

300617

21
24

Universidad La Salle

Escuela de Ingeniería
Incorporada a la UNAM

Desarrollo de un
Analizador de Espectros
para Frecuencias de Audio

Tesis Profesional

Que para obtener el
título de Ingeniero
Mecánico Electricista

Presenta:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Franco Marini Regazzoni

México, D.F.

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I n d i c e .

Introducción..... Int. 1

Capítulo I

Origen del Analizador de Espectros.

- I.a) Antecedentes 1
I.b) Analogía Existente entre un
Sistema Electrónico
y el Oído Humano 4

Capítulo II

Fundamentos del Sonido.

- II.a) Propagación del Sonido 11
II.b) Propiedades del Sonido 14
 II.b.2) Tono 15
 II.b.3) Principio de Huygens . 17
 II.b.4) Reflexión 17
 II.b.5) Refracción 18
 II.b.6) Difracción 19
 II.b.7) Eco 19
 II.b.8) Enmascaramiento 20
 II.b.9) Ondas Estacionarias .. 20
II.c) Generadores de Sonido.
 II.c.1) Voz 21
 II.c.2) Instrumentos Musicales 23

Capitulo III

Filosofia de Diseño del Analizador de Espectros.

- III.a) Especificaciones del
Analizador de Espectros 25
- III.b) Cálculos y Consideraciones ... 30

Capitulo IV

Funcionamiento del Analizador de Espectros

- IV.a) Descripción del Circuito 46
 - IV.a.1) Sección de Preamplifi-
cación y Acoplamiento 46
 - IV.a.2) Sección de Filtrado
de Frecuencias 48
 - IV.a.3) Sección de Selección
de Frecuencias 50
 - IV.a.4) Sección de Compara-
ción del Nivel de
Intensidad 52
 - IV.a.5) Sección de la Matriz
de Visualización 53
- IV.b) Listado de Componentes
Electrónicos 55
- IV.c) Tarjetas de Circuito Impreso .. 58

Capitulo V

Metodología de Prueba.

V.a)	Implementación Práctica	
V.a.1)	Fuente de Poder	62
V.a.2)	Preamplificación y Acoplamiento	62
V.a.3)	Selección de Frecuencias	63
V.a.4)	Comparación del Nivel de Intensidad	63
V.b)	Pruebas y Resultados	64
V.b.1)	Prueba de Frecuencias Centrales	65
V.b.2)	Prueba del Potencial de Referencia en los Comparadores	66
V.b.3)	Prueba de Polarización de los Transistores	68
V.b.4)	Graficación de la Res- puesta a la Frecuencia de los filtros	69
	Conclusiones	83
	Bibliografía	89

Introducción.

Este trabajo de Tesis Profesional consiste en un estudio completo y detallado del diseño y funcionamiento de un Analizador de Espectros para Frecuencias de Audio. En dicho trabajo se presenta una introducción, así como también el desarrollo del diseño del prototipo y los aspectos más relevantes en su realización.

Con los adelantos cada vez mayores en el campo de la electrónica, se hace posible desarrollar aparatos de medición de mayor precisión, pero al mismo tiempo con una simplificación en sus circuitos, y es por ello que el Analizador de Espectros diseñado en este trabajo de Tesis Profesional opera con alta precisión con un mínimo de componentes. Debido a su baja cantidad de componentes y de fácil adquisición, se logra que el costo de fabricación de este aparato sea reducido y por consiguiente, lo que antes era un equipo de medición sofisticado, ahora cualquier persona aficionada al bello arte de la música puede obtener por un precio moderado un analizador de espectros para frecuencias de audio.

El analizador de espectros es un equipo indispensable para lograr una igualación del nivel sonoro de cada frecuencia del rango de audición humana. Dicha igualación es necesaria debido a que cada local o recinto absorbe o refleja una o más frecuencias, por lo cual algunos sonidos destacan más que otros.

A continuación se presenta la descripción de cada uno de los capítulos que componen este trabajo de Tesis Profesional.

El Capítulo I nos habla acerca de los inicios de la música y de los avances ocurridos en el campo de la acústica, posteriormente nos muestra una interesante analogía existente entre el oído humano un sistema electrónico; donde nos explica el complicado funcionamiento del oído humano.

A continuación, el Capítulo II trata los fundamentos del sonido, los cuales nos explican la propagación del mismo, así como sus propiedades; las cuales consisten en: Velocidad, tono, principio de Huygens, reflexión, enmascaramiento, refracción, difracción, eco y las ondas estacionarias. De igual manera, se estudian los generadores de sonido, como lo son la voz y los instrumentos musicales.

El capítulo fundamental de este trabajo de Tesis Profesional es el Tercero, ya que en él se encuentran los principios necesarios para el posterior diseño del Analizador de Espectros. A continuación, se enlistan todos los cálculos y consideraciones utilizados para dicho diseño y construcción.

Dentro del Capítulo IV se ofrece una explicación con lujo de detalle del funcionamiento del Analizador de Espectros diseñado; donde se estudian por secciones la operación de los componentes que lo integran, como lo son: La sección de la Matriz de Visualización, la de selección de frecuencias, la de filtrado de frecuencias, la de preamplificación y acoplamiento, la de comparación del nivel de la señal y finalmente la fuente de poder.

Posteriormente, se encuentran las tablas de todos los componentes utilizados en la construcción del prototipo, además de los dibujos utilizados para realizar las tarjetas de circuito impreso y el esquema de la localización de los componentes sobre dicha tarjeta de circuito impreso.

En el Capítulo V se explican los pasos a seguir para determinar el correcto funcionamiento del analizador de espectros, así como las pruebas realizadas sobre el prototipo con el fin de obtener valores reales para lograr con ellos comparaciones con los valores teóricos y de esta manera tener la certeza de que los cálculos fueron correctos.

Posteriormente, se muestran las conclusiones obtenidas en la realización del Analizador de Espectros para Frecuencias de Audio. Finalmente, se encuentra la bibliografía utilizada para la elaboración de este trabajo de Tesis Profesional.

Capítulo I

Origen del Analizador de Espectros

I.a) Antecedentes.

Desde sus inicios el hombre se vió envuelto en el mundo de los sonidos, involucrando en ellos el lenguaje, el canto, la música, etc. Por lo tanto, a través de los años, ha tenido el empeño de producir sonidos según su propio deseo. Así pues, en la prehistoria empezó a improvisar instrumentos con piedras, conchas, cañas y huesos.

Posteriormente, con la cultura Griega surge el orador y aparece el espectáculo; la voz humana debía ser escuchada por grupos de oyentes o espectadores, por consiguiente, los griegos iniciaron una serie de medidas para proporcionar una mejor audición, entre ellas se encuentran los ekea, los cuales eran conos metálicos repartidos por las gradas de sus teatros, logrando con ellos reforzar el sonido por medio de la reflexión. De igual forma, la configuración de estos teatros también ayudaba a una buena reflexión del sonido, ya que aprovechaban la ladera de una montaña para disponer de un graderío semicircular con una inclinación determinada para recibir el sonido reflejado por el suelo inmediato a la escena.

Dentro de la misma cultura griega, tenemos a Pitágoras, quien fué la primera persona que investigó la relación existente en la longitud de los tubos y cuerdas musicales con las notas producidas por ellas. Pero no fué hasta el siglo XVII cuando el estudio acústico se vió enriquecido con la aparición de la arquitectura barro-

ca, la cual contribuyó con tres factores fundamentales:

- a) La supresión del efecto de eco
- b) La absorción sonora
- c) La difusión sonora

Y como consecuencia, existió un gran florecimiento musical, en donde sobresalieron grandes innovaciones en los instrumentos y el tipo de música.

Un ejemplo de lo anterior es la construcción del teatro Scala de Milan ocurrida en el año de 1778, con ella, se descubrieron nuevos conceptos dentro del estudio de la acústica.

En dicha construcción las reflexiones de sonido perjudiciales fueron suprimidas por medio de la superficie del conjunto de palcos, así como por las butacas tapizadas de terciopelo, los cortinajes, la inclinación del anfiteatro, de la platea y los lienzos que componen la embocadura de la escena. Con todo esto se logró una audición clara y brillante, demostrando así que los materiales utilizados en la construcción y decoración del recinto acústico son determinantes en la respuesta acústica de éste. En estos momentos, el problema acústico adquiere una gran importancia, pero en aquel entonces no existía un planteamiento científico que explicara claramente los pasos a seguir para obtener una buena acústica, y no fué sino hasta finales del siglo XIX cuando Wallace C. Sabine, de la Universidad de Harvard, encuentra las normas y fórmulas que permiten un estudio previo y una elección adecuada de materiales para conseguir locales con buena acústica.

En la actualidad, el logro de un local acústicamente bueno no ofrece dificultades mayores; se parte de una arquitectura funcional y se dispone de un conjunto de conocimientos, constituyendo una verdadera disciplina de aplicación, que permite la adecuada elección de una larga serie de materiales y revestimientos ofrecidos en el mercado, así como el empleo de aparatos y accesorios electrónicos idóneos tales como el analizador de espectros de audio.

La era moderna no solo trajo consigo mejoras e inventos favorables al estudio acústico, sino también perturbaciones ruidosas como los son las generadas por la industria, motores de automóviles, así como perturbaciones eléctricas.

Con la mayor complejidad de las interferencias en los medios acústicos, aunada al avance de la tecnología, la sofisticación de los auxiliares en los procesos de audio se hizo necesaria.

Surgen entonces aparatos electrónicos con el fin de modificar y medir las señales de audio para tratar de contrarrestar los efectos nocivos de dichas interferencias.

Ejemplos de este tipo de equipo son los compresores-expansores de audio, los igualadores gráficos o paramétricos y los analizadores de espectros de audio.

A través de este trabajo se presentarán las bases necesarias para el diseño y construcción de uno de ellos: el analizador de espectros de audio.

I.b) Analogía Existente entre un Sistema Electrónico y el Oído Humano.

El sistema auditivo humano se encuentra integrado por los oídos, el nervio auditivo y el cerebro. El oído se divide en tres secciones:

- a) Oído externo.
- b) Oído medio.
- c) Oído interno.

El oído externo comprende: el pabellón auricular u oreja y el conducto auditivo externo mostrados en la figura I.1. La función del pabellón auricular es la de actuar como caja acústica y reflector, una vez que la oreja ha captado el sonido, éste es transmitido por el conducto auditivo, el cual tiende a resonar a una frecuencia cercana a 3000 Hz, y es debido a esto que el poder de audición en el ser humano es máximo en el rango de frecuencias comprendidas entre 2000 y 5000 Hz; y de ahí pasa a la membrana timpánica.

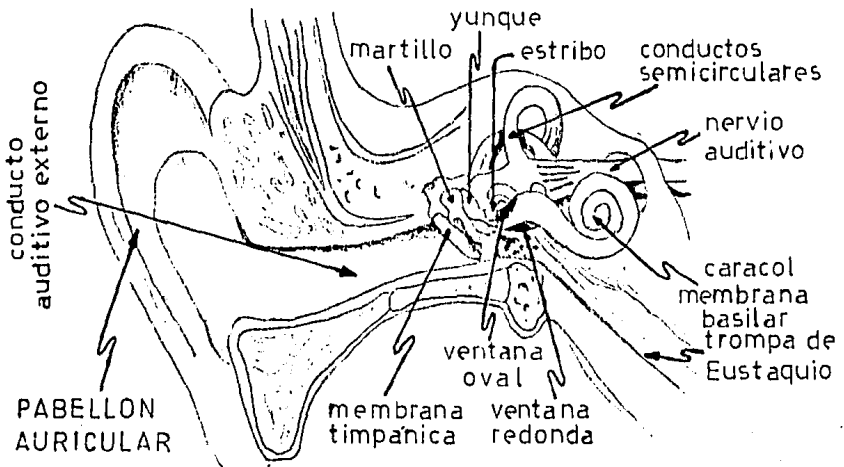


Fig. I.1 Esquema del Oído Humano.

El oído medio se encuentra constituido por un espacio aéreo, ventana oval, ventana redonda y promontorio. En el interior de la caja timpánica existe una cadena de huesecillos constituida por el martillo, yunque y estribo, articulados en este orden desde el timpano a la ventana oval. Los huesecillos actúan como un transformador mecánico acoplado el sonido proveniente de la membrana timpánica a la ventana oval, la cual es una membrana más pequeña que la ventana redonda y que se encuentra en la entrada del oído interno. Los músculos del martillo y del estribo funcionan como una especie de control automático de ganancia o compresor, los cuales en presencia de sonidos de alto nivel se contraen y limitan el movimiento de los huesecillos. A todo este proceso se le conoce como Reflejo Acústico.

En el oído interno se encuentra el espacio perilinfático relleno de perilinfa y la membrana basilar, la cual contiene al Órgano de Corti, en el que a su vez existen aproximadamente tres mil celdas de vellos sensores de vibración. Las celdas son las terminaciones del nervio auditivo principal. La ventana oval recibe las vibraciones originadas por el estribo y produce ondas de presión en la perilinfa, las cuales excitan a las celdas de vellos.

Cada una de estas celdas de vellos resuena a una determinada frecuencia, como las cuerdas de un piano o bien como un filtro pasabandas. Cuando una de estas celdas es excitada por energía acústica con frecuencia cercana a la cual resuena, ella emite impulsos neurales electroquímicos, los cuales son transmitidos por el nervio auditivo hacia el cerebro. Las celdas son, por lo tanto, transductores de movimiento mecánico a pulsos electroquímicos, es decir, las celdas funcionan como: filtros pasabandas, detectores de nivel, redes atenuadoras y

transductores biológicos miniaturizados. El conjunto de celdas forma un banco de filtros, el cual abarca a toda la gama de frecuencias audibles, descomponiendo a dicha gama en sus componentes de frecuencia y amplitud. Por lo que se puede afirmar, que el oído interno realiza un análisis espectral de la señal de entrada.

Por lo tanto, un sonido o un cambio de sonido únicamente será audible si excita la salida de por lo menos una celda de vellos sensores lo suficiente para sobrepasar el umbral de detección de dichos cambios.

Las frecuencias características de resonancia de las celdas de vellos abarcan frecuencias inferiores a 20 Hz hasta frecuencias mayores a 20 KHz, dicho rango es aproximadamente diez octavas. Por consiguiente no es posible escuchar sonidos fuera de esa gama de frecuencias; aunado a lo anterior, al envejecer, especialmente en el sexo masculino, ocurre un endurecimiento en la parte mecánica del oído medio, provocando así, una limitación en la respuesta en frecuencias sobre los 15 KHz.

Las frecuencias de resonancia se encuentran espaciadas en forma logarítmica, consiguiendo así, que cada octava contenga igual número de celdas asignadas. Cada oído interno contiene tres mil celdas de vellos cubriendo diez octavas, por lo que se obtiene una resolución de un trescientavo de octava. Si se consideran a las celdas como filtros, podemos decir que el ancho de banda de las celdas se acerca a una tercera parte de octava.

La respuesta del oído a la amplitud del sonido es de forma logarítmica por lo que dicha respuesta se mide en decibeles. Sin embargo la sensibilidad del oído hacia la amplitud no es uniforme en todas las frecuencias, cuando el nivel del sonido aumenta, la sensibilidad

tiende a uniformarse, lo cual es conocido como el fenómeno Fletcher - Munson. Como consecuencia de dicho fenómeno las frecuencias muy bajas y muy altas se escuchan mejor a altos niveles de sonido.

Cada oído realiza su propio análisis espectral, y juntos componen la información que el cerebro requiere. El cerebro trabaja en todo momento con el variante análisis del espectro, dichas señales de salida de los oídos se dirigen a diferentes cortezas del cerebro, en las cuales se procesa la información simultánea pero independientemente para formar posteriormente la percepción consciente del oído.

El tiempo que tardan los oídos en percibir un sonido varía de 0 segundos para fuentes equidistantes a ambos oídos, a 675 microsegundos para fuentes directamente a la izquierda o derecha de uno de ellos. Es decir que se puede percibir hasta una diferencia de 10 microsegundos entre ambos oídos, lo cual corresponde a un cambio en posición horizontal de 1 grado a partir de una fuente equidistante a ambos oídos. Este procesamiento de la señal tiene lugar en el complejo olivar superior del cerebro. Si dos sonidos son escuchados con diferencia de 50 milisegundos, se tenderán a oír como uno solo, esto se debe a que el cerebro mantiene el sonido escuchado en la memoria durante 50 milisegundos.

El cerebro utiliza las señales que llegan a los oídos para crear una imagen continua tridimensional del espacio acústico, por lo que el procesamiento de la señal en el espacio es una función de alto orden. Los juicios izquierdo - derecho se basan primariamente en:

- 1) La diferencia en el tiempo de arribo de los sonidos a ambos oídos.

- 2) La diferencia de amplitud del sonido en cada oído causada por el ensombrecimiento acústico ocasionado por la cabeza.

A su vez los juicios verticales que son enfrente, arriba y atrás se basan en lo siguiente:

- 1) El movimiento de la cabeza.
- 2) Las caldas existentes en la respuesta a la alta frecuencia, que dependen del ángulo de incidencia del sonido a los oídos.

Igualmente, los juicios sobre la distancia a la cual se encuentra la fuente sonora se basan en una evaluación de amplitudes relativas y en los contenidos de reverberación de los sonidos.

Comparando el sistema auditivo con un sistema electrónico, obtendríamos dos micrófonos que alimentan a dos bancos de filtros pasabandas, los cuales se encuentran conectados a un procesador de señales. Lo cual se encuentra representado en un diagrama de bloques mostrado en la figura I.2.

Considerando a las celdas de vellos como filtros pasabandas, su respuesta en frecuencia es muy aguda, pues cerca de la frecuencia central existe una pendiente de 96 dB/oct y conforme se aleja de dicha frecuencia central, la pendiente va disminuyendo hasta llegar a 18 dB/oct, lo cual equivale aproximadamente a la respuesta en frecuencia de un filtro Butterworth de tercer orden.

