

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional de Avellaneda

Cátedra : Medidas Electrónicas II

Profesor : Ing. Luciano Alvarez

Alumno : Marcelo Daniel Leo

Desarrollo :

Circuito conversor de osciloscopio en
analizador de espectro

Indice

1. Introducción.....	1
2. Objetivos del trabajo practico.....	1
3. Diagrama en bloques.....	2
4. Descripción.....	2
4.1. Funcionamiento.....	2
4.2. Diagrama de circuitos en bloques.....	4
5. Circuitos	
5.1. Circuito principal.....	5
5.2. Generador de rampa.....	7
5.2.1. Funcionamiento del circuito.....	7
5.2.2. Cálculos.....	8
5.2.2.1. Recalculo de los tiempos.....	9
5.2.2.2. Calculo de la corriente de los zeners.....	9
5.2.2.3. Calculo de la histeresis.....	9
5.2.3. Valores medidos.....	11
5.3. Conformador exponencial	13
5.4. Calculo del atenuador.....	14
5.5. Calculo del atenuador auxiliar.....	14
6. Distribución de componentes	
6.1. Placa principal y frente.....	15
6.2. Generador de rampa	16
6.3. Conformador exponencial.....	16
7. Listado de componentes	
7.1. Placa principal y frente.....	17
7.2. Generador de rampa.....	18
7.3. Conformador exponencial.....	18
8. Mediciones	
8.1. Ancho de banda de la tercer FI.....	19
8.2. Cobertura.....	20
8.3. Respuesta de los atenuadores.....	21
8.4. Mínima señal discernible.....	22
8.5. Linealidad del eje frecuencia	
8.5.1. Linealidad del eje horizontal del osciloscopio.....	23
8.5.2. Linealidad de la rampa.....	24
8.5.3. Linealidad del VCO.....	25
8.6. Rango dinámico.....	26
8.7. Circuitos auxiliares	
8.7.1. Respuesta del generador de espectro.....	27
8.7.2. Respuesta del atenuador auxiliar.....	28
8.8. Instrumentos utilizados.....	29
9. Conclusiones.....	30
10. Bibliografía.....	30
Apéndice I : Búsqueda de información.....	B
Apéndice II : Hojas de datos.....	C

1.Introduccion

Todos pretendemos contar en nuestro laboratorio con el mejor y mas completo instrumental. Es así como reapareció el año pasado la idea de hacer un graficador para poder utilizar el osciloscopio como analizador de espectro.

Habiendo realizado un filtro pasa altos en base a lo visto en la cátedra Teoría de Circuitos II, me vi en la necesidad de ver su curva de respuesta.

Para ese entonces estaba terminando de construir un generador de funciones en base a un chip. Este generador tiene el oscilador controlado por tensión, y en su escala mas alta excursiona desde 2 hasta 20 Mhz. De esta manera y en base a lo charlado con un amigo, realice un generador de rampa y con esta controlaba el vco logrando un barredor de frecuencia. También esta rampa controla el horizontal del osciloscopio . La salida del generador al filtro, y de la salida de este a un detector de envolvente y al canal vertical.

Cuando vi la respuesta del filtro en la pantalla del osciloscopio, me termine de convencer que el próximo trabajo seria poder utilizar el osciloscopio ya no como un trazador de Bode sino como un analizador de espectro.

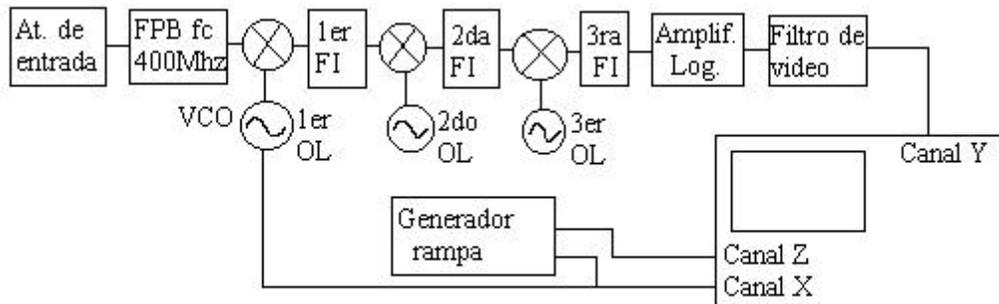
2.Objetivos del trabajo practico :

* Desarrollar un circuito que permita utilizar un osciloscopio común, como un analizador de espectro.

