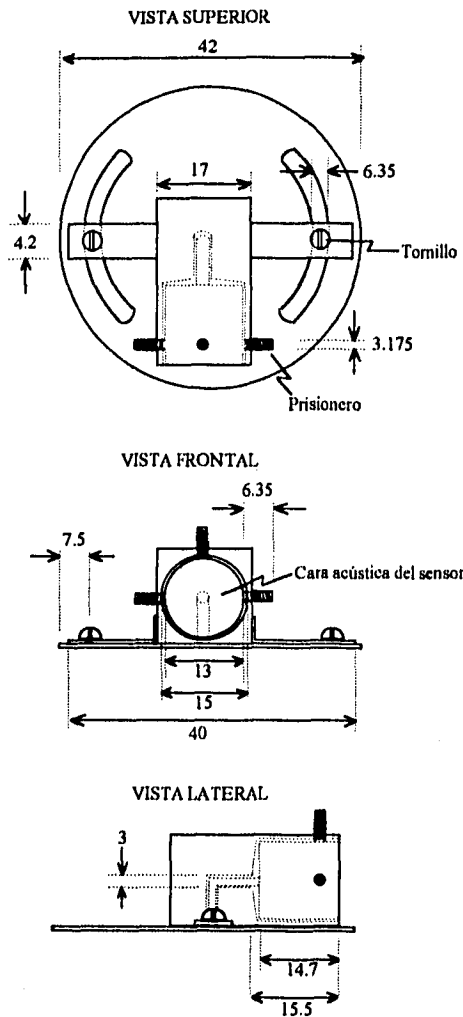


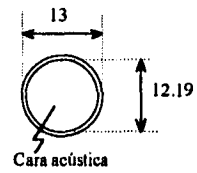
Figura 3.54 Detalle de las estructuras para cada dirección espacial.

**DISCO DE ALINEACION DE DIRECCION Y
SOPORTE PARA LOS TRANSDUCTORES**

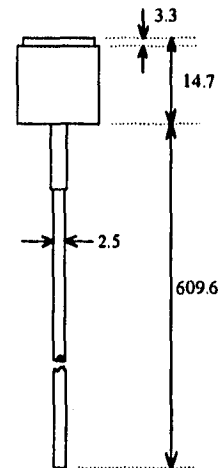


TRANSDUCTOR

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



Acotado en mm
Sin escala.

Figura 3.55 Detalle de los soportes para los transductores

CAPITULO 4

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

En este capítulo se describen las pruebas que se efectuaron al prototipo del anemómetro sónico correspondientes a cada una de las etapas que lo conforman. A continuación se habla de la calibración que requieren las etapas del sistema y por último la comparación de este instrumento con otros tipos de anemómetros.

4.1. PRUEBAS DE LABORATORIO.

Una vez terminado el diseño de las etapas (capítulo 3), se procedió a acoplarlas para realizar una serie de pruebas y comprobar el funcionamiento de las mismas, verificando si se cumplían las expectativas planteadas en el capítulo 2 (tabla 2.5).

En el caso de los transductores, las pruebas se llevaron a cabo al inicio del proyecto, ya que en cierta medida el diseño del prototipo dependía de estas. Consultar el capítulo 3 (subtema 3.1.1.) para observar el resultado de las mismas.

4.1.1 Etapa de detección.

Mediante el osciloscopio se verificaron las señales de transmisión y recepción en los puntos especificados en la tabla 4.1. Los resultados se observan en la figura 4.1 y en la tabla mencionada.