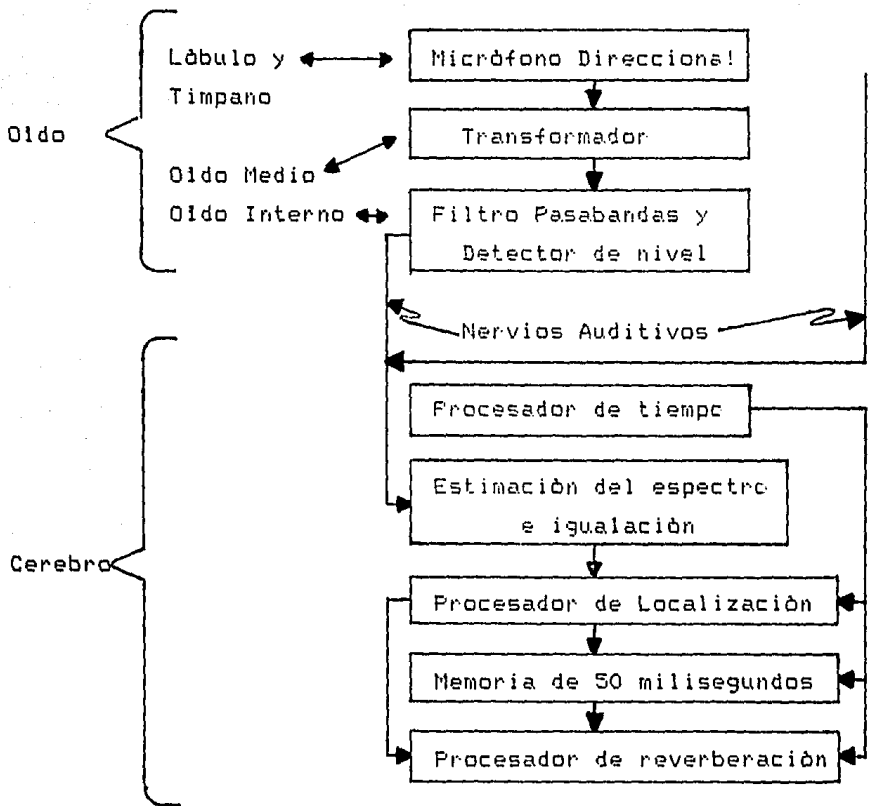
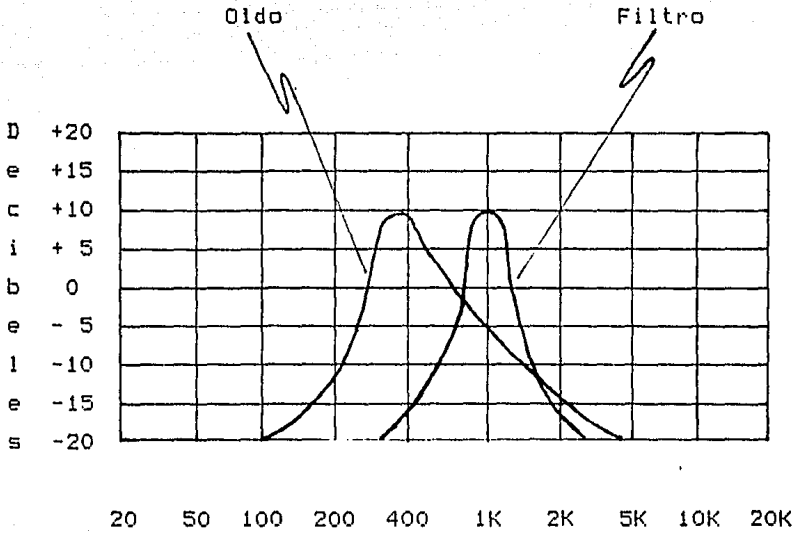


Fig. I.2 Equivalencia del oído humano con un diagrama de bloques de un sistema electrónico.

Las respuestas en frecuencia tan agudas de dichos filtros ocasionan tener una resolución mucho mayor a un tercio de octava; lo cual se debe a que al existir un pequeño cambio en el valor de la frecuencia, se provoca una gran caída en amplitud, siempre y cuando la frecuencia utilizada se encuentre en la región con pendiente de 96 dB/oct. Por ejemplo, tomando como señal de entrada a una onda senoidal de amplitud constante, y al variar su frecuencia tan solo un 1/96 de octava, lo que equivale a cerca del 0.7%, se obtiene una caída en amplitud de 1 Decibel.



Frecuencia en Hertz.

Figura I.3 Respuesta de una celda del oído interno, utilizando una frecuencia central de 400 Hz comparada con la respuesta de un filtro pasabandas de tercer orden y ancho de banda de una tercera de octava centrada en 1000 Hz.

Capítulo II

Fundamentos del Sonido.

II.a) Propagación del Sonido.

Los fenómenos acústicos se verifican en el seno del aire, el cual consta principalmente de:

- a) Oxígeno (21%).
- b) Nitrógeno (78%).
- c) Vapor de agua y otros gases (1%).

Las moléculas del aire al recibir una perturbación oscilan realizando movimientos periódicos de tipo armónico, esto es, que describen ciclos idénticos con respecto a un punto fijo en tiempos iguales, produciendo así un sonido. Este conjunto de moléculas permanece en equilibrio mientras no exista una causa que lo perturbe y constituye un medio elástico de extraordinaria fluidez.

En la figura II.1, se muestra la secuencia del movimiento de las moléculas de aire al ser sometidas a una perturbación con el fin de producir un sonido.

La explicación a la fig. II.1 es como sigue: Supóngase que en el Tiempo 1, "a", "b", "c", "d", "e", "f", "g", "h" e "i" son una serie de moléculas equidistantes y unidas entre sí por fuerzas elásticas que se encuentran en equilibrio. En el segundo período de tiempo, se provoca un avance hacia la derecha a la partícula "a"; en el tiempo 3, debido a las propiedades elásticas del medio en que se encuentran inmersas las partículas, este avance se transmite a la molécula "b" y así sucesivamente.

te se irá propagando el movimiento a las partículas "c", "d", "e", "f", "g", "h" e "i" durante los tiempos transcurridos del 4 al 8.

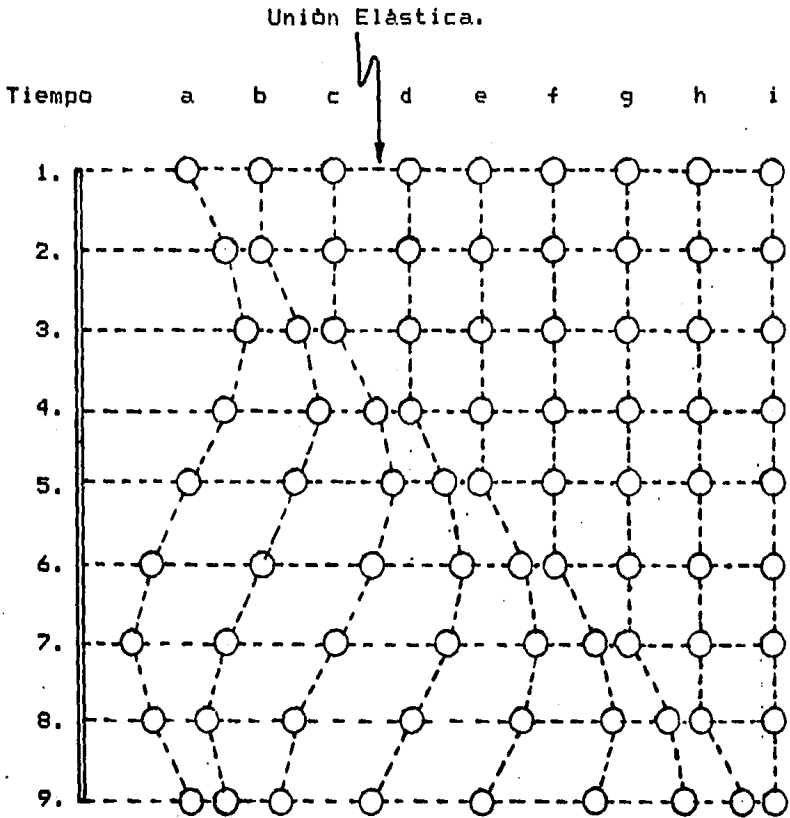


Figura II.1. Movimiento de las Moléculas al ocurrir un Sonido.

En el noveno tiempo, la partícula "a" ha realizado una oscilación completa y se encuentra en su posición inicial. Posteriormente cuando la perturbación se extingue las moléculas recobran su posición original. Se puede apreciar que la propagación del movimiento ha sido producida por un acercamiento de las partículas.

El tiempo que tarda una partícula para realizar una oscilación completa recibe el nombre de periodo, así como, la longitud de onda, representada por λ , es la distancia que separa a las moléculas extremas de una onda completa.

Dado lo anterior, se observa que si no se dispone de la distancia necesaria, no se podrá generar una onda completa. Esto tiene gran repercusión en la acústica, al relacionar la dimensión de los elementos que intervienen en el medio, en el cual se propaga el sonido, con la longitud de las ondas que lo constituyen. De esta manera, el diámetro de un altavoz no puede ser independiente de la longitud de onda para el tipo de sonido al que esté enfocado.

Como analogía a la propagación de las ondas sonoras, se puede citar la propagación de las olas sobre el agua. Las moléculas del agua se mueven en forma ascendente y descendente siguiendo un movimiento senoidal, mientras que en el aire la senoide es una representación puramente convencional. En realidad, cuando se efectúa una perturbación en el aire, el movimiento molecular se genera en un espacio de tres dimensiones; entonces dicha perturbación avanzará en forma esférica mediante la sucesión de una serie de capas compresivas y expansivas, que con radio creciente permanecen concéntricas al punto donde se ha producido la perturbación.

La densidad del aire aumentará en las capas compresivas, debido a que en estas capas las moléculas se encuentran más próximas y consecuentemente habrá una disminución de densidad en las capas expansivas. Al pasar la capa compresiva llevará consigo un efecto de sobrepresión que

será proporcional a la amplitud de las oscilaciones o intensidad de movimiento, esto es lo que posibilita la audición, así como la medición del sonido.

Como conclusión, el sonido se propaga en forma de esfera pulsante, con variaciones periódicas en la densidad del aire.

II.b) Propiedades del Sonido.

II.b.1) Velocidad.

La velocidad del sonido viene dada por la siguiente fórmula:

$$V = \sqrt{1.4 \times P / D}$$

Donde:

P es la presión atmosférica dada en: Nt/m².

D es la densidad del aire dada en:
Kg/m³.

V es la velocidad del sonido dada en:
m/seg.

Como se aprecia en la fórmula anterior, la velocidad del sonido se ve afectada radicalmente por variaciones físicas en la presión atmosférica, temperatura y humedad del aire. Para poder observar las variaciones en la velocidad del sonido al cambiar la temperatura, se muestra la siguiente tabla:

Grados Absolutos (°K)	Grados Centígrados (°C)	Velocidad del Sonido (m/seg)
253	-20	319
263	-10	326
273	0	332
283	+10	338
293	+20	344
313	+40	355

Tabla II.1 Relación entre la Velocidad del Sonido y la Temperatura

II.b.2) Tono.

El tono del sonido viene dado por la siguiente fórmula:

$$V = \lambda f$$

donde:

V es la velocidad del sonido dada en: m/seg.

λ es la longitud de onda completa dada en: metros.

f es la frecuencia de la onda sonora dada en: Hertz = 1/seg.

En esta fórmula V permanece constante y por lo tanto, la frecuencia y la longitud de onda son cantidades reciprocas; lo cual significa que un sonido de frecuencia elevada tiene una longitud de onda muy corta y viceversa.

El tono de un sonido es caracterizado por su frecuencia, es decir, que un sonido grave es de baja frecuencia y un sonido agudo tiene una frecuencia alta, por lo cual un

sonido agudo es más direccional que un sonido grave, como consecuencia de la vibración mas rápida de las moléculas. Las frecuencias bajas presentan una tendencia a rodear los obstáculos y al contrario las frecuencias altas son enfocables y los obstáculos que se interponen en su propagación proyectan una "sombra" o zona por la cual no penetra el sonido.

En la tabla II.2 se resumen las características de las frecuencias mas usadas en las mediciones acústicas.

Frecuencia Hertz		Longitud de Onda λ en cm.	
Infrasonidos			
	16	2125	Bajas Frecuencias
	32	1063	
Nivel inferior de	64	531	
Audición	128	266	
	256	133	
	512	66	Frecuencias Medias
	1024	33	
	2048	17	Altas Frecuencias
	4096	8.3	
	8192	4.1	
Nivel Superior	16384	2	
de Audición	20000	1.7	
Ultrasonidos			

Tabla II.2 Relación entre el Tono y la Longitud de Onda.

II.b.3) Principio de Huygens.

Cada punto de un frente de onda, engendra una nueva onda; la envolvente a todas estas ondas secundarias será el nuevo frente de onda. Esto significa, que el sonido se propaga en forma de frentes de onda esféricos, concéntricos al punto de emisión.

II.b.4) Reflexión.

Si el avance de una onda sonora se ve interrumpido por una superficie, esta onda será reflejada siguiendo las leyes de la óptica. En la figura II.2 un frente de onda AP rebota sobre una superficie, saliendo con una dirección PV, los ángulos de incidencia "i", y de reflexión "r", serán iguales.

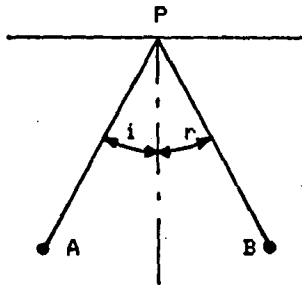


Fig. II.2 Reflexión de una Onda Sonora

En la figura II.3, se muestra una forma práctica de trazar los rayos reflejados, como se explica a continuación:

Cuando se quieren trazar los rayos que partiendo de un foco F se reflejan en un plano P, bastará dibujar el

punto F' simétrico de F respecto a P . Cualquier recta que parta desde F y que corte a P , cumplirá la ley de reflexión sonora.

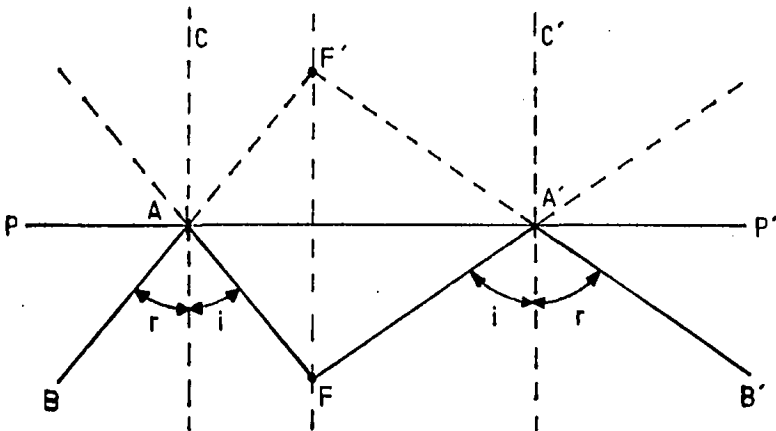


Fig. II.3 Trazo de Rayos Reflejados.

Muchas veces este principio es utilizado para intensificar el nivel sonoro de una zona determinada en un local. Para que la reflexión se realice conservando las características del sonido incidente, la menor dimensión de la superficie reflejante ha de ser igual o mayor que la longitud de onda que incida; en caso contrario se obtiene una distorsión.

II.b.5) Refracción.

Recibe este nombre al cambio de dirección que sufre una onda al pasar de un medio a otro; esto es debido al cambio de velocidad que experimenta la onda. En la figura II.4 se representa este fenómeno que a continuación se explica:

Sea FF' la onda incidente sobre EE' con una velocidad V_1 . Si la velocidad en el segundo medio fuese igual, al

cabo de cierto tiempo el frente de onda se encontraría sobre GF_1' paralela al anterior FF' ; pero si la velocidad fuera distinta sería ahora V_2 , entonces la onda ocuparía la posición F_1F_1' .

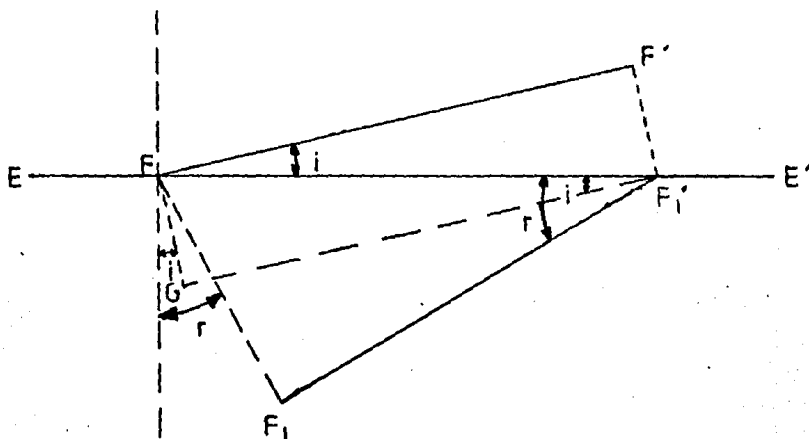


Fig II.4 Refracción de una Onda al Pasar de un Medio a Otro.

II.b.6) Difracción.

Es la propiedad que tiene el sonido de rodear obstáculos o propagarse a través de una abertura.

II.b.7) Eco.

El eco es una consecuencia de la reflexión del sonido. Como se explicó anteriormente, el oído posee una persistencia acústica de $1/15$ a $1/10$ de segundo por lo que se puede apreciar el efecto de eco, cuando el tiempo que media entre el sonido directo y el sonido reflejado es mayor que el de la persistencia del oído. Cuando existe eco en exceso en un local, la audición resulta muy confusa, y si es inexistente ésta es desagradable.