* Se propone la construcción de un circuito con el objetivo de realizar mediciones sobre el mismo. Al realizarlas se ponen de manifiesto las virtudes y defectos del mismo, tratando de minimizar estos últimos. Es así que se logra un proceso de medición, mejoramiento y verificación del circuito bajo análisis.

3. Diagrama en bloques :

A continuación se muestra el trabajo practico en bloques :



4. Descripción :

El analizador de espectro es básicamente un receptor superheterodino de banda ancha, con una primer conversión hacia arriba y con salida sobre una pantalla. La conversión hacia arriba se realiza hacia una frecuencia superior que la máxima de entrada. Esto permite que la imagen de la frecuencia intermedia quede mas allá de la frecuencia de corte de los filtros de preselección, lo que implica un gran rechazo a esta.

En un receptor de comunicaciones existen varias ventajas en la conversión hacia arriba, pero en un analizador de espectro que tiene un ancho de banda muy grande es absolutamente necesario.

4.1. Funcionamiento :

La señal de entrada pasa por el atenuador y el filtro pasa bajos, que la limita en banda. Luego del primer mezclador la señal es convertida a una frecuencia de aproximadamente 640Mhz , la cual es filtrada y amplificada por el canal de FI. Luego se convierte hacia abajo a 61,5 Mhz y se repite el proceso de amplificación y filtrado. Se toma esta señal y se ingresa al tercer mezclador , que se encuentra en un chip receptor de motorola de simple conversión , y se mezcla con su oscilador local a 50,8Mhz , lográndose una salida de 10,7 Mhz. Allí hay dos etapas sintonizadas con circuitos LC y filtros cerámicos que se encargan de amplificar y limitar en banda. Después de esto la señal entra al amplificador logarítmico y luego de este se acondiciona de tal modo que tenga la amplitud necesaria para poder ingresar al canal vertical del osciloscopio de forma que sea cómodamente visible.

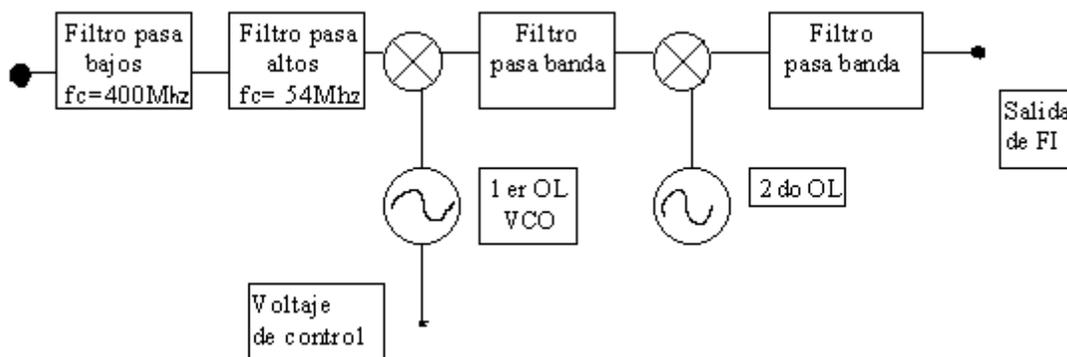
La tensión de sintonía del receptor y la posición del haz en el canal horizontal del osciloscopio son controladas por una tensión con forma de rampa. Sin señal de entrada, en el osciloscopio se vera una línea horizontal. Cada punto de esa línea corresponde a una frecuencia de sintonía del receptor, ya que ambos están comandados por la misma tensión. De esta manera cuando el receptor 'pase' por una frecuencia donde hay una portadora, habrá una variación de amplitud en un lugar de la pantalla del osciloscopio, proporcional a su frecuencia.