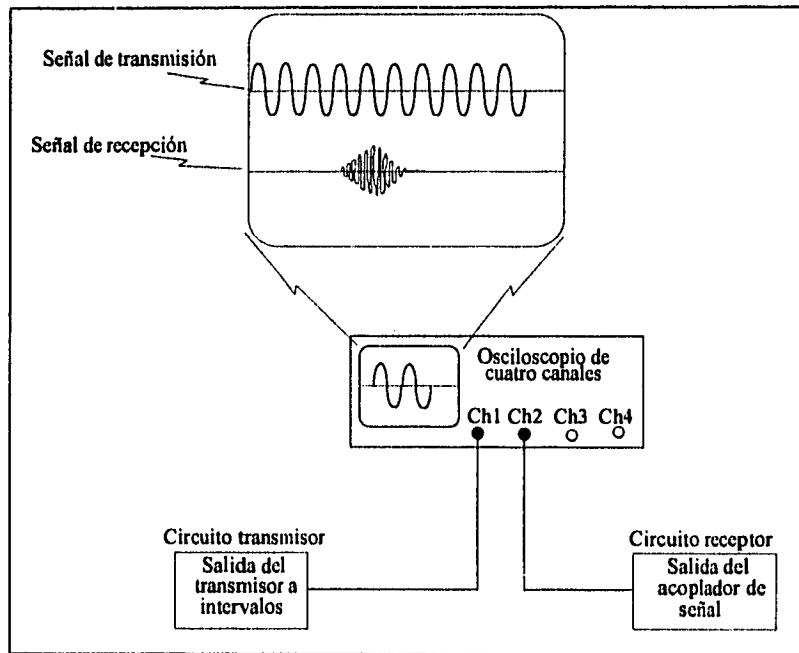


Figura 4.1 Señales de transmisión y recepción obtenidas en la etapa de detección.

Etapa de detección	Sección	Circuito integrado	Características.
Circuito transmisor.	Transmisor a intervalos.	Interruptor analógico Modelo 4066. Terminal número : 2.	Amplitud: 15 Vp-p. Frecuencia : 220 kHz. No. de ciclos: 15 Forma de onda: senoidal
Circuito receptor.	Acoplador de señal.	Amplificador Operacional. Modelo LF 347. Terminal número : 1	Amplitud: 9 Vp-p (máx). Frecuencia: 220 kHz. Forma de onda: senoidal.

Tabla 4.1 Resumen de las características de la señal en las pruebas efectuadas a la etapa de detección

4.1.2 Etapa del cronómetro.

Las pruebas de esta etapa se realizaron de dos formas, la primera colocando indicadores numéricos con sus respectivos decodificadores, para leer la cuenta generada en forma instantánea. La segunda se efectuó al revisar el funcionamiento de la etapa de procesamiento de datos.

Dentro de lo que es el funcionamiento de la etapa, se verificaron las señales de atrapar cuenta y reiniciar cuenta en las terminales mostradas en la figura 4.2 y tabla 4.2.

Los resultados son los mismos que se observan en el diagrama de tiempos del contador (figura 3.38, subtema 3.2).

Ahora bien, en lo que se refiere a la cuenta generada, ésta se probó a una velocidad de 0 m/s. Se encontró que existe una diferencia entre la cuenta teórica y la real. Esto se debe a varios factores; existe un retraso inherente a los componentes del sistema, la señal de recepción es detectada 5 ciclos después para evitar falsos disparos, debidos al ruido de la línea y a la onda electromagnética suprimida (subtema 3.1.3).

Lo anterior no afecta el funcionamiento del sistema debido a que dicho retraso es constante y por lo tanto ya está tomado en cuenta para los cálculos posteriores.

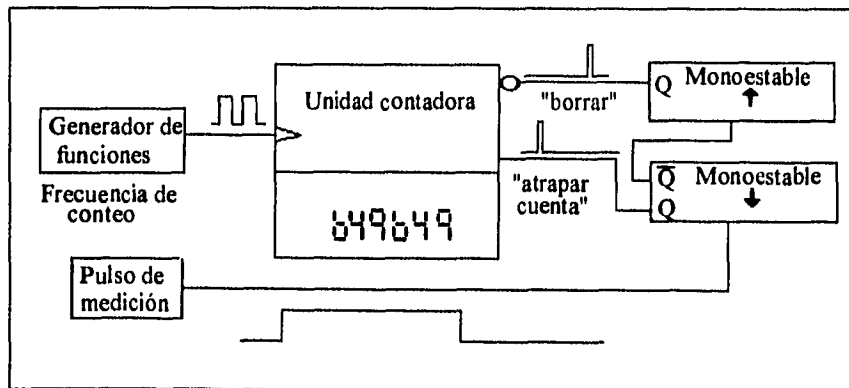


Figura 4.2. Prueba de laboratorio para el contador.

Etapa de Cronómetro	Función	Circuito integrado	Características.
Circuito contador	Congela cuenta	Multivibrador monoestable. Modelo 74123 No. terminal: 5.	Amplitud: 5 V. Ancho de pulso: 100ns. Frecuencia: variable Forma de onda: Cuadrada.
Circuito contador.	Reinicia cuenta	Multivibrador monoestable. Modelo 74123 No. terminal: 13.	Amplitud: 5 V. Ancho de pulso: 1 μ s. Frecuencia: variable Forma de onda: Cuadrada.

Tabla 4.2. Características de las señales de control del contador.