II.b.8) Enmascaramiento.

Quando dos sonidos son escuchados simultáneamente y uno de ellos posee una intensidad mayor, entonces el otro puede llegar a ser inaudible; a este fenómeno se le conoce como enmascaramiento. Pero no solo ocurre lo anterior, sino que también la audición del de mayor intensidad resulta incorrecta. Las principales causas son los ecos, el exceso de reverberación y los ruidos exteriores e interiores.

II.b.9) Ondas Estacionarias.

Las ondas estacionarias consisten en la superposición de dos ondas sonoras de la misma frecuencia avanzando en sentidos opuestos. Esto puede causar que en un local se presenten zonas de silencio. Esto se aprecia en la figura II.3. Este tipo de interferencia se verifica al existir paralelismo entre superficies reflejantes, o la existencia de una de estas superficies enfrente del emisor de sonido.

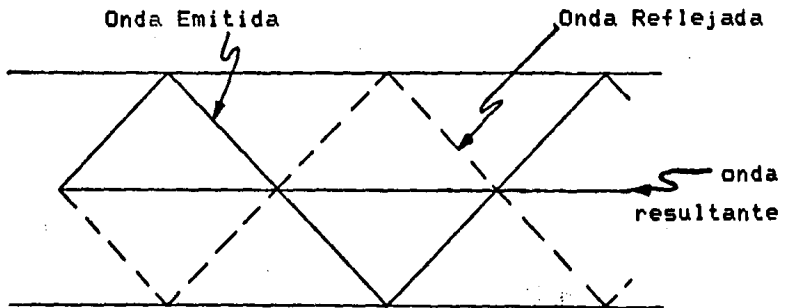


Figura II.5 Superposición de dos frentes de onda.

II.c) Generadores de Sonido.**II.c.1) Voz.**

En este trabajo de Tesis Profesional sólo se pretende dar los lineamientos principales para el diseño de locales en los cuales intervenga la voz, al igual que, en forma de tablas, el nivel sonoro de la voz en distintas circunstancias y su gama de frecuencias para que con el analizador de espectros de audio se pueda evaluar la audición de ésta.

En los locales del tipo de Salas de Conferencias o Aulas, se debe mantener la voz a un nivel medio, reduciendo lo mas posible el nivel de ruido exterior. También se debe tomar en cuenta el tamaño del local y la concurrencia, ya que para un mayor número de personas la absorción sonora será mayor.

En los teatros y Salas de Conciertos, se tendrá que cuidar la perfecta audición de la voz, sin distorsión y sin afectar las frecuencias de la misma.

En las Salas de Grabación se deberá evitar toda clase de ruido o "contaminación" en el micrófono en el cual se está efectuando el registro del sonido.

	Nivel Sonoro en dB.	Intensidad Watts/cm ² .
Hombre conversando tranquilamente.	20	10^{-14}
Mujer conversando tranquilamente.	35	3.15×10^{-13}
Hombre conversando normalmente.	25	3.15×10^{-14}
Mujer conversando normalmente.	50	10^{-11}
Hombre hablando en público sin esforzarse.	55	3.15×10^{-11}
Mujer hablando en público sin esforzarse.	60	10^{-10}
Hombre hablando en público esforzándose.	65	3.15×10^{-10}
Mujer hablando en público esforzándose.	70	10^{-9}
Grito de hombre.	75	3.15×10^{-9}
Grito de mujer.	80	10^{-8}
Canto de un profesional.	90	10^{-7}

Tabla II.3 Relación entre diferentes tipos de voz y su nivel sonoro. $0dB = 10^{-14}$ Watts/cm².

La voz humana abarca una determinada gama de frecuencias; si se toma en cuenta el timbre de la voz, es decir, las armónicas que se desprenden de la voz humana, la voz del hombre llega a cubrir una banda de 100 a 8000 Hertz, mientras que la voz de una mujer abarca de 140 a 9000 Hz. Es necesario hacer notar que en lo que respecta a frecuencias fundamentales las bandas son mas restringidas. La Tabla II.4 nos indica las bandas de los cantantes tipo.

Cantante Tipo	Banda en Hertz
Bajo	80 - 350
Baritono	100 - 390
Tenor	120 - 520
Contralto	185 - 700
Mezzo - Soprano	175 - 870
Soprano	240 - 1170

Tabla II.4 Relación entre los cantantes tipo y las frecuencias de sus voces.

En cuanto a las letras y por lo que a su composición de frecuencias se refiere, sobresale la letra "s", la cual es quien posee una mayor cantidad de componentes de alta frecuencia, ya que alcanza a tener hasta 8000 Hertz; posteriormente le siguen las letras "j" e "i". Dentro de las letras de baja frecuencia se encuentra la vocal "u", en la cual su frecuencia fundamental esta cerca de 100 Hertz. Por consiguiente, se debe de tener cuidado al tratar de igualar voz, pues de lo contrario, de suprimirse frecuencias se consigue que las vocales se confundan y que las consonantes no se comprendan.

II.c.2) Instrumentos Musicales.

Cada instrumento musical genera diferentes frecuencias, así como armónicas y potencia, las cuales es conveniente conocerlas, para determinar que igualaciones son las mas adecuadas para realizar la grabación de cada instrumento. De igual manera, auxilian para el momento del diseño acústico de un local, en donde serán escuchados o

grabados. En la tabla II.5, se enlistan algunos de los instrumentos mas connotados, separados por familia, con sus respectivas gamas de frecuencia, armónicas y potencias:

Familia Cuerdas	Banda Hertz	Armonicos Hertz	Potencia a 2m db watts/cm ²
Violin	170-11,000	7,400	46 4X10 ⁻¹²
Viola	120- 8,000	3,500	46 4X10 ⁻¹²
Violonchelo	60- 7,000	1,100	50 10 ⁻¹¹
Contrabajo	35- 5,000	550	52 1.6X10 ⁻¹¹

Familia Viento	Banda Hertz	Armonicos Hertz	Potencia a 2m db watts/cm ²
Flauta	250- 8,000	4,000	43 2.3X10 ⁻¹²
Fagot	60- 4,500	1,000	48 6.3X10 ⁻¹²
Clarinete	150- 9,000	2,000	48 6.3X10 ⁻¹²
Oboe	250-10,000	1,800	48 6.3X10 ⁻¹²
Trompeta	150- 7,000	4,300	58 6.4X10 ⁻¹¹
Corno	75- 6,000	1,000	55 3.2X10 ⁻¹¹
Trombón	65- 5,500	1,100	55 3.2X10 ⁻¹¹
Tuba	40- 2,600	800	57 4.9X10 ⁻¹¹

Familia Percusión	Banda Hertz	Armonicos Hertz	Potencia a 2m db watts/cm ²
Timbales	70- 2,600	300	58 6.4X10 ⁻¹¹
Cimbalo	140-16,000	1,000	50 10 ⁻¹¹

Tabla II.5

Relación de Instrumentos musicales con sus frecuencias.

(0 dB = 10⁻¹² Watt/cm²)

Capítulo III

Filosofía de Diseño del Analizador de Espectros

III.a) Especificaciones del Analizador de Espectros.

Cuando existe un sonido, éste no se compone exclusivamente de una sola frecuencia, sino que generalmente el sonido que se percibe es la suma de múltiples sonidos elaborados cada uno con diferentes frecuencias, así como de diversos niveles de intensidad.

El aparato conocido como Analizador de Espectros para frecuencias de Audio, es un dispositivo encargado de recibir un tipo de sonido en especial y posteriormente de descomponerlo en sus diferentes niveles, tanto de frecuencia como de amplitud, con el fin de poder apreciar visualmente la intensidad con que se recibe una frecuencia determinada.

Una de las formas existentes para realizar el proceso anteriormente descrito, lo constituye el hacer pasar a la señal a través de filtros denominados Pasabandas, cuya función, como su nombre lo indica, es la de dejar pasar un rango de frecuencias específico. Dichos filtros se distribuyen de tal forma, que se abarque toda la gama de frecuencias audibles, las comprendidas entre 20 Hz. y 20 KHz., y posteriormente se muestra la salida obtenida de cada filtro mediante el uso de algún medio de visualización.

Al lograr obtener un análisis del sonido en frecuencia e intensidad, es posible modificar el comportamiento acús-

tico de un local o detectar fallas en algún dispositivo.

Para conseguir los filtros pasabanda antes mencionados, se utilizaron filtros activos, los cuales son sin duda mas económicos, ligeros y pequeños que los filtros pasivos formados por bobinas y capacitores, al ser utilizados en bajas frecuencias específicamente en la gama de audio, que es en donde los filtros activos operan mejor. La limitación de la frecuencia en el diseño de un filtro activo radica en el tipo de amplificador.

Con el advenimiento de los modernos circuitos integrados, es posible obtener filtros de baja frecuencia de pequeño tamaño y alta calidad, utilizando tecnología de filtros activos.

Los filtros activos de segundo orden comunmente utilizados son cinco, en donde se incluyen: los Pasabajos, los Pasaltos, los Pasabandas, los Rechaza banda y los pasatodo. Todos estos filtros activos, utilizan para su diseño resistencias y capacitores como elementos pasivos, y como elemento activo se usa un amplificador operacional de alta calidad, aplicado en una configuración positiva con ganancia fija.

Para lograr el diseño de cualquier tipo de los cinco filtros mencionados, se requiere siempre la siguiente información:

- a) Función de Transferencia de Voltaje, $H(s)$.
- b) Configuración del Circuito.
- c) Frecuencia central o de corte según el caso, ω_0 .
- d) Factor de Calidad Q o Razón Reguladora OC .
- e) Valores de los componentes pasivos.
- f) Funciones de estabilidad.

Tanto la frecuencia central (o de corte), así como el factor de calidad (o razón reguladora) se deben seleccionar con el fin de cumplir todos los requerimientos del filtro. Cuando se determinan los parámetros anteriores, entonces se pueden calcular los valores de los componentes pasivos.

Las funciones de estabilidad determinan la sensibilidad del circuito a cambios de valores en los componentes. Si se utilizan elementos con poca tolerancia, la operación del filtro será muy cercana a las especificaciones iniciales. Sin embargo para economizar, las tolerancias de los componentes a utilizar no serán muy cerradas.

Todas las funciones de transferencia de los filtros mencionados tienen un común denominador, el cual es, de segundo orden. Por lo que las funciones de transferencia de todos los filtros se pueden describir como:

$$H(s) = \frac{N(s)}{D(s)}$$

En donde el denominador es:

$$D(s) = s^2 + 2 \omega_0 s + \omega_0^2$$

Al menos existen tres diferentes configuraciones de filtros activos que operen como filtros pasabandas, estos son: del tipo puente en T, de T gemela y de retroalimentación múltiple. Los dos primeros poseen sólo un camino de retroalimentación, mientras que el tercero como su nombre lo indica cuenta con dos retroalimentaciones. Este camino adicional proporciona al filtro activo pasa-

banda de retroalimentación múltiple varias ventajas importantes. Primeramente, utiliza una cantidad menor de componentes, su respuesta se aproxima a la respuesta de un filtro pasabanda de segundo orden ideal, debido a que el amplificador operacional trabaja con una ganancia casi infinita, y primordialmente su impedancia de salida, la cual es normalmente de 200 a 300 Ohms, que es la impedancia de salida del amplificador operacional utilizado. Esto significa que varios filtros pueden ser conectados en cascada sin tener problemas extremos de carga entre las etapas, lo cual es una ventaja sobre los otros dos tipos de filtros pasabanda que tienen normalmente una impedancia de salida de 1 KOhm.

Sin embargo, el filtro de retroalimentación múltiple presenta una deficiencia, que no puede alcanzar valores altos del factor de calidad Q . La Q máxima que puede ser alcanzada es aproximadamente 20.

Debido a su operación superior, el filtro de retroalimentación múltiple es el mejor modelo de circuito para un procedimiento de diseño simplificado.

El analizador de espectros tratado en este trabajo de Tesis Profesional, proporciona una gráfica visual de los niveles en intensidad de cada frecuencia, al mismo tiempo que las señales de audio pasan a través del circuito. A esto se debe que se diga que el analizador de espectros es de tiempo real.

El analizador de espectros cuenta con diez bandas, cada una implementada por un filtro pasabandas; cada banda de frecuencias con una separación de una octava, entre sí. Cubriendo el rango de frecuencias audibles que es desde 20 Hertz hasta 20 KHz, por lo que se decidió elegir

como frecuencia central del primer filtro 30 Hertz, por lo que las frecuencias centrales obtenidas fueron las siguientes:

Filtro	Frecuencia Central (Hz)
1	30
2	60
3	120
4	640
5	480
6	960
7	1,920
8	3,840
9	7,680
10	15,360

Tabla III.1
Frecuencias Centrales de los filtros.

Se decidió que la mejor manera de manejar la visualización del espectro de la señal de entrada sería a base de 90 LEDS (diodos emisores de luz), de los cuales corresponden 9 a cada banda de frecuencia. Debido a que se utilizan 9 LEDS por banda, para lograr una mejor visualización se manejó una escala logarítmica de encendido en la amplitud de la señal. De lo cual se obtiene que los LEDS encienden cuando se recibe una señal con un nivel de intensidad dado en los siguientes Db:

-24, -21, -18, -15, -12, -9, -6, -3 y 0 Db.

De esta manera conociendo la cantidad de bandas con sus respectivas frecuencias centrales, así como la intensidad que manejan, podemos saber que la pantalla de visua-

lización del analizador de espectros es como se muestra en la figura III.1, en donde se observa que a cada columna le corresponde una banda de frecuencia y que a cada renglon le corresponde un nivel de intensidad dado en Decibeles.

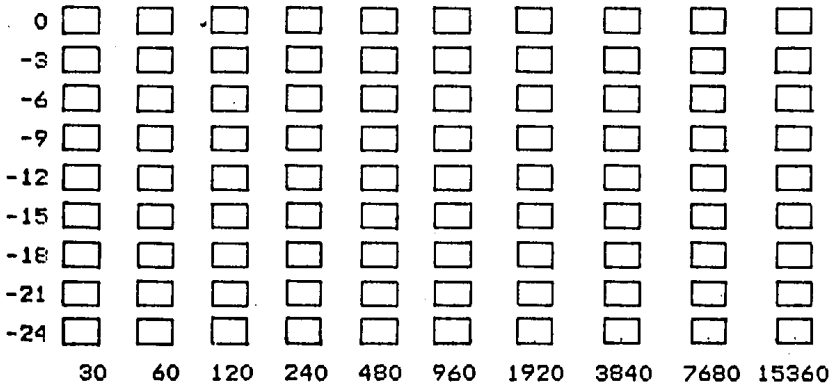


Figura III.1.

Configuración de la Pantalla de Visualización.

III.b) Cálculos y Consideraciones.

Debido a que el analizador de espectros propuesto en este trabajo de Tesis profesional debe de abarcar toda la gama de frecuencias audibles divididas en octavas, se llegó a las siguientes conclusiones:

- a) Cuando el filtro número "i" analiza una cantidad de "x" Hertz, el filtro número "i+1" analizará entonces "2x" Hertz.

b) Una caída de tres Decibeles provocada por un movimiento superior en el filtro "i" deberá ser de la misma frecuencia que la del movimiento inferior en el filtro "i+1".

Lo dicho en los incisos anteriores se puede apreciar en la figura III.2, en donde se observan las curvas de respuesta de los filtros "i" e "i+1", con sus respectivos movimientos superiores e inferiores.

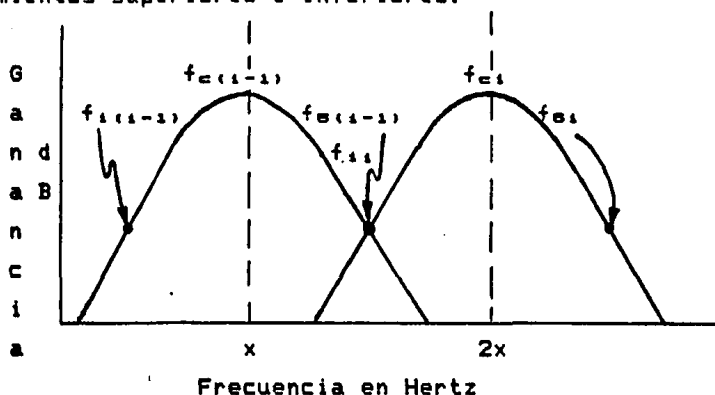


Figura III.2

Definiendo: $f_{c i}$ como frecuencia central del filtro "i".

$f_{s i}$ como frecuencia de corte superior del filtro "i".

$f_{s i}$ como frecuencia de corte inferior del filtro "i".