Así se logra una relación triunivoca entre el tiempo en la rampa, la posición del haz en la pantalla, y la frecuencia de sintonía del receptor.

Por ejemplo : si el receptor cubre de 1 a 100Mhz, el lado izquierdo de la pantalla será 1Mhz y el derecho 100Mhz. Si hubiera una portadora en 70 Mhz, en la pantalla debería verse como un pico en aproximadamente la séptima división de izquierda a derecha.

A modo de las primeras dos conversiones se utiliza un conversor de televisión aprovechando su control de sintonía por tensión y su gran ancho de banda. Estos convertidores envía los canales de televisión por cable desde el 2 hasta el 62 por el canal tres o cuatro. Es posible esta cobertura tan grande gracias a que estos sintonizadores de catv utilizan en sus osciladores diodos varactores de sintonía hiperabrupta.

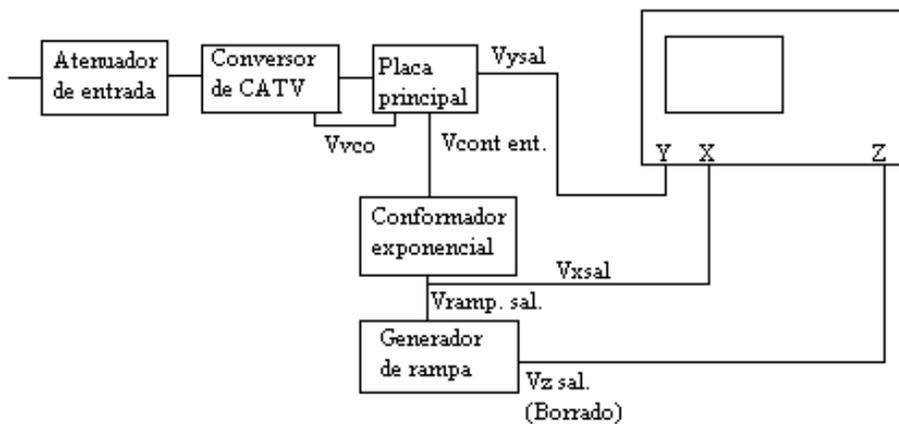
La utilización de un conversor de catv en este circuito, resuelve los siguientes bloques : FPB $f_c=400\text{Mhz}$; vco; primer mezclador; primera fi; conversión a la segunda fi. A continuación se ve un diagrama en bloques del conversor utilizado :



El filtro pasa altos de 54Mhz se ha quitado para asegurar que las señales de baja frecuencia , 20 a 60 Mhz, no sufran atenuaciones en la entrada. Si bien el conversor funciona a partir de 54Mhz hacia arriba , sacando la tensión de sintonía de sus márgenes originales , -2 a -22 volt, y llevándola a -0,1 a -22volt, se logra una excursión en frecuencia desde 25 Mhz a 430 Mhz aproximadamente.

Luego del conversor se utiliza un receptor de fsk motorola , el MC3356, que nos permite tener en un integrado un oscilador, un mezclador, un amplificador logarítmico y otros que no se utilizan. A la salida del MC3356 se coloca un amplificador operacional para realizar una ultima amplificación y el filtro de video.