4.1.3 Etapa controladora.

Para poder visualizar el comportamiento de la etapa en el osciloscopio fué necesario desconectar la señal de intervalo de transmisión (a 40 Hz), sustituyéndola por una señal de las mismas características pero a una frecuencia de 1 Hz. La prueba se llevó cabo de acuerdo con la figura 4.3.

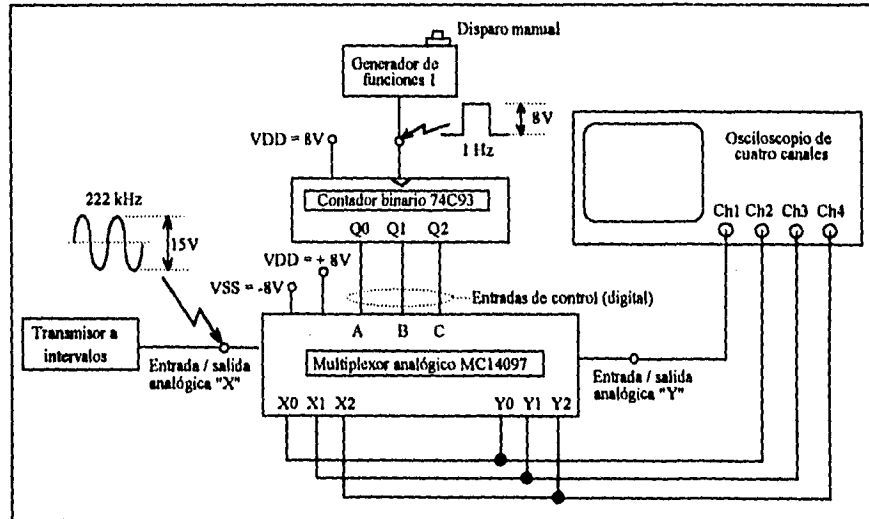


Fig.4.3. Pruebas de funcionamiento de la etapa controladora.

El generador de funciones "1", se puso en disparo manual, para poder observar paso a paso los cambios que deben operar en el circuito. Comenzando con una cuenta de cero binario para el contador 74C93 (000), se observaron simultáneamente las conexiones entrada/salida mostradas (x0, x1, x2 y salida del multiplexor). Los resultados de la prueba se muestran en la tabla 4.3:

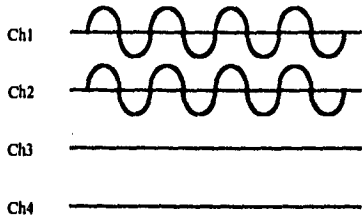
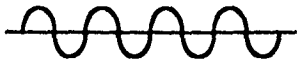



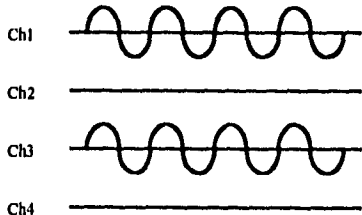


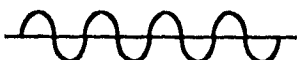

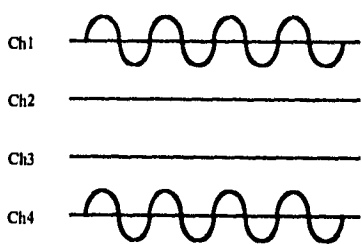
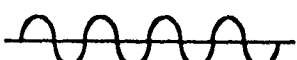


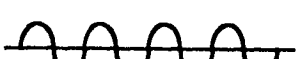
ENTRADAS DE CONTROL DIGITAL.	TRAZOS DEL OSCILOSCOPIO.
000	 <p>Ch1 </p> <p>Ch2 </p> <p>Ch3 </p> <p>Ch4 </p>
001	 <p>Ch1 </p> <p>Ch2 </p> <p>Ch3 </p> <p>Ch4 </p>
010	 <p>Ch1 </p> <p>Ch2 </p> <p>Ch3 </p> <p>Ch4 </p>

Tabla 4.3. Resultados de la prueba de funcionamiento del controlador.

4.1.4 Etapa de procesamiento de datos y opciones de salida.

La prueba consistió en correr el programa desarrollado y efectuar varias adquisiciones, verificando que el tiempo establecido correspondiera con el número de datos adquiridos, que el sentido y la dirección fueran correctos y por último que los datos fueran reales (figura 4.4).