Se obtiene mediante el análisis de octavas que:

$$f_{c i} = 2 f_{c(i-1)}$$

(3.1)

Tambien sabemos que por la propiedad de simetria del filtro, se tiene:

$$f_{c1}^2 = f_{o1} f_{i1} \tag{3.2}$$

Tenemos que el ancho de banda de un filtro pasabandas está definido por:

$$BW = f_{o1} - f_{i1} \tag{3.3}$$

El factor de calidad se define como:

$$Q = \frac{f_{o1}}{BW} \tag{3.4}$$

Sustituyendo la ecuación 3.3 en 3.4 se obtiene:

$$Q = \frac{f_{o1}}{f_{o1} - f_{i1}} \tag{3.5}$$

Despejando f_{o1} tenemos que:

$$f_{o1} = (f_{o1} / Q) + f_{i1} \tag{3.6}$$

Sustituyendo 3.2 en 3.6:

$$f_{o1}^2 = ((f_{o1}/Q) + f_{i1}) f_{i1} \tag{3.7}$$

Despejando f_{i1} mediante la fórmula de segundo grado, tenemos que:

$$f_{i1} = (f_{o1}/2Q) (-1 \pm \sqrt{1+4Q^2})$$

De la figura III.2 se obtiene que:

$$f_{e(i-1)} = f_{i1} \tag{3.9}$$

Tomando la ecuación 3.6 en función de $f_{e(i-1)}$, se tiene que:

$$f_{i1} = (f_{e(i-1)}/Q) + f_{s(i-1)} \tag{3.10}$$

Obteniendo la ecuación 3.8 en función de $(i-1)$ tenemos:

$$f_{s(i-1)} = (f_{e(i-1)}/2Q) (-1 \pm \sqrt{1+4Q^2}) \tag{3.11}$$

Sustituyendo la ecuación 3.11 en 3.10, se obtiene:

$$f_{i1} = (f_{e(i-1)}/Q) + f_{s(i-1)} \tag{3.12}$$

Igualando las ecuaciones 3.8 y 3.12 tenemos que:

$$(f_{e(i-1)}/Q) + (f_{e(i-1)}/2Q) (-1 \pm \sqrt{1+4Q^2}) = (f_{e1}/2Q) (-1 \pm \sqrt{1+4Q^2}) \tag{3.13}$$

Despejando $f_{e(i-1)}$ de la ecuación 3.1, obtenemos:

$$f_{e(i-1)} = f_{e1} / 2 \tag{3.14}$$

Utilizando 3.14 para obtener la ecuación 3.13 en función de f_{e1} , resulta:

$$(f_{e1}/2Q) + (f_{e1}/4Q) (-1 \pm \sqrt{1+4Q^2}) = (f_{e1}/2Q) (-1 \pm \sqrt{1+4Q^2}) \tag{3.15}$$

Para despejar Q , como estamos trabajando con frecuencias reales tomamos solo la parte positiva y además tenemos que realizar multiplicaciones, igualar con cero, obtener un común denominador y reducir terminos semejantes,

con lo cual llegamos a la siguiente ecuación:

$$(4f_{c1} - f_{c1} + f_{c1} \sqrt{1+4Q^2} + 2f_{c1} \sqrt{1+4Q^2}) / 4Q = 0 \quad (3.16)$$

Reduciendo la ecuación 3.16 se obtiene:

$$3f_{c1} - f_{c1} \sqrt{1+4Q^2} = 0 \quad (3.17)$$

Despejando Q obtenemos que:

$$Q = \sqrt{2} \quad (3.18)$$

Como anteriormente se explicó, conocemos el denominador de la función de transferencia para cualquier filtro, por lo que la función de transferencia para el filtro utilizado en este analizador de espectros, mostrado en la figura III.3, queda de la siguiente forma:

$$H(s) = \frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{Hw_0s}{s^2 + w_0s + w_0^2} \quad (3.19)$$

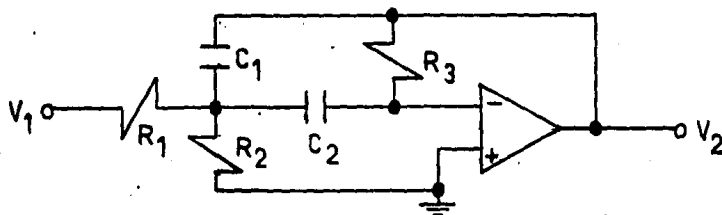


Figura III.3 Filtro Activo
Pasabandas de Retroalimentación Múltiple

Los parámetros necesarios para el diseño de este filtro son: BW que es el ancho de banda en Hertz hasta el nivel de -3 dB, f_0 es la frecuencia central también dada en Hertz y A es la ganancia de voltaje del filtro. Donde por definición sabemos que:

$$\omega_0 = 2 f_0 \quad (3.20)$$

$$Q = f_0 / BW \quad (3.21)$$

$$C_1 = 1 / Q \quad (3.22)$$

$$H = A_0 \quad (3.23)$$

Cuando el filtro activo de retroalimentación múltiple opera en modo inversor con ganancia infinita, al analizar su función de red se consigue que:

$$\omega_0^2 = (R_1 + R_2) / R_1 R_2 R_3 C_1 C_2$$

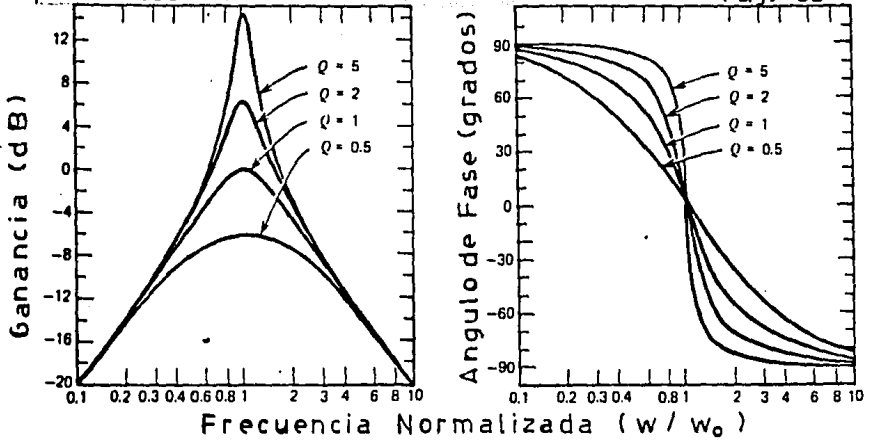
$$\omega_0 = (C_1 + C_2) / C_1 C_2 R_3$$

$$H\omega_0 = -1 / R_1 C_1$$

Aplicando las ecuaciones anteriores a la función general de transferencia 3.19, obtenemos:

$$H(s) = \frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{(-1/R_1 C_1) s}{s^2 + s(C_1 + C_2)/C_1 C_2 R_3 + (R_1 + R_2)/R_1 R_2 R_3 C_1 C_2} \quad (3.24)$$

La figura III.4 muestra la ganancia así como las características del ángulo de fase como función de la frecuencia normalizada, teniendo a Q como un tercer parámetro. Como puede observarse, tanto la selectividad del filtro como la sensibilidad del cambio de fase se incrementa al tener valores de Q mayores. Esto es, que para pequeños valores de Q el ancho de banda aumenta y la respuesta en fase se hace mas crítica. Estas curvas son para un filtro activo pasabanda de segundo orden ideal, sin embargo pueden ser utilizadas para el filtro activo de retroalimentación múltiple debido a que su funcionamiento se aproxima al de un filtro ideal.



Frecuencia Normalizada (w/w₀)
 Figura III.4 Gráficas del Comportamiento del Filtro Pasabanda de Retroalimentación Múltiple

Si analizamos las ecuaciones 3.19 y 3.24, observamos que tienen cinco incógnitas a determinar y contamos con solo tres valores conocidos. Resolviendo las dos funciones de transferencia con el fin de obtener un nuevo juego de ecuaciones tampoco ayuda, ya que, siguen existiendo cinco incógnitas con solo tres ecuaciones. Por consiguiente, el procedimiento de diseño debe comenzar asumiendo una relación entre componentes seleccionados y proseguir a partir de ello. Por lo tanto, asumamos a la combinación en paralelo de las resistencias R1 y R2, con la denominación de R₂₀, obteniendo:

$$R_{20} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) \tag{3.25}$$

Igualando 3.19 con 3.24 y reduciendo términos semejantes, tenemos:

$$R_{20} R_3 C_1 C_2 = 1 / \omega_0^2 \tag{3.26}$$

$$R_{20} (C_1 + C_2) = Q / \omega_0 \tag{3.27}$$

$$R_{20} R_3 C_2 / R_1 = H / \omega_0 \tag{3.28}$$

Cualquier valor numérico que satisfaga a las ecuaciones 3.26, 3.27 y 3.28, será una solución aceptable.

Como conocemos el valor de Q , la ganancia del filtro, la frecuencia central y el ancho de banda, podemos proceder a realizar el cálculo de los componentes pasivos del filtro. Podemos comenzar probando la desigualdad:

$$Q > \sqrt{A_0 / 2}$$

$$2 > \sqrt{1/2}$$

Por lo tanto, observamos que la desigualdad se cumple, y por consiguiente sabemos que los componentes que calculamos, como son las resistencias y capacitores, serán números reales y positivos.

A continuación se asignan valores a los capacitores, de tal forma que tanto C_1 como C_2 sean iguales y que la capacitancia sea de un valor comercial adecuado para que los valores de las resistencias calculadas permanezcan en el orden de Kilohms, ya que al obtener los valores apropiados ayuda a disminuir el ruido y a mantener la estabilidad del circuito.

Ya teniendo calculados los valores de los parámetros ω_0 , Q y H utilizando las ecuaciones 3.20, 3.22 y 3.23 respectivamente, se procede a calcular la resistencia R_1 mediante la ecuaciones 3.26 y 3.28, obteniendo que:

$$R_1 = 1 / H \omega_0 C_1$$

(3.29)

Y la resistencia equivalente R_{eq} resulta de las ecuaciones 3.22 y 3.27:

$$R_{\Sigma 0} = 1 / Q (C_1 + C_2) \omega_0 \tag{3.30}$$

Utilizando la ecuación 3.25 se despeja R_2 :

$$R_2 = R_1 R_{\Sigma 0} / (R_1 - R_{\Sigma 0}) \tag{3.31}$$

El componente final R_3 , se calcula al dividir a la ecuación 3.27 entre la 3.26 y posteriormente aplicando la ecuación 3.22, obtenemos:

$$R_3 = Q(C_1+C_2)/C_1C_2\omega_0 = A_0R_1(1+(C_1/C_2)) \tag{3.32}$$

Asignando un valor comercial a los capacitores y utilizando las ecuaciones 3.29, 3.30, 3.31 y 3.32, obtenemos la siguiente tabla de valores:

Frecuencia Central Hz	Capacitores en nFd	R_1 Kilohm	R_2 Kilohm	R_3 Kilohm
30	270	27.78	9.26	55.58
60	270	13.89	4.63	27.78
120	68	27.58	9.19	55.16
240	56	16.75	5.58	33.49
480	47	09.98	3.32	19.95
960	47	04.99	1.66	09.98
1,920	10	11.72	3.91	23.45
3,840	3.9	15.03	5.01	30.06
7,680	3.9	07.51	2.51	15.03
15,360	1.8	08.14	2.71	16.28

Tabla III.2

Valores calculados para C_1 , C_2 , R_1 , R_2 y R_3 .

Para conocer el ancho de banda que abarca cada filtro, aplicamos la ecuación 3.4, de la cual despejamos BW debido a que conocemos la frecuencia central de cada filtro así como el factor de calidad Q, y obtenemos la frecuencia inferior, posteriormente mediante la ecuación 3.2 o la 3.3 se puede calcular la frecuencia superior del filtro. Estos cálculos aparecen en la tabla III.3, en donde se muestra la frecuencia central de cada filtro acompañada de su correspondiente frecuencia superior e inferior.

Frecuencia Central Hz	Frecuencia Inferior Hz.	Frecuencia Superior Hz.
30	21.21	42.42
60	42.42	84.85
120	84.85	169.71
240	169.71	339.41
480	339.41	678.82
960	678.82	1,357.64
1,920	1,357.64	2,715.29
3,840	2,715.29	5,430.58
7,680	5,430.58	10,861.16
15,360	10,861.16	21,722.32

Tabla III.3

Anchos de Banda de los Diez Filtros Pasabandas.

Ahora es el tiempo de hablar sobre los "Comparadores de Diferencial de Voltaje". La función de un comparador, como su nombre lo indica, es la de comparar dos señales de voltaje. Esto se lleva a cabo al aplicar a una de

las entradas del amplificador operacional una señal de voltaje así como un voltaje de referencia en la segunda entrada y a la salida debe producir ya sea un 1 o un 0 lógico cuando alguna de las dos señales de entrada sea mayor que la otra. La detección del punto de disparo se lleva a cabo al tener conectada a una de las dos entradas del amplificador operacional un divisor de voltaje, con el fin de tener un potencial de referencia y posteriormente recibe una señal en su otra entrada, y si ésta es menor que el voltaje de referencia puede resultar que el voltaje a la salida del comparador suba instantáneamente o caiga de igual forma, dependiendo de la configuración en que se encuentre armado al comparador, de igual manera, si el voltaje de la señal es mayor que el voltaje de referencia, entonces el voltaje subirá o caerá, dependiendo de su configuración.

Resulta claro que un Amplificador Operacional pueda ser utilizado como Comparador, sin embargo, tiene una desventaja, la cual es que su tiempo de respuesta es bastante largo, ya que viene dado en el orden de varios microsegundos, lo cual es demasiado lento para varias aplicaciones. Sin embargo, para el funcionamiento que tendrán asignados los comparadores de diferencia de voltaje en este trabajo de Tesis, no habrá problemas ya que, la frecuencia que utilizamos es considerablemente baja, aunando a esto, tenemos que de existir algún retraso, el ojo no es capaz de apreciarlo.

En la figura III.5 se muestra una gráfica donde aparece la función de transferencia de un comparador, donde se puede observar que el punto de disparo se encuentra cuando el voltaje diferencial se aproxima a los 0 volts.

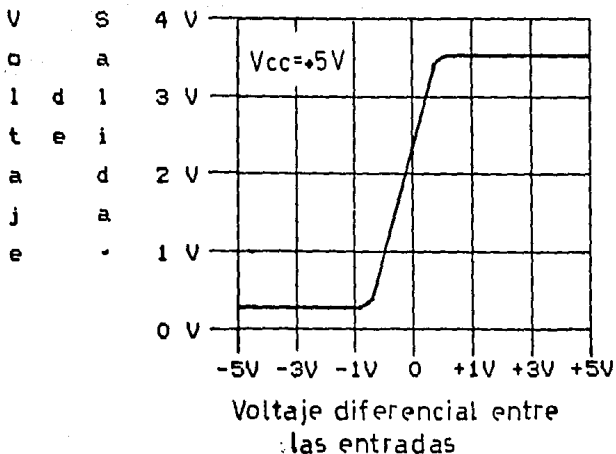


Figura III.5 Gráfica de la Función de Transferencia de un Comparador de Voltaje.

Los comparadores son utilizados para generar un voltaje de C.D., dicho potencial es usado para excitar a la matriz de Diodos Emisores de Luz (LEDs), y debido a que dichos LEDs deben encender en función logarítmica de 3 dB, es necesario calcular las resistencias del divisor de tensión, cuya función es la de proveer de un voltaje de referencia adecuado a cada comparador, por consiguiente, en la tabla III.4, se muestran los valores calculados para las resistencias que forman dicho divisor de tensión, así como, el voltaje que existe en cada nodo.

La fórmula empleada para calcular el voltaje en los diferentes puntos del divisor de tensión es la siguiente:

$$V_d = R_2 V_{cc} / (R_1 + R_2)$$

Número de Resistencia	Valor en Ohms	Voltaje en Milivolts	Diferencia en Decibeles
R 1	86,000	10000-1300	-----
R 2	3,900	1,300- 910	-3.127
R 3	2,700	910 - 637	-3.098
R 4	1,800	637 - 455	-2.926
R 5	1,200	455 - 334	-2.694
R 6	1,000	334 - 233	-3.136
R 7	680	233 - 164	-3.044
R 8	470	164 - 116	-2.976
R 9	330	116 - 83	-2.938
R10	820	83 - 0	-----

Tabla III.4 Valores Calculados para las Resistencias del Divisor de Tensión.

El Preamplificador utilizado en este prototipo, esta formado por un amplificador operacional en configuración de Amplificador No-Inversor, donde su función de Transferecia viene dada por:

$$H(s) = V_o(s)/V_i(s) = (R_1 + R_2) / R_1$$

Se desea que el amplificador operacional no inversor trabaje casi con ganancia unitaria, esto es debido a que la función primordial de este preamplificador es la de aislar a las etapas de alta impedancia, de aquellas de baja impedancia, esto es, que trabaje como un acoplador entre baja y alta impedancia, logrando con ello que la configuración del circuito quede como se muestra en la figura III.6.

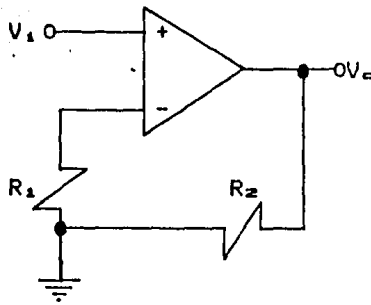


Figura III.6

Configuración del Preamplificador No Inversor.

Así que para calcular el valor de las resistencias R_1 y R_2 , asignamos un valor a una de ellas y sabiendo que la ganancia debe de ser cercana a la unidad resulta que:

$$H = 1.04, R_2 = 1.2 \text{ Kiloohms}$$

$$R_1 = 1,200 / .04 = 30 \text{ Kiloohms}$$

La entrada de señal es a través de un transistor ensamblado en la configuración de amplificador en Clase A con Emisor Común. La polarización de dicho transistor es como se describe a continuación.

En la figura III.7, se muestra el diagrama de la configuración del transistor antes mencionada, en donde se aprecian las resistencias de polarización.

Los parámetros de diseño conocidos son:

- Voltaje de alimentación (V_{cc}) = 10 Volts
- Voltaje Colector a Emisor (V_{ce}) = 4.5 Volts
- Corriente de Colector (I_c) = 2 mAmp.
- Ganancia en Corriente (H_{FE}) = 350

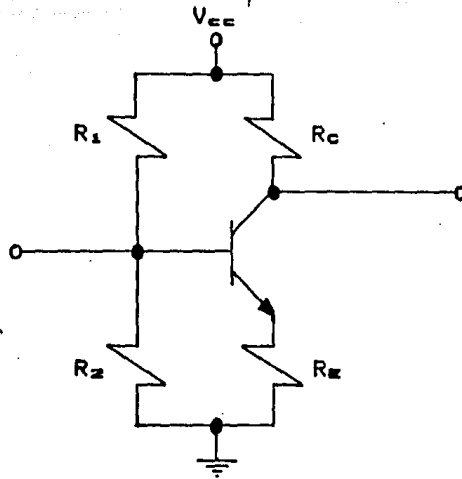


Figura III.7 Polarización del Transistor en Clase A con Emisor Común.