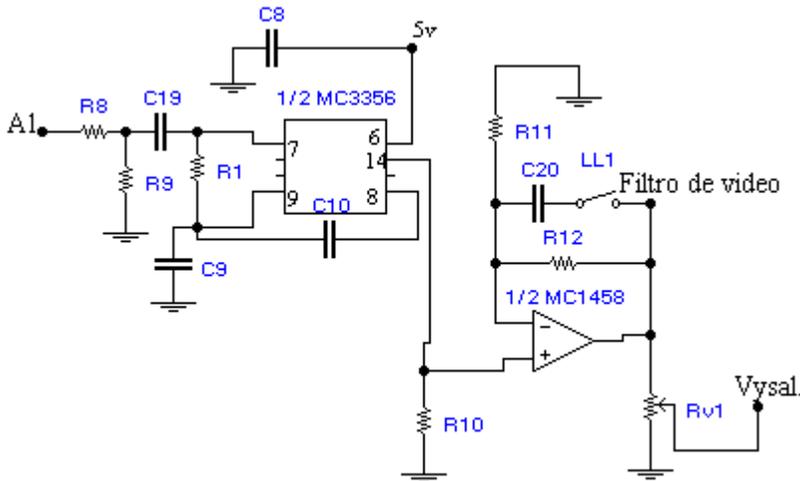
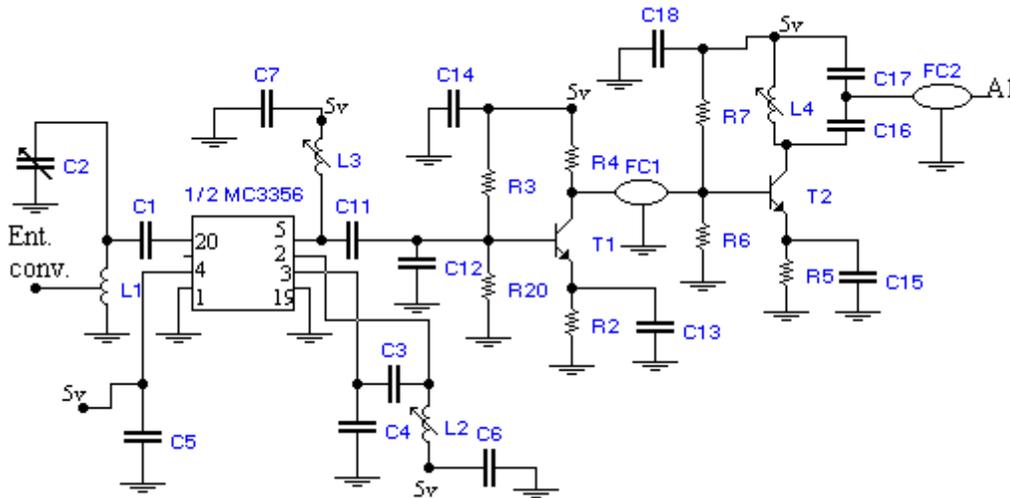
4.2. Diagrama de circuitos en bloques



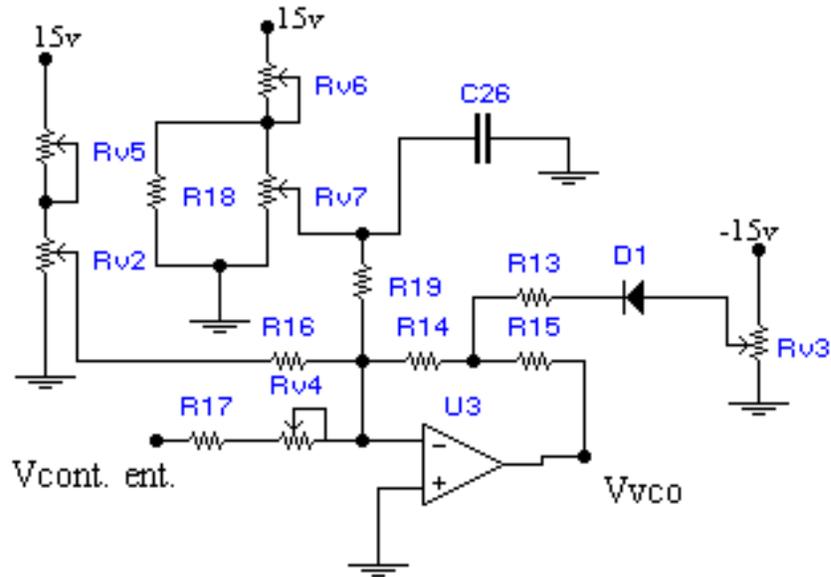
5. Circuitos

5.1. Circuito principal :

El circuito que sigue se encuentra en la placa principal, e incluye los siguientes bloques : tercera conversión, tercera fi, amplificador logarítmico, amplificador se salida vertical y filtro de video.