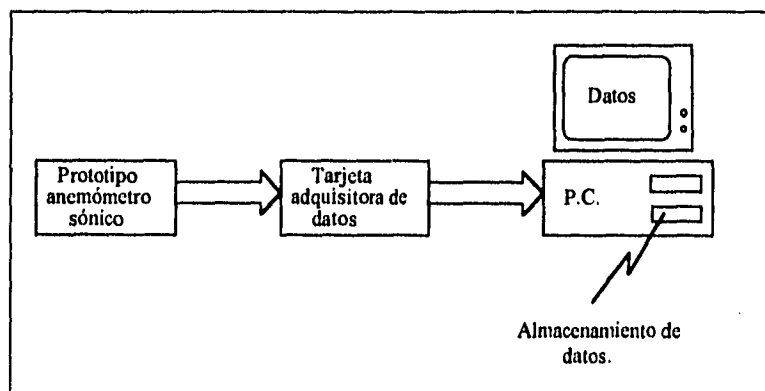


Figura 4.4. Diagrama de la secuencia de la adquisición y almacenamiento de datos.

Los resultados se presentan en el subtema de calibración (4.2)

4.2 CALIBRACION DEL ANEMOMETRO SONICO-DIGITAL.

Como se mencionó en el subtema 2.1. una de las características de utilizar el segundo método (la medición de la diferencia de los inversos de los tiempos) es que se obtiene, en principio, una calibración del instrumento basada únicamente en la distancia que existe entre los transductores.

En realidad, la calibración es también dependiente de la electrónica del sistema. Los puntos específicos a verificar son descritos en las pruebas de funcionamiento (subtema 4.1) y en el mantenimiento correctivo (subtema 5.3).

Regresando a la calibración referida en el primer párrafo se llevaron a cabo dos pruebas. Cabe aclarar que para poder tener una buena comparación del instrumento, sería conveniente realizarla con uno de la misma especie y de preferencia con mayor resolución. Lo anterior no fue posible, por lo que se recurrió a uno de hilo caliente.

Antes de realizarlas se constató que la distancia entre transductores fuera de 20 cm, ocupando un vernier para ello. A continuación se verificó la alineación de los transductores, mediante un detector de posición.

La primer prueba consistió en verificar el instrumento a una velocidad de 0 m/s. Esta se llevo a cabo aislando cada par de transductores (el eje correspondiente) con un tubo de plástico de manera que se pudiera evitar cualquier corriente. De los resultados mostrados en la siguiente página se puede concluir lo siguiente:

Como se puede notar, no se obtuvo una velocidad de 0 m/s en todos los casos, pero si muy cercana a ella. Esto puede ser debido a un ligero error:

- En la alineación de los transductores.
- Incertidumbre al detectar la señal en la recepción (niveles de referencia, etc).
- Incertidumbre en el contador debida a la frecuencia a la que está trabajando (20MHz).

A su vez esto indica que se logro desarrollar un sistema preciso, exacto, y con una alta resolución.

Por otra parte, el signo negativo en algunas de las lecturas, indica el sentido en que sopla el viento con respecto al eje de medición.

C U E N T A S G E N E R A D A S					
X	X	Y	Y	Z	Z
12746	12747	12743	12743	12744	12743
12745	12746	12743	12743	12743	12742
12745	12745	12742	12743	12743	12743
12745	12745	12742	12743	12743	12742
12745	12745	12742	12743	12743	12743
12745	12745	12743	12743	12743	12742

T I E M P O S (s e g u n d o s)					
X	X	Y	Y	Z	Z
0.0006373	0.0006374	0.0006372	0.0006372	0.0006372	0.0006372
0.0006373	0.0006373	0.0006372	0.0006372	0.0006372	0.0006371
0.0006373	0.0006373	0.0006371	0.0006372	0.0006372	0.0006372
0.0006373	0.0006373	0.0006371	0.0006372	0.0006372	0.0006371
0.0006373	0.0006373	0.0006371	0.0006372	0.0006372	0.0006372
0.0006373	0.0006373	0.0006372	0.0006372	0.0006372	0.0006371

V E L O C I D A D m/s		
X	Y	Z
0.0123097	0	-0.012316
0.0123116	0	-0.012317
0	0.0123174	0
0	0.0123174	-0.012317
0	0.0123174	0
0	0	-0.012317

A continuación probó el prototipo en un túnel de viento, comparando su respuesta con un anemómetro de hilo caliente.