Con los datos anteriores podemos calcular primeramente la resistencia del colector R_c , utilizando la ley de Kirckhoff en el colector y asumiendo una caída de tensión en la resistencia de emisor R_e igual a un décimo del voltaje de alimentación con el fin de darle estabilidad al circuito, obtenemos la siguiente ecuación:

$$V_{cc} = I_c R_c + V_{ce} + 1/10 V_{cc}$$

Al sustituir las constantes y despejando a R_c , resulta:

$$R_c = (10 \text{ V} - 4.5 \text{ V} - 1 \text{ V}) / 2 \text{ mAmp} = 2.25 \text{ Kilohm}$$

$$R_e = 0.1 V_{cc} / I_c = 1 \text{ V} / 2 \text{ mAmp} = 500 \text{ Ohms}$$

La corriente en la base del transistor necesaria para lograr el V_{ce} deseado, se calcula de la siguiente forma:

$$I_b = I_c / H_{FE} = 2 \text{ mAmp} / 350 = 5.71 \text{ microAmp}$$

Con el fin de darle estabilidad al circuito, la corriente total a través de R_1 debe ser considerablemente mayor a la corriente de base, por lo que se asume que la corriente de R_1 sea 20 veces mayor a la corriente de base. Con esta consideración ahora podemos calcular tanto R_1 como R_2 . El voltaje de base a tierra es la suma de la tensión existente en el emisor mas el voltaje de polarización del diodo base-emisor, el cual en el caso de transistores de Silicio es de aproximadamente 0.7 Volts y en aquellos de Germanio es de 0.2 Volts.

$$R_1 = (V_{CC} - V_b) / I_c$$

$$V_b = V_e + V_p = 1 \text{ V} + 0.7 \text{ V} = 1.7 \text{ Volts}$$

$$I_c = 20 I_b = 20 (5.71 \text{ microAmp}) = 114.2 \text{ microAmp}$$

$$R_1 = (10 \text{ V} - 1.7 \text{ V}) / 114.2 \text{ microAmp} = 71.8 \text{ Kiloohms}$$

$$R_2 = V_b / I_c = 1.7 \text{ V} / 114.2 \text{ microAmp} = 14.7 \text{ Kiloohms}$$

Este amplificador tiene como impedancia de entrada al paralelo de R_1 con R_2 y R_E por H_{FE} , obteniendo:

$$Z_{in} = 1 / (1/R_1 + 1/R_2 + 1/350(500)) = 1/87.67 \times 10^{-6}$$

$$Z_{in} = 11.4 \text{ Kiloohms}$$

$$Z_{out} = 2.25 \text{ Kiloohms}$$

Capítulo IV

Funcionamiento del Analizador de Espectros

IV.a) Descripción del Circuito.

El circuito electrónico para el analizador de espectros se encuentra representado por el diagrama IV.1 localizado en la siguiente pagina.

Con el fin de explicar el funcionamiento de dicho diagrama, éste se subdivide en cinco secciones principales, las cuales se nombran como sigue:

- 1) Sección de Preamplificación y Acoplamiento.
- 2) Sección de Filtrado de Frecuencias.
- 3) Sección de Selección de Frecuencias.
- 4) Sección de Comparación del Nivel de Intensidad.
- 5) Sección de la Matriz de Visualización.
- 6) Sección de la Fuente de Poder.

A continuación se explica la operación de cada una de las secciones anteriores.

IV.a.1) Sección de Preamplificación y Acoplamiento.

Esta sección se encuentra compuesta primeramente por dos transistores en clase A, uno para el canal derecho y otro para el izquierdo. La polarización de dichos transistores fué tratada en las páginas 43/45. Estos transistores operan con acoplamiento capacitivo tanto a la entrada de señal como a su la salida, con una ganancia

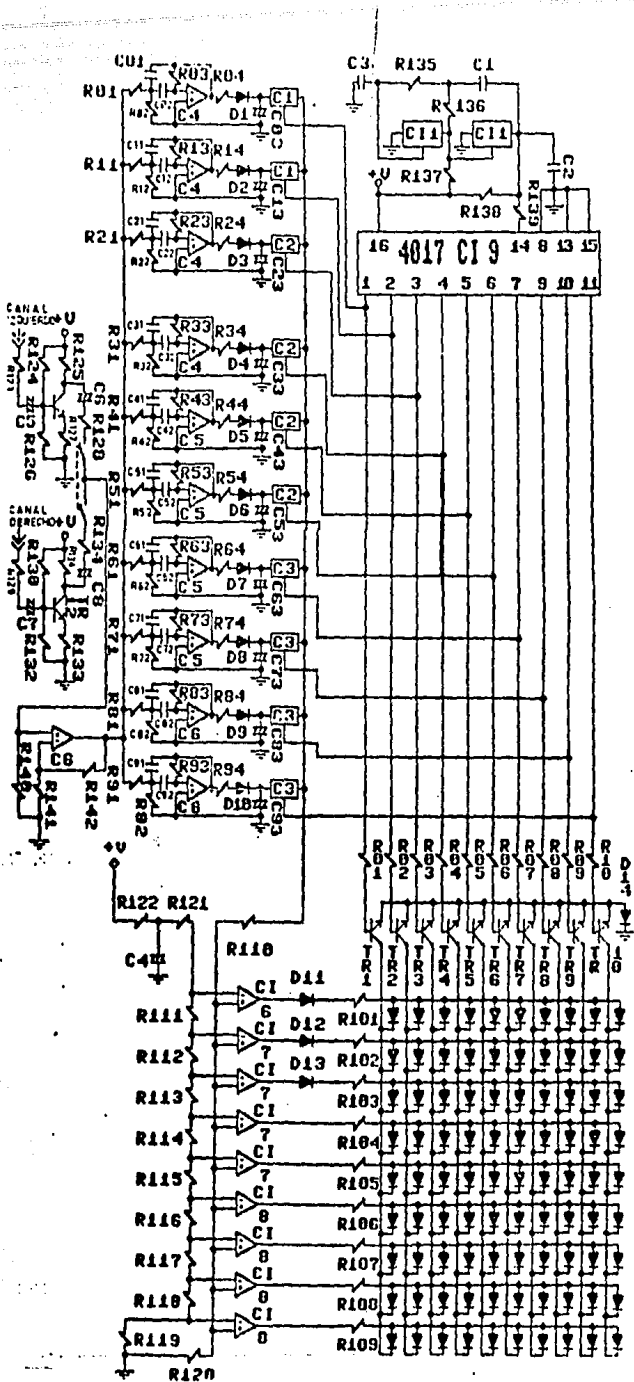


Figura IV.1 Diagrama del Analizador de Espectros.

en voltaje cercana a 8 dB.; posteriormente la señal pasa a través de un interruptor 1PDT, el cual se encarga de seleccionar al canal que se desee analizar.

A continuación la señal llega al amplificador operacional operando en configuración de preamplificador No-Inversor, el cual fué estudiado en las páginas 42/43. La función de este preamplificador es la de acoplar baja con alta impedancia, ya que la ganancia en voltaje de éste es bastante baja del orden de 3 dB.

Este amplificador operacional, así como todos los utilizados en este trabajo de Tesis, es el circuito integrado LM 324, el cual contiene en su interior a cuatro amplificadores operacionales. Se utilizó a dicho circuito integrado debido a las ventajas que presenta, como lo son: Posee compensación interna de frecuencia, requiere de una alimentación de corriente baja (800 MicroAmp.), posee compensación de sobretensión y su ancho de banda es del orden de 1 MHz.

IV.a.2) Sección de Filtrado de Frecuencias.

En esta sección se encuentran localizados los Filtros Pasabanda de Retroalimentación Múltiple tratados en las páginas 34/39. Estos diez filtros, como se mencionó en el párrafo anterior, utilizan como parte fundamental al amplificador operacional LM 324.

Débito a que los valores calculados para las resistencias no coincidieron con valores comerciales, es necesario utilizar más de una para alcanzar dicho valor calculado. En la tabla IV.1 se muestran los valores calculados, así como los valores de resistencias utilizados.

R ₁		R ₂		R ₃	
Kilohm		Kilohm		Kilohm	
Valor		Valor		Valor	
Cal.	Comer.	Cal.	Comer.	Cal.	Comer.
27.78	27	9.26	8.2+ 1	55.58	56
13.89	10 +3.9	4.63	4.7	27.78	27
27.58	27	9.19	8.2+ 1	55.16	56
16.75	15 +1.8	5.58	5.6	33.49	33
09.98	10	3.32	3.3	19.95	10+ 10
04.99	3.3+1.8	1.66	1.2+.47	09.98	10
11.72	12	3.91	3.9	23.45	22+1.5
15.03	15	5.01	4.7+.33	30.06	18+ 12
07.51	6.8+.68	2.51	1.5+ 1	15.03	15
08.14	8.2	2.71	2.7	16.28	15+1.2

Tabla IV.1 Valores Calculados y Valores Comerciales para las Resistencias de los Filtros.

La señal procedente del preamplificador antes descrito alimenta por igual a los diez filtros pasabandas de retroalimentación múltiple. De dicha señal solo pasará por cada filtro la frecuencia a la cual está entonado, esto es, que para el primer filtro dicha frecuencia será de 30 Hertz; 60 Hz. para el segundo; 120 Hz. para el tercero; 240 Hz. para el cuarto; 480 Hz. para el quinto; 960 Hz. para el sexto; 1,920 Hz. para el séptimo; 3,840 Hz. para el octavo; 7,680 Hz. para el noveno y 15,360 Hz. para el décimo. Esto significa, que si no existe en la señal de entrada la frecuencia determinada, entonces, a la salida del filtro no existirá señal alguna; por el contrario, si en la señal de entrada se encuentra presente una frecuencia dada, a la salida del filtro correspondiente se encontrará dicha frecuencia práctica-

mente con la misma amplitud que la señal original, ya que la ganancia de los filtros es unitaria.

La señal de salida de cada filtro, que debido a los capacitores de acoplamiento de los transistores antes descritos, es alterna, esto es que, existe una porción de la onda con voltaje positivo y otra con voltaje negativo. Dicha señal alterna es rectificadora por los diodos D1 al D10 con el fin de tener ahora una señal con componentes puramente positivos y finalmente se encuentra un capacitor, el cual se encarga de suavizar a esta señal con el fin de proporcionar un retraso de tiempo al apagado de los Diodos Emisores de Luz (LED's) de la Matriz de Visualización; esto es sumamente importante, ya que las variaciones de amplitud existentes en las ondas sonoras son de tal rapidez que el ojo humano no es capaz de apreciarlas, por lo que de no tener a estos capacitores la visualización del análisis del espectro sería incierta debido a que nuestros ojos no serían lo suficientemente rápidos para poder captar la máxima lectura que los LED's alcanzaron.

IV.a.3) Sección de Selección de Frecuencias.

En general, el propósito de esta sección es el de lograr tener la lectura del nivel de intensidad de una sola frecuencia durante un lapso de tiempo lo suficientemente corto para que el ojo no detecte intermitencia en las columnas de LED's. Esto se consigue utilizando circuitos integrados que operen como Interruptores Analógicos, denominados CD 4066, cuya función es la de conducir corriente en cualquier sentido siempre y cuando exista un potencial positivo en su entrada de control.

El componente fundamental de esta sección es el contador decimal de tecnología CMOS conocido como CD 4017. Este circuito integrado posee diez salidas, las cuales representan un número del 0 al 9; solo una de estas salidas puede estar en 1 lógico a un tiempo, esto significa que al estar el voltaje en la salida 0 a +10 Volts, entonces las salidas del 1 al 9 tendrán forzosamente 0 Volts. Igualmente el circuito CD 4017 tiene una entrada de señal de reloj, en donde al recibir un cambio de estado del 0 al 1 lógico, cambia el nivel alto de la salida 0 a la salida 1, obteniendo que la salida 0, así como las salidas de la 2 a la 9 tengan 0 Volts y así consecutivamente con cada nuevo pulso de reloj.

Para que las salidas del 0 al 9 del contador decimal CD 4017 estén cambiando de estado una a una, es necesario proveer de una señal continua de reloj, por lo que se requiere de un oscilador. El oscilador en este trabajo de Tesis, está compuesto por dos interruptores analógicos CD 4066, tres resistencias y tres capacitores; este oscilador comienza a oscilar desde el momento de energizarlo a una frecuencia continua de 400 Hz. Esta señal se aplica a la pata 14 del contador CD 4017, consiguiendo con esto que las salidas cambien de estado cada 2.5 milisegundos.

Cada salida del 0 al 9 del contador CD 4017, se conecta a la entrada de control de un interruptor Analógico CD 4066. Estos interruptores al recibir en su entrada de control una diferencia de potencial de +10 Volts ocasiona que exista conducción de corriente desde el filtro pasabandas hacia la sección de Comparación del Nivel de Intensidad; pero debido a que el contador CD 4017 solo proporciona un voltaje de +10 Volts en una sola salida a la vez, entonces solo se habilitará un solo interruptor

analógico en un momento determinado, por lo que al cambiar el 1 lógico de una salida a otra del contador, se consigue que se vaya habilitando la señal de un filtro a otro. Logrando así que la sección de Comparación del Nivel de Intensidad reciba solo el nivel de una sola frecuencia durante cada 2.5 milisegundos.

Observando el diagrama electrónico podemos observar que los LED's de la matriz de visualización están conectados en paralelo; por ello, es necesario que también se seleccione una sola columna de la matriz que corresponda a la frecuencia que se está analizando en ese momento, de lo contrario encenderían todas las columnas y eso no es deseable.

Para conseguir lo anterior, solo es necesario cortar la corriente de la conexión a común de los LED's. Esto se logra utilizando las mismas salidas del contador decimal CD 4017 para seleccionar con ellas solo una columna de la matriz a la vez; cada salida alimenta a la base de un transistor tipo NPN, operando estos como interruptores, ya que trabajan en corte y saturación. Por lo tanto, al recibir un potencial de +10 Volts en la base, el transistor conduce ocasionando que la columna habilitada encienda.

IV.a.4) Sección de Comparación del Nivel de Intensidad.

Esta sección es la encargada de energizar a cada columna de la matriz de visualización. Para realizar lo anterior, la señal proveniente del filtro pasabanda seleccionado se analiza mediante una serie de comparadores de voltaje y un divisor de tensión para proporcionar el

voltaje de referencia necesario para realizar la comparación. Tanto los comparadores como el divisor de tensión fueron tratados anteriormente en las páginas 39/42. Debido a que son nueve renglones en la matriz, resulta necesario utilizar igualmente nueve comparadores.

Como se puede apreciar en la tabla III.4, los voltajes de referencia para cada comparador son como siguen:

Primer comparador	83 mV.
Segundo comparador	116 mV.
Tercer comparador	164 mV.
Cuarto comparador	233 mV.
Quinto comparador	334 mV.
Sexto comparador	455 mV.
Séptimo comparador	637 mV.
Octavo comparador	910 mV.
Noveno comparador	1,300 mV.

Observando la tabla anterior podemos decir entonces que, para que encienda el primer LED se requiere que la señal del filtro alcance los 83 milivolts para que el comparador se dispare y se eleve su voltaje desde 0 Volts hasta 8 Volts; posteriormente para que encienda el segundo LED, la señal del filtro debe alcanzar 116 mV y así sucesivamente de tal forma que si el voltaje del filtro alcanza 1.3 Volts el noveno LED encenderá.

IV.a.5) Sección de la Matriz de Visualización.

Esta sección solo contiene a la matriz formada por 90 LED's estudiada en las páginas 29/30. La función de las resistencias de la R101 a la R109 es la de limitar la corriente al LED, alimentando a este con 5 mAmp.

IV.a.6) Sección de la Fuente de Poder.

El diagrama de esta sección es el que aparece a continuación. Con el fin de simplificar el diseño de la Fuente de poder, se utilizaron reguladores integrados para proporcionar los voltajes de +10 y -10 Volts nombrados REG1 y REG2 respectivamente. La alimentación de corriente es proporcionada por el transformador TR1, el cual entrega en el secundario 12 Volts de corriente alterna de la derivación central a ambos extremos.

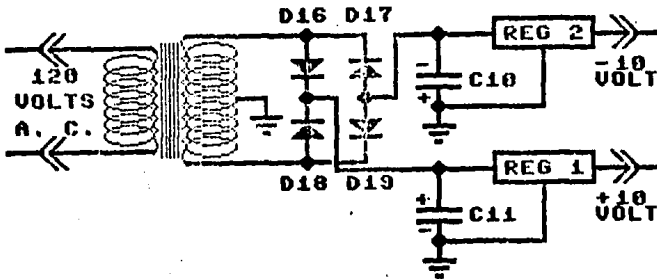


Figura IV.2 Diagrama Eléctrico de la Fuente de Poder.

Esta corriente alterna es rectificadada posteriormente por el puente de diodos constituido por los diodos D16, D17, D18 y D19, con el objeto de obtener tanto un voltaje positivo como uno negativo con respecto a tierra. Dichas señales rectificadas son entonces expuestas al filtrado de los capacitores C10 y C11 respectivamente. De dicho filtrado obtenemos señales de +17 y -17 Volts de corriente continua, las cuales son reguladas por REG1 y REG2.

IV.b) Lista de Componentes Electrónicos.

A continuación se muestra la lista de componentes electrónicos que fueron utilizados para ensamblar al analizador de espectros tratado en este trabajo de Tesis profesional.

Denominación	Referencia	Cantidad
CD 4066	CI1 al CI3	3
LM 324	CI4 al CI8	5
CD 4017	CI9	1
7810	REG1	1
7910	REG2	1

Tabla IV.2 Listado de Circuitos Integrados.