El circuito que sigue también se encuentra en la placa principal y se utiliza para amplificar e invertir la tensión de la rampa para luego enviarla al vco , ya que este trabaja con tensiones negativas y mas grandes que las que entrega el generador de rampa. Con Rv2, Rv4, y Rv5 se coloca la rampa dentro de sus márgenes, luego Rv6 (fino) y Rv7 (grosso) son los controles de sintonía en la escalas menores. Corrigen el valor medio de la señal.



5.2. Generador de rampa

Este generador lo diseñe antes de optar el circuito a armar, pero aun así ya sabia que la rampa era necesaria, por lo pronto para barrer el eje horizontal del osciloscopio. Las características de esta eran sencillas de cumplir, ya que eran muy flexibles. Tiempo de crecimiento tres o cuatro veces mayor que el de decrecimiento y frecuencia a gusto. Mas tarde verifique que el ultimo punto no era tan así, ya que una frecuencia de por ejemplo 1Khz no daría tiempo ni al sintonizador , ni a los filtros para responder. La frecuencia final del generador es de 50 Hz aproximadamente.

5.2.1. Funcionamiento del circuito :

Este se basa en la carga y descarga de un capacitor a corriente constante. Para un mismo capacitor , la corriente de carga da el tiempo de subida y la resta entre la corriente de descarga y la de carga da el tiempo de bajada. Esta idea la tome prestada del segundo trabajo practico de Electrónica Aplicada II donde se utiliza una conmutación de corriente similar a esta.

Utilizo un amplificador operacional de alta impedancia de entrada como separador, y su salida a la entrada de otro que funciona como un comparador con histeresis, que maneja al transistor de descarga del capacitor.

La histeresis esta calculada para una ventana de 0 a 10 volt.

Por ultimo coloque un transistor BC107 , también a la salida del comparador para que conmute utilizándolo en la función de borrado del haz durante el retorno (blanking). El preset que coloque en el colector de este transistor permite dar amplitud a la señal de salida.

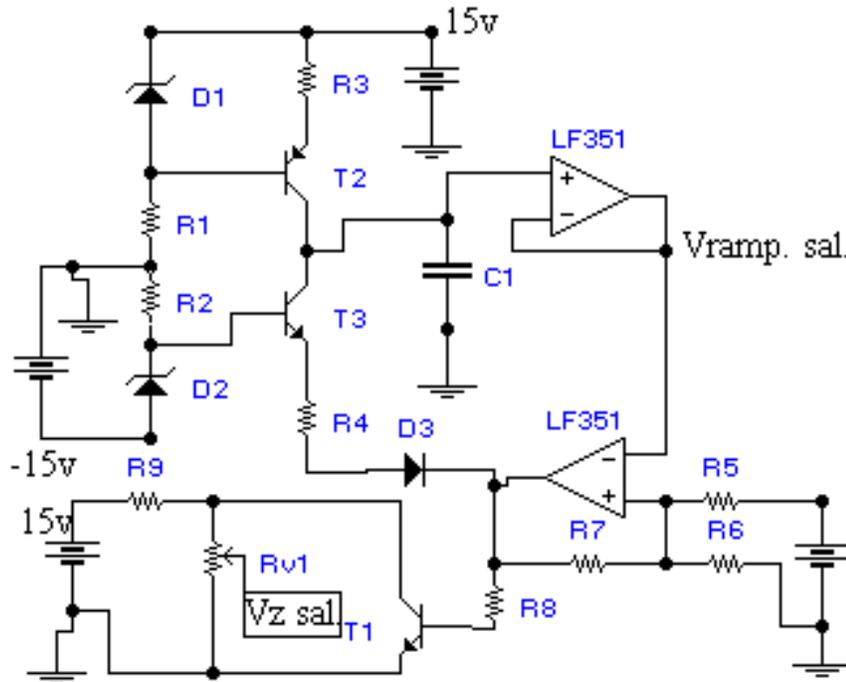
Los emisores de los transistores de las fuentes de corriente podrían tener presets para poder llevar a las corrientes a la relación deseada, pero este ajuste no es crítico, pudiendo reemplazar estos por resistencias fijas. Esto hará que la relación entre tiempo de subida y bajada no sea exactamente tres o cuatro, pero eso no influye en el funcionamiento del circuito.