Anemometro sónico Prototipo. (m/s)	Anemómetro de hilo caliente. (m/s)
1.610	1.62
2.547	2.63
3.177	3.19

Especificaciones del anemómetro de hilo caliente:

Marca.	Solomat
Modelo.	129MS
Rango	0.01 a 12 m/s
Resolución	0.01 m/s
Exactitud	3% del dígito leído

CAPITULO 5

DESCRIPCION TECNICA Y MANTENIMIENTO

En este capítulo se presentarán una serie de tablas con las características y especificaciones del prototipo desarrollado. A continuación se dan una serie de sugerencias para el mantenimiento preventivo, y por último una guía para detectar y corregir posibles fallas en el mantenimiento correctivo.

5.1 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA.

Especificaciones del anemómetro sónico de tres componentes.	
Transductores.	Tipo: piezoeléctrico. Frecuencia de operación: 220 kHz. Modelo: E-188/220 Marca: Massa products corporation
Distancia entre transductores.	20 cm.
Principio de operación.	Diferencia del inverso de los tiempos (calibración absoluta)
Rango.	0 a 20 m/s.
Resolución.	0.01 m/s.
Exactitud.	0.8%
Salida digital.	20 bits (BCD), paralelo.
Rango de muestreo.	40 Hz.

Características eléctricas.	
Fuente de alimentación (V c.d.)	+15V. y -12V.
Etapas de detección.	+15V., +/-5V., -12V.
Etapas de Cronómetro	+5V.
Etapas controladora	+8V., -8V.
Etapas de procesamiento y almacenamiento de datos.	+5V.

5.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

A continuación se presentan una serie de sugerencias, las cuales se recomienda hacer cada vez que se vaya a llevar el instrumento a campo. Estas se describen en el diagrama de flujo de la figura 5.1. El procedimiento para llevar a cabo cada una de ellas se describe en el capítulo 4 (subtemas 4.1 y 4.2).

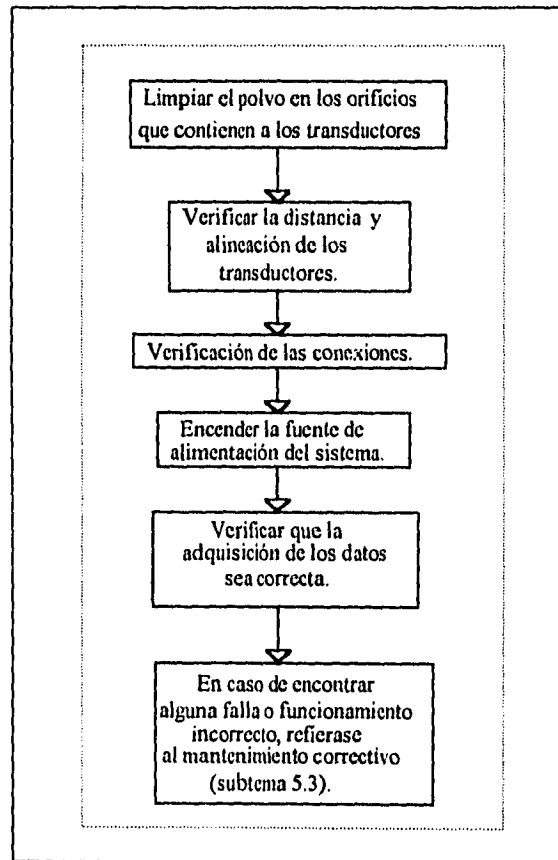


Figura 5.1 Pasos a seguir en el mantenimiento preventivo.

5.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

A continuación se muestra una serie de posibles fallas, su localización en el sistema, así como el procedimiento para el diagnóstico.

Falla presentada	Localización de la falla, verificación del funcionamiento
No enciende el sistema.	(a.1), (a.2), (a.3), (a.4)
No hay datos capturados.	(a.1), (d.5), (d.2), (f.1).
Datos erróneos.	(b.4), (c.2), (c.3), (c.5), (d.1), (d.2), (d.5), (e.2), (f.1), (b.6)
Un solo dato capturado.	(e.1), (e.2), (d.5).