Denominación	Referencia	Cantidad
1N4148	D1 al D14	14
1N4001	D15 al D19	5

Tabla IV.3 Listado de Diodos.

Denominación	Referencia	Cantidad
BC 549	TR1 al TR10	10
C 1815	TR11 al TR12	2

Tabla IV.4 Listado de Transistores.

Denominación	Referencia	Cantidad
0.0033 μ Fd Mylar	C1	1
180 pFd Ceramica	C2, C3	2
4.7 μ Fd Electro.	C4	1
10 μ Fd Electro.	C5 al C8	4
470 μ Fd Electro.	C10, C11	2
0.270 μ Fd Mylar	C01, C02	2
2.2 μ Fd Electro.	C03, C13, C23, C33	4
0.270 μ Fd Mylar	C11, C12	2
0.068 μ Fd Mylar	C21, C22	2
0.056 μ Fd Mylar	C31, C32	2
0.047 μ Fd Mylar	C41, C42	2
1 μ Fd Electroli.	C43, C53, C63, C73, C83, C93	6
0.047 μ Fd Mylar	C51, C52	2
0.010 μ Fd Mylar	C61, C62	2
0.0039 μ Fd Mylar	C71, C72	2
0.0039 μ Fd Mylar	C81, C82	2
0.0018 μ Fd Mylar	C91, C92	2

Tabla IV.5 Listado de Capacitores.

Denominación	Referencia	Cantidad
220 Ohms	R101 al R109	9
330 Ohms	R72b, R118	2
470 Ohms	R52b, R117	2
560 Ohms	R127, R133	2
680 Ohms	R81b, R116	2
820 Ohms	R119	1
1 KOhms	R02b, R22b, R82b, R110, R115, R128, R134	7

Denominación	Referencia	Cantidad
1.2 KOhms	R52a, R93b, R114	3
1.5 KOhms	R63b, R82a	2
1.8 KOhms	R31b, R51b, R113	3
2.2 KOhms	R125, R131	2
2.7 KOhms	R92 , R112	2
3.3 KOhms	R42 , R51a	2
3.9 KOhms	R11b, R62 , R111	3
4.7 KOhms	R12 , R72a	2
5.6 KOhms	R32 , R85 , R95	3
6.8 KOhms	R81a	1
8.2 KOhms	R02a, R22a, R91	3
10 KOhms	R11a, R41 , R43a, R43b, R53	5
12 KOhms	R61 , R73b, R142	3
15 KOhms	R31a, R71 , R83 , R93a	4
18 KOhms	R73a, R01 a R10 R126, R132	13
22 KOhms	R63a, R137, R138	3
27 KOhms	R01 , R13 , R21 , R141	4
33 KOhms	R33	1
39 KOhms	R122, R140	2
47 KOhms	R120, R121	2
56 KOhms	R03 , R23	2
68 KOhms	R123, R124, R129, R130	4
100 KOhms	R139	1
390 KOhms	R135	1
1 MOhms	R143	1

Tabla IV.6 Listado de Resistencias.

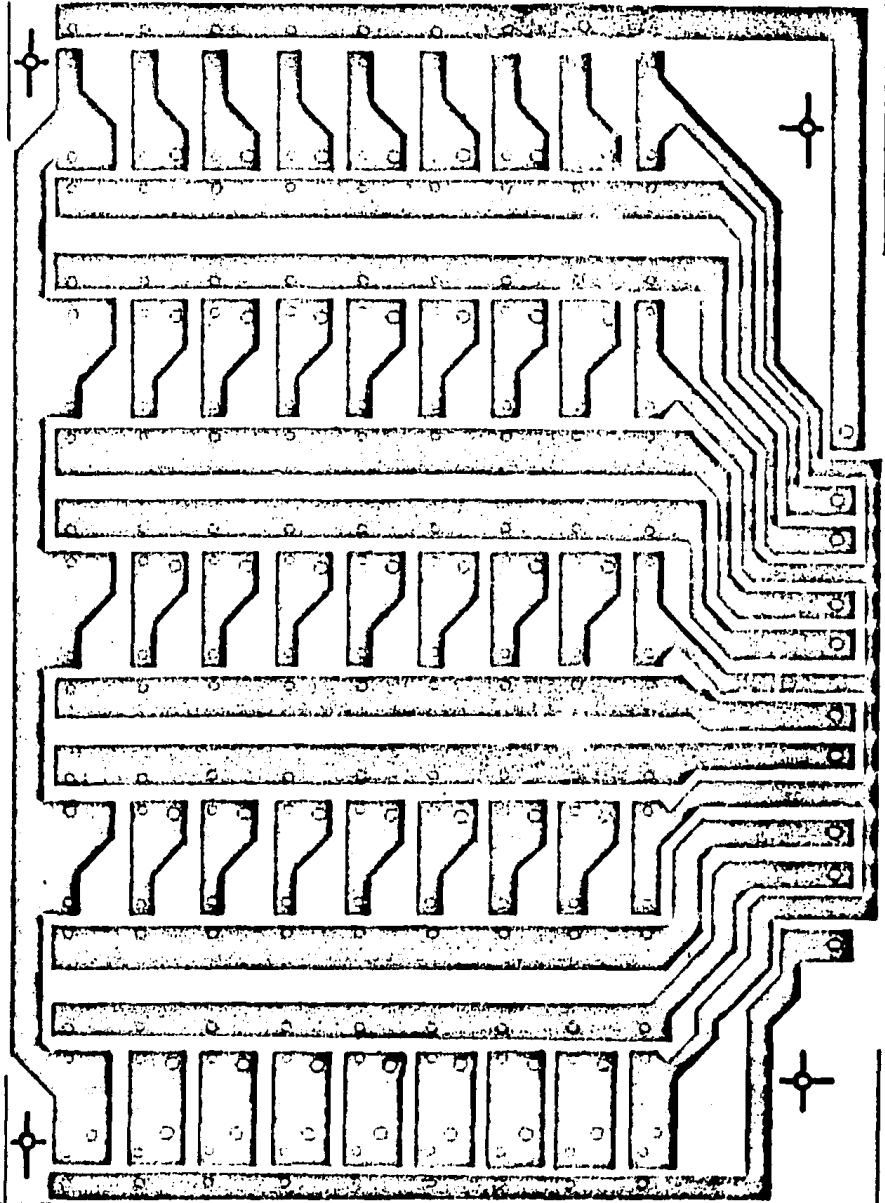
IV.c) Tarjetas de Circuito Impreso.

Para la construcción del analizador de espectros prototipo tratado en este trabajo de Tesis Profesional, fue necesario fabricar dos tarjetas de circuito impreso. Una de ellas contiene a todos los componentes electrónicos utilizados para preamplificar, filtrar, seleccionar y medir el nivel de la señal de entrada, mientras que en la segunda solo se encuentran los 90 LED's de la matriz de visualización.

Para la elaboración de ambas tarjetas, primeramente se hizo el diseño de las pistas, posteriormente se dibujaron tomando en cuenta las dimensiones de los componentes así como el ancho de las pistas dependiendo del nivel de corriente que fluye por cada una de ellas.

Ya teniendo el dibujo en blanco y negro, se procede entonces a tomar una fotografía del dibujo, con ella se lleva a cabo el proceso de revelado y lavado del cobre con cloruro férrico.

A continuación se muestran los dibujos definitivos utilizados para construir el analizador de espectros, primeramente el dibujo correspondiente a la matriz de visualización y posteriormente el de los componentes electrónicos; con el fin de conocer la ubicación de cada componente sobre la tarjeta de circuito impreso, es necesario realizar un dibujo donde aparezan todos los barrenos y que componente le pertenece a cada uno de ellos, igualmente se muestra junto a cada componente su clave de identificación, de tal manera que dicho elemento sea posible de identificar tanto en la lista de componentes, como en el diagrama electrónico. Este dibujo aparece en la figura IV.5.



4 Figura IV.3 Dibujo de la Tarjeta de Circuito
 5 Impreso para la Matriz de Visualización.

Este dibujo esta realizado en escala 2:1, esto es. para que los errores existentes al ser reducidos a la mitad sean de menor importancia.

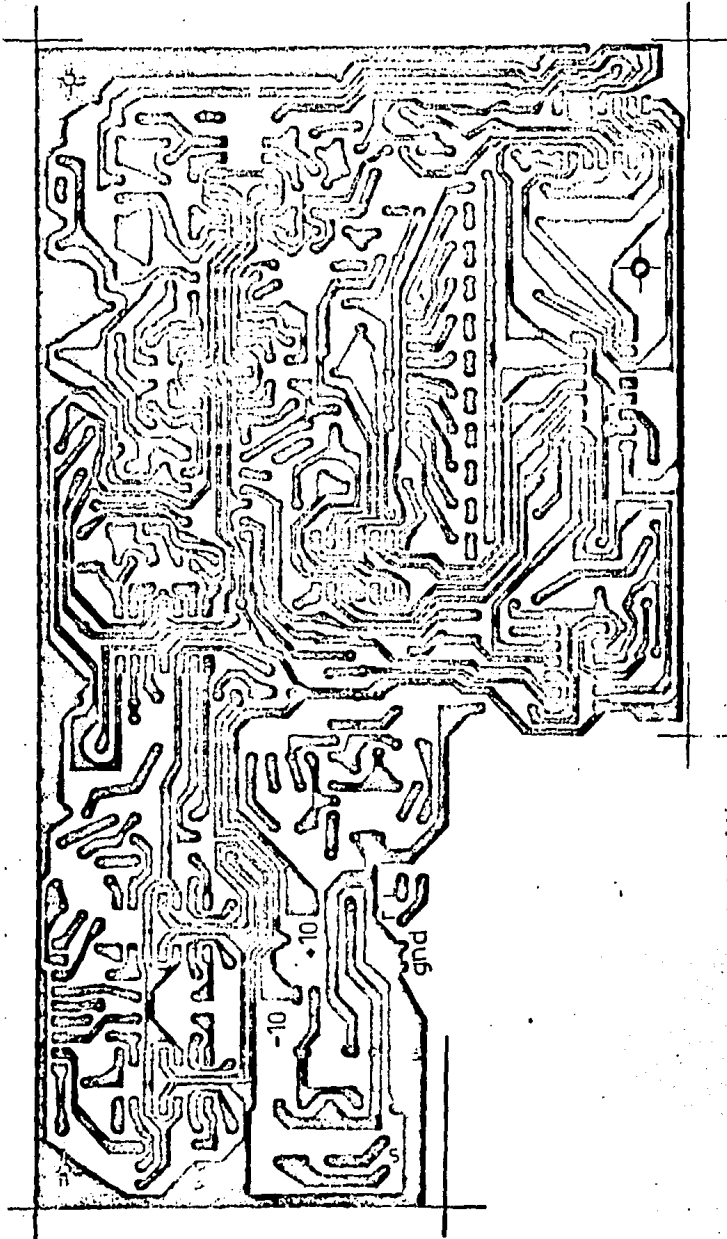


Figura IV.4 Dibujo de la Tarjeta de Circuito Impreso para los Componentes Electrónicos.

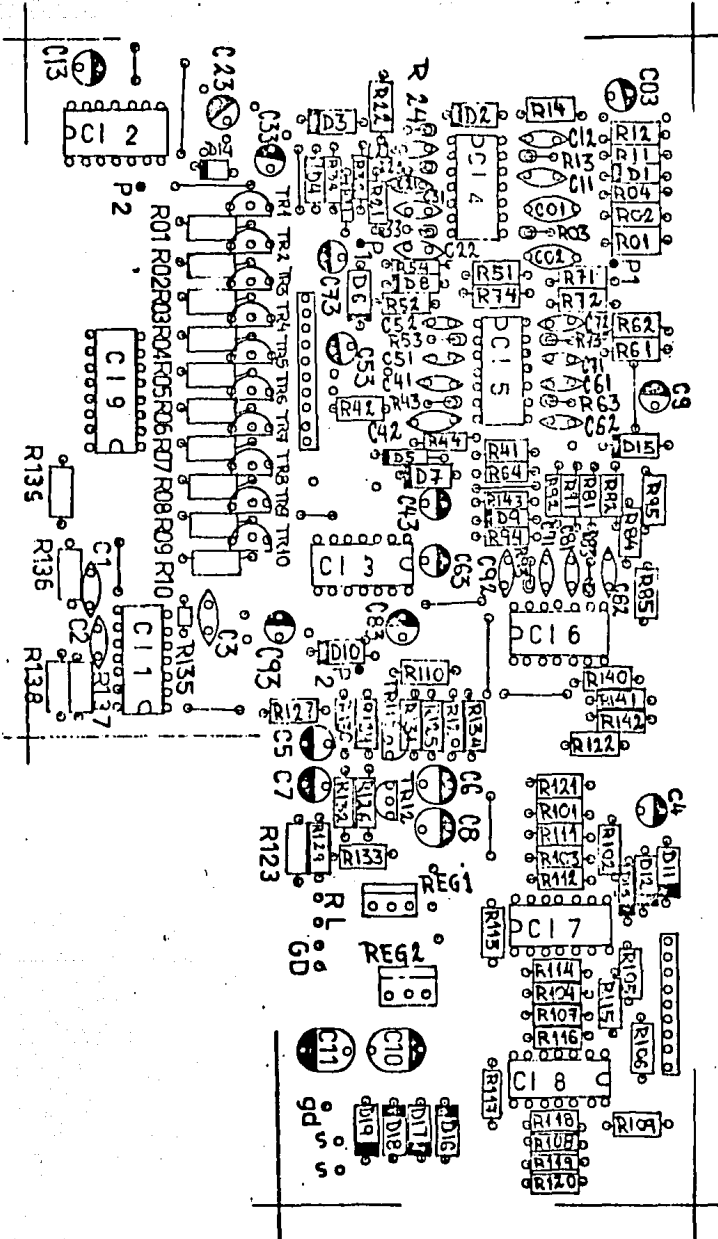


Figura IV.5 Dibujo para la Localización e Identificación de los Componentes Electrónicos.

Capitulo V

Metodologia de Prueba.

V.a) Implementación Práctica.

En esta sección se tratarán los pasos a seguir para obtener el funcionamiento óptimo del analizador de espectros diseñado en este trabajo de Tesis Profesional. Lo cual se lleva a cabo explicando cuales son las señales mas criticas de cada sección de dicho aparato, para una mejor comprensión referirse al diagrama electrico localizado en el Capitulo IV.

V.a.1) Fuente de Poder.

Primeramente encontramos en el secundario del transformador TR1 un voltaje de corriente alterna de 12 Volts desde la derivación central a cualquiera de los dos extremos de la bobina. Posteriormente, en la entrada de los reguladores de voltaje REG1 y REG2 deben existir tanto +17 Volts D.C. así como -17 V.D.C. y a su salida alimentar con +10 V.D.C. y -10 V.D.C. regulados hasta en 1.5 Amperes respectivamente.

V.a.2) Preamplificación y Acoplamiento.

Los niveles de voltaje en los transistores de preamplificación de señal son medidos estáticamente, esto es, sin señal de entrada. Dichos potenciales se enlistan a continuación:

Voltaje de Base a Tierra	1.7 Volts.
Voltaje de Colector a Emisor	4.5 Volts.
Voltaje de Emisor a Tierra	1.0 Volts.

Ambos transistores operan en Clase A, por lo cual se alimentan únicamente con +10 Volts y tierra.

V.a.3) Selección de Frecuencias.

La señal fundamental para el funcionamiento de esta sección es la obtenida a la salida del oscilador compuesto por dos interruptores analógicos CD 4066, contenidos en el circuito integrado CI1. Dicha señal es una onda cuadrada de 400 Hertz, utilizada como señal de reloj para que el contador decimal CI9 pueda seleccionar cada frecuencia a su debido tiempo. En las salidas de dicho contador (patas 1 a 11) existe un pulso de 2.5 milisegundos de duración con una separación entre pulsos de 22.5 milisegundos, secuenciando de una salida a otra. Tanto el circuito integrado CI1 como el CI9 son alimentados con +10 Volts y tierra.

V.a.4) Comparación del Nivel de Intensidad.

En esta sección los niveles de voltaje principales son aquellos que se localizan a la entrada de los nueve comparadores formados por dos amplificadores operacionales LM324. De dichos potenciales depende totalmente la precisión de la escala logarítmica de nivel de la matriz de visualización. Estos voltajes se enlistan a continuación con su respectivo número de pata y circuito integrado al que pertenecen:

Circuito Integrado	No. de Pata	Voltaje
C I 6	2	1300 mV
C I 7	9	910 mV
C I 7	13	637 mV
C I 7	2	455 mV
C I 7	6	334 mV
C I 8	9	233 mV
C I 8	13	164 mV
C I 8	2	116 mV
C I 8	6	83 mV

Tabla V.1 Voltaje existente a la entrada de cada comparador.

Tanto el circuito integrado CI7, así como el CI8 se alimentan con +10 Volts y tierra; mientras que los otros tres amplificadores operacionales LM 324; nombrados: CI4, CI5 y CI6; utilizados para configurar a los filtros pasabanda de retroalimentación múltiple de la sección de filtrado de frecuencias, requieren alimentarse tanto con +10 Volts como con -10 Volts.

V.b) Pruebas y Resultados.

En este inciso se muestran las pruebas efectuadas al prototipo cuyo diseño fue tratado en este trabajo de Tesis Profesional y posteriormente los resultados obtenidos de dichas pruebas son comparados con los valores teóricos calculados a lo largo del Capítulo III.

V.b.1) Prueba de Frecuencias Centrales.

Esta prueba es necesaria para conocer la desviación existente entre las frecuencias centrales calculadas en el capítulo III y las mismas frecuencias obtenidas en el prototipo.

Para llevar a cabo esta prueba se utiliza: un generador de funciones, el cual es el encargado de producir una señal senoidal de una frecuencia determinada; un voltmetro digital para corriente alterna y un frecuencímetro digital.