Se colocaron diodos zener en la polarización de los transistores de las fuentes de corriente para asegurar una tensión fija de referencia de manera de obtener una corriente estable.

Se eligieron los transistores BC337 y BC327 debido simplemente a su posibilidad de manejar mayor corriente que el comúnmente utilizado BC548, aunque luego no se aprovecho esta característica.

El transistor del circuito de blanking , BC107,fue elegido por el solo hecho de su existencia en mi caja de componentes, pudiéndose utilizar cualquier transistor.

5.2.2. Cálculos :



Considerando t_1 como tiempo de subida y t_2 como de bajada ; tomando una frecuencia de 50Hz , le doy a $t_1 = 17\text{ms}$ y a $t_2 = 3\text{ms}$:

$$Q = C.V \quad \text{entonces} \quad V = Q / C$$

$$V = I..t / C$$

I/C es la pendiente de las rampas. Hay dos rampas, la de subida :

$$m = 10\text{v}/17\text{ms} = 588 \text{ v/s}$$

$$I_1 = m . C = 588\text{v/s} . 0,1 \text{ uF} = 58,8 \text{ uA}$$

$$\text{entonces : } R_3 = (V_z - V_{be1}) / I_1 = (3,3\text{v} - 0,7\text{v}) / 58,8\text{uA} = 44,2\text{k}$$

tomo $R_3 = 47 \text{ k}$

y la de bajada :

$$m = 10\text{v} / 3\text{ms} = 3333,33 \text{ v/s}$$

$$I'2 = m \cdot C = 3333\text{v/s} \cdot 0,1 \text{ uF} = 333\text{uA}$$

$$I2 = I'2 + I1 = 333\text{uA} + 58,8\text{uA} = 392\text{uA}$$

entonces : $R4 = (Vz - Vbe2) / I2 = (3,3\text{v} - 0,7\text{v}) / 392\text{uA} = 6,6\text{k}$
tomo $R4 = 6\text{k}8$

$I2$ es la corriente por el T3 e $I'2$ es la corriente saliente del capacitor.

5.2.2.1. Recalculo de los tiempos :

Con $R3 = 47\text{k}$ $I1 = (Vz - Vbe1) / R3 = (3,3\text{v} - 0,7\text{v}) / 47\text{k} = 55,3\text{uA}$
 $t1 = V_{\text{max}} \cdot I1 / C = 10\text{v} \cdot 0,1\text{uF} / 55,3\text{uA} = 18\text{ms}$

Con $R4 = 6\text{k}8$ $I2 = (Vz - Vbe2) / R4 = (3,3\text{v} - 0,7\text{v}) / 6\text{k}8 = 382\text{uA}$
 $I'2 = I2 - I1 = 382\text{uA} - 55,3\text{uA} = 327\text{uA}$
 $t2 = V_{\text{max}} \cdot I'2 / C = 10\text{v} \cdot 0,1\text{uF} / 327\text{uA} = 3,1\text{ms}$