Fallas internas de funcionamiento del sistema:

Falla presentada	Localización de la falla, verificación de funcionamiento
No hay señal de transmisión.	(b.1), (b.2), (b.3), (b.4), (b.5).
No hay señal de recepción.	(g.1), (g.2), (c.1), (c.2), (c.3), (c.4), (b.6).
No hay cuentas en el contador.	(b.1), (d.1), (d.2), (d.3), (d.4), (e.1), (e.2)

Procedimiento para el diagnóstico (puntos a verificar):

Para verificar los puntos que se mencionan referirse a los capítulos 3, 4 y 5 y para su localización en el diagrama eléctrico general (al final de este capítulo).

a) .-Funcionamiento básico del instrumento: (Referencia: Subtema 5.1)

- a.1.- Indicador luminoso de funcionamiento del sistema.
- a.2.- Fusible.
- a.3.- Revisar conexiones y cables de alimentación.
- a.4.- Voltajes de polarización del instrumento.

Etapas de Detección: Comprende los incisos b y c.

b) .-Circuito de transmisión: (Referencia: Subtema 3.1.2.)

- b.1.- Frecuencia del generador de señal: 20 MHz (Señal cuadrada).
- b.2.- Frecuencias de salida del divisor: 220 kHz, 40 Hz (Señal cuadrada).

- b.3.- Señal de entrada y salida convertidor de señal (Señal senoidal 220 kHz).
- b.4.- Salida del transmisor a intervalos: 220 kHz , 15 ciclos (señal senoidal).
- b.5.- Intervalo de transmisión de la señal. 40 Hz. (señal cuadrada).
- b.6- Revisar los transductores (Subtema 3.1.1)

c).-Circuito de recepción: (Referencia: Subtema 3.1.3.)

- c.1.- Señal de entrada al filtro.(señal senoidal)
- c.2.- Salida del filtro Paso-banda. (señal senoidal)
- c.3.- Niveles de referencia de los comparadores con histéresis (voltaje de referencia.).
- c.4.- Salida de cada uno de los multivibradores biestables tipo D del detector de secuencia (pulsos de secuencia.)
- c.5.- El ancho del pulso de activación (señal cuadrada)

d).-Etapa del cronómetro: (Referencia: Subtema 4.1..)

- d.1.- El tiempo de medición. (salida del detector de secuencia) (señal cuadrada).
- d.2.- La señal de atrapar la cuenta. (señal cuadrada)
- d.3.- La señal de borrar la cuenta.(señal cuadrada)
- d.4.- La salida de cada uno de los contadores en décadas binario codificado decimal (BCD) (señal cuadrada).
- d.5.- Comunicación entre el sistema y la P.C.(pulsos)

e).-Etapa controladora: (Referencia: Subtema 4.1..)

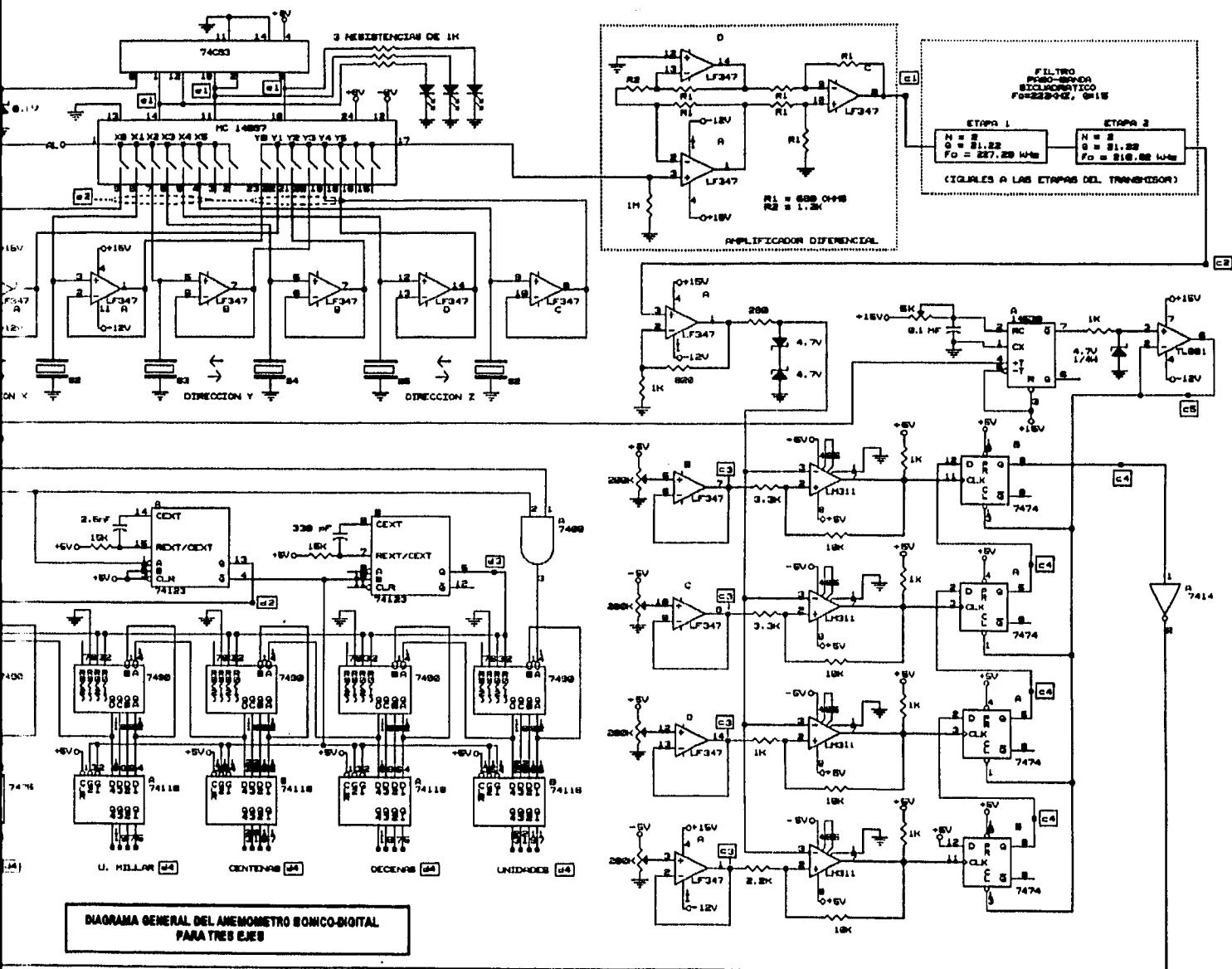
- e.1.- Las salidas del contador binario (señal cuadrada).
- e.2.- Las entradas y salidas de señal del multiplexor/demultiplexor para cada estado proporcionado por el contador. (señal senoidal 15 ciclos).