La prueba se realiza de la siguiente manera: Primeramente se conecta la sonda del voltmetro digital a la salida del primer filtro pasabandas de retroalimentación múltiple, cuya frecuencia central es de 30 Hertz; se conecta el frecuencímetro al generador de funciones y posteriormente, dicho generador se conecta a cualquiera de las dos entradas de señal existentes en el analizador de espectros prototipo. A continuación, se fija al generador de funciones en 30 Hertz y con el micrómetro se calibra la frecuencia hasta que el voltmetro marque el nivel máximo obtenido a la salida del filtro pasabandas. Una vez alcanzado el máximo voltaje, se procede a tomar la medición del frecuencímetro, ya que dicho valor obtenido al realizar la medición será la frecuencia central real del filtro.

Una vez terminada la prueba antes descrita, se procede entonces, a repetir la misma prueba solo que ahora con el segundo filtro perteneciente a la frecuencia central de 60 Hertz; posteriormente con el perteneciente a 120 Hertz y así sucesivamente hasta llegar a la frecuencia central de 15,360 Hertz.

A continuación se muestra la tabla que contiene tanto a las frecuencias centrales teóricas, como a la sus homólogas obtenidas con esta prueba, así como el porcentaje de desviación existente entre ambas.

Frecuencias Centrales		
Filtros Teórico	Filtros Prototipo	Desviación en Frecuencia
Hertz	Hertz	Porcentaje
30	29.4	2.00 %
60	59.6	0.66 %
120	128.0	6.66 %
240	253.0	5.42 %
480	505.0	6.25 %
960	1,025.0	6.77 %
1,920	1,823.0	5.05 %
3,840	3,984.0	3.75 %
7,680	7,760.0	1.04 %
15,360	14,420.0	6.12 %

Tabla V.2 Relación de la desviación en Frecuencia entre los filtros Teóricos y los Reales.

V.b.2) Prueba del Potencial de Referencia en los Comparadores.

El objeto de esta prueba es el de conocer la desviación existente entre el potencial de referencia calculado en el capítulo III y el voltaje que se encuentra presente en el Prototipo del Analizador de Espectros.

Como se recordará del Tercer Capítulo, el potencial de referencia se obtuvo utilizando una serie de divisores de tensión formados por un conjunto de resistencias. Dicho potencial es requerido como punto de comparación para detectar el nivel de la señal a una frecuencia determinada. La exactitud de estos voltajes afecta directamente a la precisión a la cual el aparato responde.

Esta prueba se realiza utilizando solo un voltmetro digital, ya que para tomar la medición de voltajes no es necesario alimentar al analizador de espectros con señal, aunando a lo anterior, el potencial que se desea medir solo tiene componentes de corriente continua. Por lo que, es necesario medir el voltaje en los puntos mencionados en la tabla V.1.

Circuito Integrado	No. de Pata	Voltaje Teórico	Voltaje Real.	Desviación en Voltaje
C I 6	2	1300 mV	1390 mV	6.92 %
C I 7	9	910 mV	985 mV	8.24 %
C I 7	13	637 mV	654 mV	2.67 %
C I 7	2	455 mV	476 mV	4.62 %
C I 7	6	334 mV	347 mV	3.89 %
C I 8	9	233 mV	243 mV	4.29 %
C I 8	13	164 mV	177 mV	7.93 %
C I 8	2	116 mV	126 mV	8.62 %
C I 8	6	83 mV	89 mV	7.22 %

Tabla V.3- Voltaje existente a la entrada de cada comparador.

En la tabla anterior se muestran los puntos de medición de dichos voltajes, los potenciales calculados en el capítulo III y los obtenidos durante las mediciones efectuadas al analizador de espectros prototipo.

V.b.3) Prueba de Polarización de Transistores.

Con los resultados obtenidos de esta prueba, se observa la desviación existente entre los valores que fueron calculados previamente en el Capítulo III y los obtenidos prácticamente en el prototipo del analizador de espectros.

Esta prueba se realiza empleando únicamente un voltmetro, ya que se lleva a cabo en condiciones estáticas, esto significa que las mediciones se toman sin tener señal de entrada al analizador de espectros. Esta prueba es necesaria para saber si los transistores que trabajan en clase A realmente están polarizados correctamente, ya que de lo contrario existiría distorsión en la etapa de preamplificación.

Potencial entre	Voltaje Teórico	Voltaje Real	Porcentaje Desviación
Base a Tierra	1.7 Volts	2.04 Volts	20.0 %
Colector a Emisor	4.5 Volts	3.88 Volts	13.8 %
Emisor a Tierra	1.0 Volts	1.40 Volts	40.0 %

Tabla V.4 Relación de Voltajes y Desviación Existente en la Polarización de los Transistores.

En la tabla anterior se muestran tanto los voltajes teóricos calculados previamente, así como aquellos obtenidos experimentalmente en el prototipo del analizador de espectros y posteriormente se indica en porcentaje la desviación existente entre ambos.

V.b.4) Graficación de la Respuesta a la Frecuencia de los Filtros.

Esta prueba es útil para observar la curva de respuesta a la frecuencia de cada uno de los diez filtros pasabandas de retroalimentación múltiple que componen al prototipo del analizador de espectros, y de esta gráfica es posible apreciar en una forma práctica tanto la frecuencia central a la que opera cada filtro, así como su frecuencia superior e inferior de cada uno de ellos. Una vez conseguidos los datos anteriores, se estará en posibilidad de comparar los valores obtenidos en forma teórica en el Capítulo III de aquellos encontrados gráficamente.

Para realizar esta prueba se requiere de: Un voltmetro de corriente alterna RMS, un generador de funciones y un frecuencímetro digital. Con el generador de funciones se alimenta al analizador de espectros con una señal senoidal de amplitud constante, posteriormente se obtienen varias mediciones de voltaje a la salida de cada filtro. Con dichas mediciones de voltaje se tabulan con la frecuencia a la cual se obtuvo tal medición. Estas tabulaciones se elaboran para cada filtro y ya con ellas se procede a graficarlas en papel semilogarítmico.

En las siguientes tablas se pueden apreciar la tabulaciones obtenidas con las mediciones efectuadas sobre el prototipo del analizador de espectros. En ellas se muestran para cada filtro: el voltaje medido a la salida de éste, la frecuencia a la que se obtuvo dicha medición y la relación existente entre el voltaje de la señal de entrada y la amplitud registrada en cada filtro; dicha relación está dada en Decibeles, que se obtiene a partir de la razón:

$$\text{Decibel} = 20 \log (V_{\text{sal}} / V_{\text{ent}})$$

La amplitud de la señal de entrada al analizador de espectros se mantiene a 1.09 Volts C.A. constante.

Filtro con Frecuencia Central en 15,360 Hz.		
Voltaje RMS	Frecuencia Hertz.	Relación Decibel
0.3 V	4,650 Hz.	-11.20 dB
0.4 V	6,060 Hz.	-7.88 dB
0.5 V	7,160 Hz.	-6.77 dB
0.6 V	8,050 Hz.	-5.19 dB
0.7 V	8,760 Hz.	-3.85 dB
0.8 V	9,350 Hz.	-2.69 dB
0.9 V	9,850 Hz.	-1.66 dB
1.0 V	10,290 Hz.	-0.75 dB
1.1 V	10,670 Hz.	0.08 dB
1.2 V	11,000 Hz.	0.84 dB
1.3 V	11,350 Hz.	1.53 dB
1.4 V	11,700 Hz.	2.17 dB
1.5 V	12,000 Hz.	2.77 dB
1.6 V	12,700 Hz.	3.33 dB
1.5 V	13,450 Hz.	2.77 dB

831

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Voltaje RMS	Frecuencia Hertz.	Relación Decibell
1.4 V	13,800 Hz.	2.17 dB
1.3 V	14,180 Hz.	1.53 dB
1.2 V	14,550 Hz.	0.84 dB
1.1 V	14,900 Hz.	0.08 dB
1.0 V	15,300 Hz.	-0.75 dB
0.9 V	15,750 Hz.	-1.66 dB
0.8 V	16,250 Hz.	-2.29 dB
0.7 V	16,850 Hz.	-3.85 dB
0.6 V	17,600 Hz.	-5.19 dB
0.5 V	18,500 Hz.	-6.77 dB
0.4 V	19,760 Hz.	-7.88 dB
0.3 V	21,650 Hz.	-11.20 dB

Tabla V.5 Tabulación de Voltaje contra Frecuencia del Filtro Correspondiente a la Frecuencia Central de 15,360 Hz.

Filtro con Frecuencia Central en 7,680 Hz.		
Voltaje RMS	Frecuencia Hertz.	Relación Decibell
0.3 V	6,000 Hz.	-11.20 dB
0.4 V	6,250 Hz.	-7.88 dB
0.5 V	6,450 Hz.	-6.77 dB
0.6 V	6,620 Hz.	-5.19 dB
0.7 V	6,750 Hz.	-3.85 dB
0.8 V	6,870 Hz.	-2.69 dB
0.9 V	6,980 Hz.	-1.66 dB
1.0 V	7,070 Hz.	-0.75 dB
1.1 V	7,160 Hz.	0.08 dB

Voltaje RMS	Frecuencia Hertz.	Relación Decibell
1.2 V	7,250 Hz.	0.84 dB
1.3 V	7,340 Hz.	1.53 dB
1.4 V	7,400 Hz.	2.17 dB
1.5 V	7,540 Hz.	2.77 dB
1.6 V	7,720 Hz.	3.33 dB
1.5 V	7,900 Hz.	2.77 dB
1.4 V	8,030 Hz.	2.17 dB
1.3 V	8,130 Hz.	1.53 dB
1.2 V	8,240 Hz.	0.84 dB
1.1 V	8,340 Hz.	0.08 dB
1.0 V	8,440 Hz.	-0.75 dB
0.9 V	8,550 Hz.	-1.66 dB
0.8 V	8,680 Hz.	-2.29 dB
0.7 V	8,820 Hz.	-3.85 dB
0.6 V	8,990 Hz.	-5.19 dB
0.5 V	9,180 Hz.	-6.77 dB
0.4 V	9,420 Hz.	-7.88 dB
0.3 V	9,730 Hz.	-11.20 dB

Tabla V.6 Tabulación de Voltaje contra Frecuencia del Filtro Correspondiente a la Frecuencia Central de 7,680 Hz.

Filtro con Frecuencia Central en 3,840 Hz.		
Voltaje RMS	Frecuencia Hertz.	Relación Decibell
0.3 V	3,230 Hz.	-11.20 dB
0.4 V	3,400 Hz.	-7.88 dB
0.5 V	3,490 Hz.	-6.77 dB
0.6 V	3,560 Hz.	-5.19 dB
0.7 V	3,630 Hz.	-3.85 dB
0.8 V	3,690 Hz.	-2.69 dB
0.9 V	3,740 Hz.	-1.66 dB
1.0 V	3,780 Hz.	-0.75 dB
1.1 V	3,820 Hz.	0.08 dB
1.2 V	3,850 Hz.	0.84 dB
1.3 V	3,880 Hz.	1.53 dB
1.4 V	3,920 Hz.	2.17 dB
1.5 V	3,960 Hz.	2.77 dB
1.6 V	4,000 Hz.	3.33 dB
1.5 V	4,070 Hz.	2.77 dB
1.4 V	4,100 Hz.	2.17 dB
1.3 V	4,190 Hz.	1.53 dB
1.2 V	4,260 Hz.	0.84 dB
1.1 V	4,320 Hz.	0.08 dB
1.0 V	4,360 Hz.	-0.75 dB
0.9 V	4,400 Hz.	-1.66 dB
0.8 V	4,450 Hz.	-2.29 dB
0.7 V	4,490 Hz.	-3.85 dB
0.6 V	4,540 Hz.	-5.19 dB
0.5 V	4,590 Hz.	-6.77 dB
0.4 V	4,650 Hz.	-7.88 dB
0.3 V	4,720 Hz.	-11.20 dB

Tabla V.7 Tabulación de Voltaje contra Frecuencia del Filtro Correspondiente a 3,840 Hz.

Filtro con Frecuencia Central en 1,920 Hz.		
Voltaje RMS	Frecuencia Hertz.	Relación Decibell
0.3 V	1,540 Hz.	-11.20 dB
0.4 V	1,570 Hz.	-7.88 dB
0.5 V	1,590 Hz.	-6.77 dB
0.6 V	1,610 Hz.	-5.19 dB
0.7 V	1,630 Hz.	-3.85 dB
0.8 V	1,650 Hz.	-2.69 dB
0.9 V	1,660 Hz.	-1.66 dB
1.0 V	1,680 Hz.	-0.75 dB
1.1 V	1,700 Hz.	0.08 dB
1.2 V	1,710 Hz.	0.84 dB
1.3 V	1,730 Hz.	1.53 dB
1.4 V	1,760 Hz.	2.17 dB
1.5 V	1,790 Hz.	2.77 dB
1.6 V	1,820 Hz.	3.33 dB
1.5 V	1,850 Hz.	2.77 dB
1.4 V	1,870 Hz.	2.17 dB
1.3 V	1,890 Hz.	1.53 dB
1.2 V	1,910 Hz.	0.84 dB
1.1 V	1,930 Hz.	0.08 dB
1.0 V	1,950 Hz.	-0.75 dB
0.9 V	1,970 Hz.	-1.66 dB
0.8 V	1,990 Hz.	-2.29 dB
0.7 V	2,020 Hz.	-3.85 dB
0.6 V	2,040 Hz.	-5.19 dB
0.5 V	2,080 Hz.	-6.77 dB
0.4 V	2,120 Hz.	-7.88 dB
0.3 V	2,170 Hz.	-11.20 dB

Tabla V.8 Tabulación de Voltaje contra Frecuencia del Filtro Correspondiente a 1,920 Hz.

Filtro con Frecuencia Central en 960 Hz.		
Voltaje RMS	Frecuencia Hertz.	Relación Decibel
0.3 V	865 Hz.	-11.20 dB
0.4 V	885 Hz.	-7.88 dB
0.5 V	905 Hz.	-6.77 dB
0.6 V	920 Hz.	-5.19 dB
0.7 V	935 Hz.	-3.85 dB
0.8 V	950 Hz.	-2.69 dB
0.9 V	960 Hz.	-1.66 dB
1.0 V	970 Hz.	-0.75 dB
1.1 V	980 Hz.	0.08 dB
1.2 V	990 Hz.	0.84 dB
1.3 V	1,010 Hz.	1.53 dB
1.4 V	1,030 Hz.	2.17 dB
1.5 V	1,040 Hz.	2.77 dB
1.6 V	1,060 Hz.	3.33 dB
1.5 V	1,090 Hz.	2.77 dB
1.4 V	1,110 Hz.	2.17 dB
1.3 V	1,120 Hz.	1.53 dB
1.2 V	1,130 Hz.	0.84 dB
1.1 V	1,140 Hz.	0.08 dB
1.0 V	1,160 Hz.	-0.75 dB
0.9 V	1,170 Hz.	-1.66 dB
0.8 V	1,180 Hz.	-2.29 dB
0.7 V	1,190 Hz.	-3.85 dB
0.6 V	1,210 Hz.	-5.19 dB
0.5 V	1,230 Hz.	-6.77 dB
0.4 V	1,250 Hz.	-7.88 dB
0.3 V	1,280 Hz.	-11.20 dB

Tabla V.9 Tabulación de Voltaje contra Frecuencia del Filtro Correspondiente a 960 Hz.

Filtro con Frecuencia Central en 480 Hz.		
Voltaje RMS	Frecuencia Hertz.	Relación Decibell
0.3 V	400 Hz.	-11.20 dB
0.4 V	420 Hz.	-7.88 dB
0.5 V	435 Hz.	-6.77 dB
0.6 V	445 Hz.	-5.19 dB
0.7 V	455 Hz.	-3.85 dB
0.8 V	460 Hz.	-2.69 dB
0.9 V	465 Hz.	-1.66 dB
1.0 V	470 Hz.	-0.75 dB
1.1 V	475 Hz.	0.08 dB
1.2 V	480 Hz.	0.84 dB
1.3 V	485 Hz.	1.53 dB
1.4 V	490 Hz.	2.17 dB
1.5 V	495 Hz.	2.77 dB
1.6 V	510 Hz.	3.33 dB
1.5 V	517 Hz.	2.77 dB
1.4 V	524 Hz.	2.17 dB
1.3 V	530 Hz.	1.53 dB
1.2 V	535 Hz.	0.84 dB
1.1 V	540 Hz.	0.08 dB
1.0 V	545 Hz.	-0.75 dB
0.9 V	550 Hz.	-1.66 dB
0.8 V	560 Hz.	-2.29 dB
0.7 V	570 Hz.	-3.85 dB
0.6 V	580 Hz.	-5.19 dB
0.5 V	595 Hz.	-6.77 dB
0.4 V	620 Hz.	-7.88 dB
0.3 V	650 Hz.	-11.20 dB

Tabla V.10 Tabulación de Voltaje contra Frecuencia del Filtro Correspondiente a 480 Hz.