f)Procesamiento y almacenamiento de información: (Subtema 3.4)

- f.1.- Captura de datos y almacenamiento de estos .

g). Módulo Externo: (Subtema 3.5)

- g.1.- Alineación de los transductores.
- g.2.- Distancia entre transductores.



CONCLUSIONES

Se desarrollo un anemómetro sónico de tres dimensiones (tres direcciones "X", "Y" y "Z"). Sus especificaciones se resumen en las tablas 5.1 y 5.2 del escrito.

El instrumento cumple con las expectativas planteadas al inicio del proyecto(subtema 2.1), de acuerdo con las características y especificaciones mencionadas. Ahora bien, en lo referente al costo, cabe aclarar que resultó de bajo costo exclusivamente para la construcción de algunos instrumentos para los grupos de investigación del Centro de Ciencias de la Atmósfera. El costo se calcula en \$5000.00 pesos, lo que representaría construir 8 anemómetros con lo que se pagaría por uno comercial. Aunque en apariencia es un proyecto que resultaría de bajo costo a nivel comercial, por lo tanto viable, es necesario realizar un estudio más profundo sobre el particular para poder determinarlo.

Para poder evaluar de manera más objetiva los alcances logrados con este instrumento, será necesario compararlo contra otro de su misma especie, y que tenga una mayor resolución.

En este trabajo no fueron considerados posibles efectos por distorsiones en el flujo, por lo que será pertinente incluir el análisis y estudio de éstas, para complementar las características y especificaciones del prototipo, y si es posible mejorarlo.

Existe la posibilidad de mejorar la resolución del instrumento sin realizar grandes cambios. Esto sería posible aumentando las frecuencias de conteo e intervalo de transmisión y disminuyendo la distancia entre transductores. Con lo cual se tendría un mayor número de muestras/segundo, obteniendo por lo tanto una mayor resolución. Es factible también que en un momento determinado se perdiera exactitud.

Lo anterior se puede llevar a cabo dado que el generador de señal puede entregar una frecuencia de hasta 35 MHz, misma que toleran los contadores.

Por otra parte, para que el instrumento trabaje por períodos largos de tiempo en el campo se puede adaptar un sistema de adquisición de datos con paquetes de memoria RAM (como se mencionó en el subtema 3.4).

BIBLIOGRAFIA

- Williams, Arthur B., *Amplificadores Operacionales. Teoría y sus aplicaciones.*, 1a. edición, Mc Graw-Hill, México, 1988.
- Taub, Herbert, *Circuitos Digitales y Microprocesadores.* 1a. edición, Mc Graw-Hill, México, 1988.
- Tocci, Ronald J. *Sistemas Digitales. Principios y aplicaciones.* 1a. edición, Prentice Hall, México, 1981.
- Morris Mano, M, *Diseño Digital.* 1a. edición, Prentice Hall, México, 1987.
- Schilling, Donald y Belove, Charles, *Circuitos Electrónicos, Discretos e Integrados.*, 1a edición, Publicaciones Marcombo, S.A., México, 1989.
- Holman, J.P., *Métodos Experimentales para Ingenieros.*, 1a. edición, Mc Graw-Hill, México, 1979.
- Graeme, Jerald, Tobey, Gene y Huelsman, Lawrence, *Operational Amplifiers. Design and Applications.*, 21st printing, International Edition, Mc Graw-Hill, 1989.
- Boylestad, Robert, *Electronics Devices and Circuit Theory.* Prentice/Hall, 1978.
- Malvino, A. Paul, *Principios de Electrónica.* 3a edición, Mc Graw-Hill, México 1989.
- Millman, Jacob, *Microelectronics, Digital and Analog Circuits and Systems.* Mc Graw-Hill, Tokyo, Japón, 1984.
- García Miranda de, Enriqueta, *Apuntes de Climatología.* 3a edición, México 1980.
- Ayllón T, Tesresa; Gutiérrez R. Jesús, *Introducción a la Observación Meteorológica.* 1a. edición, Limusa, México 1983.
- Llaugue Dausa, Felix, *La meteorología?: Pero si es muy Fácil.* 1a. edición, Marcombo, Barcelona, España 1976.
- Hidy, George M, *Los vientos: Los Origenes y el comportamiento del movimiento atmosférico.* 1a. edición, Reverte México.
- Oke, T. R. *Boundary Layer Climates.* 2a. edición, Mathuen, London, 1987.
- Miiddleton W. E., *Meteorological Instruments.* Toronto Canada, 1941.
Oxford Univesity Press.

Manuales.

CMOS LOGIC DATA, Motorola Inc., U.S.A., 1988.

NTE Technical Guide & Cross Reference, Bloomfield, New Jersey, January 1988.

The TTL Data Book for Design Engineers, 2nd. edition, Texas Instruments Inc., U.S.A., 1988.

Data book. Telecommunications circuits. Data communication & Peripheral circuits. Industrial circuits. Instrumentation & Interface circuits. EXAR Co., San Jose, Cal., 1987.

Operational Amplifiers Databook. National semiconductor Co., Santa Clara, Cal., 1993.

Articulos de Investigación.

Shuttleworth, W.J., Mc Neil, D.D. : 1982 : "**A Switched Continuous-Wave Sonic Anemometer for Measuring Surface Heat Fluxes**". *Boundary Layer Meteorology*, Vol. 23, April , Pags 425-448.

Larsen, S.E., Weller, F.W., Businger, J.A., :1979 : "**A Phase Locked Loop Wave Sonic Anemometer-Termometer**". *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 18, April , Pags 562-568.

Hanafusa, Tatsuo. Fujitani, Tokunosuke. : 1982 : "**A New Type Sonic Anemometer - Thermometer for field Operation**". *Paper in Meteorology and Geophysics*, Vol. 33, March , Pags 1-19.

Copin, P. A., Taylor, J. : 1983: "**A Three-Component Sonic Anemometer/Termometer System for General Micrometeorological Research**". *Boundary Layer Meteorology*, Vol. 27, June , Pags 27-42.

Kaimal, J. C., Businger, J. A., : 1963 : "**A Continuous Wave Sonic Anemometer-Thermometer**". *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 2, February Pags 156-164.

Kaimal, J. C., Businger, J. A., : 1963 : "**Preliminary Results Obtained with a Sonic-Thermometer**". *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 2, February , Pags 180-186.

Wyngaard, J. C, Zhang, S. F.:1985 : "*Transducer-Shadow Effects on turbulence Spectra Measured by Sonic Anemometers*". Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol 2, December , Pags 548-551.

Zhang, S. F. Wyngaard, J.C., Businger, J. A. : 1986 : "*Response Characteristics of the U. W. Sonic Anemometer*". Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol 3, June , Pags 315-323.

Tesis:

Escalante Gonzalez, J. A. 1993.: "*Análisis y Diseño de un Integrador de Eventos a Intervalos de muestreo definidos para las Bandas de Frecuencia de 10, 27 y 100 kHz*". Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.