Filtro con Frecuencia Central en 240 Hz.		
Voltaje RMS	Frecuencia Hertz.	Relación Decibell
0.3 V	160 Hz.	-11.20 dB
0.4 V	185 Hz.	-7.88 dB
0.5 V	200 Hz.	-6.77 dB
0.6 V	210 Hz.	-5.19 dB
0.7 V	218 Hz.	-3.85 dB
0.8 V	220 Hz.	-2.69 dB
0.9 V	230 Hz.	-1.66 dB
1.0 V	233 Hz.	-0.75 dB
1.1 V	235 Hz.	0.08 dB
1.2 V	238 Hz.	0.84 dB
1.3 V	240 Hz.	1.53 dB
1.4 V	245 Hz.	2.17 dB
1.5 V	250 Hz.	2.77 dB
1.6 V	255 Hz.	3.33 dB
1.5 V	260 Hz.	2.77 dB
1.4 V	265 Hz.	2.17 dB
1.3 V	275 Hz.	1.53 dB
1.2 V	280 Hz.	0.84 dB
1.1 V	285 Hz.	0.08 dB
1.0 V	290 Hz.	-0.75 dB
0.9 V	295 Hz.	-1.66 dB
0.8 V	300 Hz.	-2.29 dB
0.7 V	310 Hz.	-3.85 dB
0.6 V	322 Hz.	-5.19 dB
0.5 V	350 Hz.	-6.77 dB
0.4 V	410 Hz.	-7.88 dB
0.3 V	470 Hz.	-11.20 dB

Tabla V.11 Tabulación de Voltaje contra Frecuencia del Filtro Correspondiente a 240 Hz.

Filtro con Frecuencia Central en 120 Hz.		
Voltaje RMS	Frecuencia Hertz.	Relación Decibell
0.3 V	75 Hz.	-11.20 dB
0.4 V	90 Hz.	-7.88 dB
0.5 V	100 Hz.	-6.77 dB
0.6 V	105 Hz.	-5.19 dB
0.7 V	110 Hz.	-3.85 dB
0.8 V	115 Hz.	-2.69 dB
0.9 V	117 Hz.	-1.66 dB
1.0 V	120 Hz.	-0.75 dB
1.1 V	122 Hz.	0.08 dB
1.2 V	125 Hz.	0.84 dB
1.3 V	127 Hz.	1.53 dB
1.4 V	130 Hz.	2.17 dB
1.5 V	133 Hz.	2.77 dB
1.6 V	135 Hz.	3.33 dB
1.5 V	137 Hz.	2.77 dB
1.4 V	140 Hz.	2.17 dB
1.3 V	143 Hz.	1.53 dB
1.2 V	145 Hz.	0.84 dB
1.1 V	147 Hz.	0.08 dB
1.0 V	150 Hz.	-0.75 dB
0.9 V	152 Hz.	-1.66 dB
0.8 V	155 Hz.	-2.29 dB
0.7 V	160 Hz.	-3.85 dB
0.6 V	170 Hz.	-5.19 dB
0.5 V	180 Hz.	-6.77 dB
0.4 V	195 Hz.	-7.88 dB
0.3 V	210 Hz.	-11.20 dB

Tabla V.12 Tabulación de Voltaje contra Frecuencia del Filtro Correspondiente a 120 Hz.

Filtro con Frecuencia Central en 60 Hz.		
Voltaje RMS	Frecuencia Hertz.	Relación Decibell
0.3 V	32.0 Hz.	-11.20 dB
0.4 V	37.0 Hz.	-7.88 dB
0.5 V	42.0 Hz.	-6.77 dB
0.6 V	45.0 Hz.	-5.19 dB
0.7 V	47.0 Hz.	-3.85 dB
0.8 V	49.5 Hz.	-2.69 dB
0.9 V	51.0 Hz.	-1.66 dB
1.0 V	52.0 Hz.	-0.75 dB
1.1 V	54.0 Hz.	0.08 dB
1.2 V	56.0 Hz.	0.84 dB
1.3 V	57.5 Hz.	1.53 dB
1.4 V	58.2 Hz.	2.17 dB
1.5 V	59.0 Hz.	2.77 dB
1.6 V	59.8 Hz.	3.33 dB
1.5 V	60.7 Hz.	2.77 dB
1.4 V	61.2 Hz.	2.17 dB
1.3 V	62.0 Hz.	1.53 dB
1.2 V	62.5 Hz.	0.84 dB
1.1 V	63.0 Hz.	0.08 dB
1.0 V	64.0 Hz.	-0.75 dB
0.9 V	65.0 Hz.	-1.66 dB
0.8 V	66.0 Hz.	-2.29 dB
0.7 V	67.0 Hz.	-3.85 dB
0.6 V	69.0 Hz.	-5.19 dB
0.5 V	75.0 Hz.	-6.77 dB
0.4 V	84.0 Hz.	-7.88 dB
0.3 V	95.0 Hz.	-11.20 dB

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Tabla V.13 Tabulación de Voltaje contra Frecuencia del Filtro Correspondiente a 60 Hz.

Filtro con Frecuencia Central en 30 Hz.		
Voltaje RMS	Frecuencia Hertz.	Relación Decibell
0.3 V	18.0 Hz.	-11.20 dB
0.4 V	22.5 Hz.	-7.88 dB
0.5 V	24.0 Hz.	-6.77 dB
0.6 V	25.0 Hz.	-5.19 dB
0.7 V	25.7 Hz.	-3.85 dB
0.8 V	26.3 Hz.	-2.69 dB
0.9 V	27.0 Hz.	-1.66 dB
1.0 V	27.5 Hz.	-0.75 dB
1.1 V	27.8 Hz.	0.08 dB
1.2 V	28.2 Hz.	0.84 dB
1.3 V	28.5 Hz.	1.53 dB
1.4 V	29.0 Hz.	2.17 dB
1.5 V	29.2 Hz.	2.77 dB
1.6 V	29.5 Hz.	3.33 dB
1.5 V	30.2 Hz.	2.77 dB
1.4 V	30.7 Hz.	2.17 dB
1.3 V	31.2 Hz.	1.53 dB
1.2 V	31.7 Hz.	0.84 dB
1.1 V	32.2 Hz.	0.08 dB
1.0 V	32.7 Hz.	-0.75 dB
0.9 V	33.5 Hz.	-1.66 dB
0.8 V	34.0 Hz.	-2.29 dB
0.7 V	34.5 Hz.	-3.85 dB
0.6 V	35.0 Hz.	-5.19 dB
0.5 V	36.0 Hz.	-6.77 dB
0.4 V	39.0 Hz.	-7.88 dB
0.3 V	52.0 Hz.	-11.20 dB

Tabla V.13 Tabulación de Voltaje contra Frecuencia del Filtro Correspondiente a 30 Hz.

Ya con las diez tabulaciones anteriores, se procede ahora a realizar las gráficas de respuesta a la frecuencia de los diez filtros. Dichas gráficas, con el propósito de poder compararlas entre sí, se encuentran agrupadas todas ellas en una sola página. Para poder representar a las diez gráficas en una hoja de tamaño carta es indispensable utilizar papel semilogaritmico de 4 décadas, en donde caben perfectamente las diez octavas que van desde los 30 Hertz hasta los 15,360 Hertz.

Dicha gráfica se encuentra en la figura V.1, localizada en la siguiente página. En ella se muestran las curvas de respuesta de cada filtro, teniendo en el eje X a la frecuencia que alimenta al analizador de espectros, la cual esta dada en Hertz, mientras que en el eje Y se tiene a la ganancia del filtro, la cual esta representada en deciBeles.

En la gráfica se puede apreciar primordialmente la frecuencia central de cada filtro, así como la pendiente a la cual este trabaja y la relación que conserva con los demás filtros del analizador de espectros.

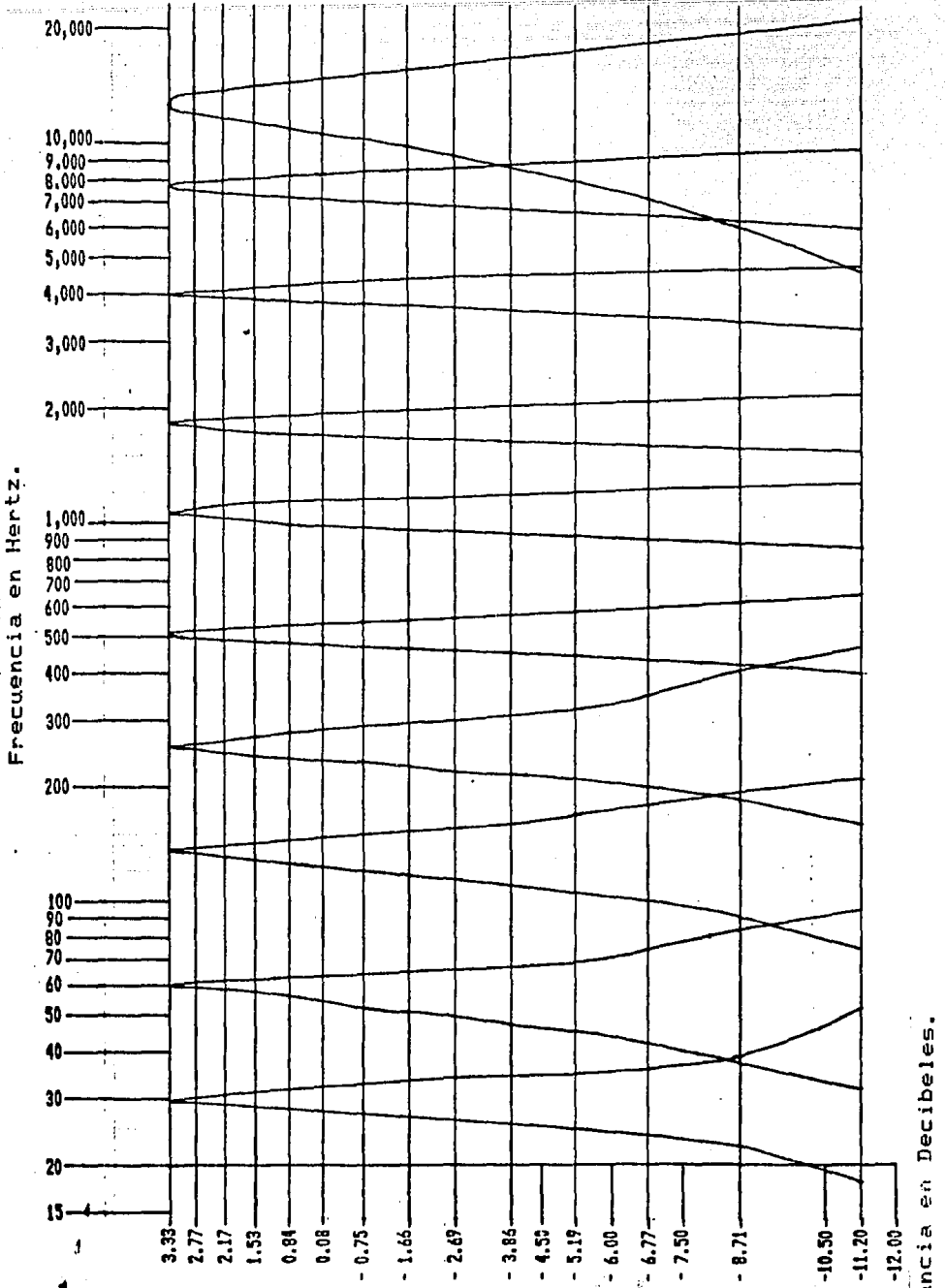


Figura V.1 Gráficas de Respuesta a la Frecuencia de los Diez Filtros Pasabandas.

Ganancia en Decibeles.

Conclusiones.

En este capítulo se explican los motivos por los cuales existieron desviaciones en los valores obtenidos teóricamente, estudiados en el tercer capítulo, de aquellos registrados experimentalmente sobre el prototipo del analizador de espectros diseñado en este trabajo de Tesis Profesional; de igual manera se enumeran las deficiencias que se lograron encontrar en dicho prototipo.

Primeramente, encontramos las desviaciones ocurridas entre las frecuencias centrales obtenidas, las cuales se encuentran en las páginas 28 y 29 del Capítulo III, de las mismas registradas prácticamente en el prototipo. Como respuestas válidas se pueden enumerar:

a) Si observamos la tabla IV.1, la cual nos muestra a las resistencias que reemplazaron a aquellas calculadas en las páginas 34 a la 38 y que se muestran en la tabla III.3, notamos que difícilmente se logró una aproximación lo suficientemente exacta.

b) Aunado a la explicación anterior, tenemos que tanto los valores de las resistencias, como los de los capacitores que forman a los filtros pasabandas de retroalimentación, tienen un cierto margen de tolerancia, el cual oscila desde el 5% hasta el 10%, teniendo en los peores casos tolerancias que alcanzan hasta el 20%. Claro esta, que se trató de utilizar en la construcción del prototipo, componentes con bajos niveles de desviación.

Por lo anterior podemos observar que aunque las desviaciones que registramos en la tabla V.2 alcanzaron en el peor caso un valor del 6.77%, realmente no fue una desviación excesiva.

Igualmente consideremos las desviaciones obtenidas en los voltajes de referencias existentes en los comparadores del nivel de intensidad. Estas diferencias son debidas en su mayor parte a la misma razón expuesta en el inciso b de la página anterior; pero también influye el hecho siguiente: Como se puede observar en la tabla III.4, los valores que se calcularon para las resistencias que componen al divisor de tensión ya incluían desde entonces un error, ya que no se logró que la diferencia en decibeles fuera en todos los casos igual.

Ahora, las diferencias en los voltajes de polarización de los transistores de preamplificación mostradas en la tabla V.4, son grandes debido a que no se trató de minimizarlas, ya que realmente no existe razón alguna para reducir las debido a que estos valores no son críticos y se consideró que no era necesario complicar más el circuito para lograrlo.

Entre las deficiencias que se observaron en el prototipo construido son las siguientes:

a) Debido a que este analizador de espectros trabaja en tiempo real, la lectura del nivel de intensidad es incierta ya que la rapidez a la que encienden y apagan los "LED's" de la matriz de visualización es tan elevada que el ojo humano no es capaz de apreciarlo claramente.

b) Como las columnas de la matriz de visualización no están enegizadas continuamente, sino que encienden intermitentemente y aunque el ojo no aprecia parpadeo en las luces, si se logra observar que los "LED's" no brillan a su máxima intensidad. Esto ocasiona que al encontrarse el analizador de espectros en una zona sumamente iluminada, sea difícil apreciar con claridad cuales LED's están encendidos y cuales no.

A pesar de estas deficiencias, considero que este analizador de espectros cumple perfectamente con los objetivos para lo que fue planeado y diseñado, ya que si comparamos el costo de este prototipo con el de un analizador de espectros sofisticado, resulta que es prácticamente imposible que un aficionado al audio pueda darse el lujo de comprar un analizador de espectros costoso, mientras que la adquisición del analizador de espectros tratado en esta Tesis Profesional puede ser de cierta forma un accesorio con un costo menor a cualquier aparato de audio, lo que lo hace sumamente versátil.

Para respaldar el párrafo anterior, se muestra en la siguiente tabla los costos aproximados de los componentes necesarios para construir este analizador de espectros. Resulta necesario dar los precios de dichos componentes en Dólares para tener de esta forma una relación un poco mas confiable al pasar el tiempo, debido a los malos tiempos que esta sufriendo este país.

Descripcion	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Capacitores	45 pzs.	\$0.08	\$3.60
Resistencias	85 pzs.	\$0.02	\$1.70
Transformador	1 pza.	\$1.70	\$1.70
CD 4066	3 pzs.	\$0.65	\$1.95
CD 4017	1 pza.	\$0.90	\$0.90
LM 324	5 pzs.	\$0.60	\$3.00
LED	90 pzs.	\$0.17	\$15.30
Varios	-----	-----	\$5.50
Total			\$33.65

Como se puede ver, el costo de este analizador de espectros es bastante bajo. Claro está, que los valores mostrados en la tabla anterior, son precios de menudeo; por lo que al adquirir dichos componentes al mayoreo y teniendo una línea de producción adecuada, el precio de este analizador de espectros puede decrecer posiblemente hasta en un 55% del total dado, por lo que el costo del producto terminado puede llegar a ser de \$21.70 Dlls.

Bibliografia.

- CHEN, C.T. Linear System Theory and Design.
Holt Rinehart and Winston.
New York, 1984.
- CHENG, D.K. Analysis of Linear Systems.
Addison Waley Pub. Co.
Second Printing.
Massachusetts, 1966.
- D'AZZO, J; HOUPIS C. Feedback Control System Analysis
and Synthesis.
Mc. Graw Hill Co.
Second Edition.
U.S.A., 1966
- D'AZZO, J; HOUPIS C. Linear Control Analysis
and Design.
Mc. Graw Hill Co.
Tokyo, 1975.
- DESOER CH.; KUH E. Basic Circuit Theory.
Mc. Graw Hill Co.
Tokyo, 1969.
- DIXON, R. C. Spread Spectrum Techniques.
IEEE Press.
First Printing.
U.S.A., 1976.

- HAYT W.; KEMMERLY J. Análisis de Circuitos en
Ingeniería.
Mc. Graw Hill Co.
Segunda Edición en Español.
México, 1975.
- HNATEK, EUGENE R. Applications of Linear
Integrated Circuits.
Wiley-Interscience Publication.
U.S.A., 1975.
- HOROWITZ P.; HILL W. The Art of Electronics.
Cambridge University Press.
First Edition.
U.S.A., 1980.
- JOHNSON, D. Introduction to Filter Theory.
Prentice Hall Inc.
First Edition.
U.S.A., 1976.
- LATHI, B. P. Introducción a la Teoría y
Sistemas de Comunicación.
Editorial Limusa.
Tercera Reimpresión.
México, 1980.
- OGATA, KATSUHIKO Ingeniería de Control Moderna.
Editorial Dessat.
Séptima Reimpresión.
Madrid, 1980.

- PERES, MIRANA J. Compendio Práctico de Acústica.
Editorial Labor.
Primera Edición.
Barcelona, 1969.
- SCHWARTZ, M.; SHAWL Signal Processing: Discrete
Spectral Analysis, Detection
and Estimation.
Mc. Graw Hill Co.
U.S.A., 1975.
- WAIT, J.; HUELSMAN, I. Introduction to Operational
Amplifier Theory and Applications
Mc. Graw Hill Co.
U.S.A., 1975.
- WYLIE, C.R. Advanced Engineering Mathematics
Mc. Graw Hill Co.
Tokyo, 1975.