5.2.2.2. Calculo de la corriente de los zeners :

$$Iz_{\text{max}} = (Pw / Vz) \cdot Mg$$

$$Iz_{\text{max}} = (0,5\text{w} / 3,3\text{v}) \cdot 0,8$$

$$Iz_{\text{max}} = 120\text{mA}$$

$$Iz_{\text{min}} = 0,1 Iz_{\text{max}}$$

$$Iz_{\text{min}} = 12\text{mA}$$

$$Rz = (V_{\text{cc}} - Vz) / Iz_{\text{min}} = (15\text{v} - 3,3\text{v}) / 12\text{mA} = 975 \text{ ohms}$$

$$Rz = R1 = R2 = 1\text{k}$$

Donde Mg es un margen de seguridad adoptado en el 80 % en este caso.

5.2.2.3. Calculo de la histeresis :

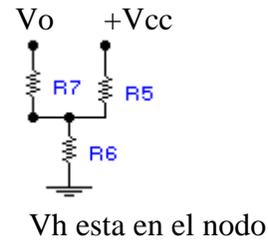
Llamando V_o a la salida del amplificador operacional, V_i a la tensión en la entrada inversora y V_h a la tensión en la entrada no inversora , tenemos :

$$(V_o - V_h) / (R_7 // R_5) = V_h / R_6$$

$$(V_o - V_h) \cdot R_6 = V_h \cdot (R_7 // R_5)$$

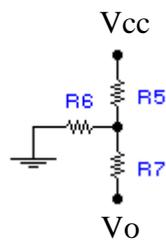
$$(15\text{v} - 10\text{v}) \cdot R_6 = 10\text{v} \cdot (R_7 // R_5)$$

$$0,5 R_6 = R_7 // R_5$$



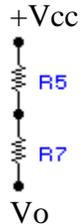
Si ahora hacemos :

$$V_o = -V_{cc} \text{ y } V_h = 0$$



V_h esta en el nodo.

Debido a que como condición es $V_h = 0$, por R_6 no circula corriente, quedando :



Como $V_o = -V_{cc}$ para que se cumpla $V_h = 0$ deberá ser $R_5 = R_7$.

Entonces tenemos : $0,5 R_6 = R_5 // R_7$ y $R_5 = R_7$ por lo tanto deducimos que si :

$$0,5 R_6 = R_5 // R_7 \text{ y } R_5 = R_7$$

$$0,5 R_6 = 0,5 R_5 = 0,5 R_7$$

$$R_6 = R_5 = R_7$$

Puedo tomar cualquier valor para este trío de resistencias, en este caso :

$$R_5 = R_6 = R_7 = 12\text{k}$$

5.2.3. Valores medidos :

$$\begin{aligned}
 V_{cc} &= 15,34\text{v} \\
 -V_{cc} &= -14,91\text{v} \\
 \text{Tiempo de subida} &= 14\text{ms} \\
 \text{Tiempo de bajada} &= 6\text{ms} \\
 V_{\text{max}} &= 10\text{v} \\
 V_{\text{min}} &= 0,1\text{v aprox.}
 \end{aligned}$$

La gran diferencia en el tiempo de bajada t_2 , se debe a que la tensión de saturación negativa es de $-13,6\text{v}$ y no de $-V_{cc}$ como se supuso en los cálculos. Para recalcular t_2 hay que calcular I_1 .

Tensión en el emisor de T1 : $12,7\text{v}$

$$\begin{aligned}
 I_1 &= (15,34\text{v} - 12,7\text{v}) / 47\text{k} = 56,2\mu\text{A} \\
 t_1 &= 10\text{v} \cdot 0,1\mu\text{F} / 56,2\mu\text{A} = 17,8\text{ms}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_2 &= [V_z - V_{be2} + (-V_{cc} + V_{\text{sat}})] / R_4 = \\
 I_2 &= [3,3\text{v} - 0,7\text{v} - 15\text{v} + 13,6\text{v}] / 6\text{k} = 176,5\mu\text{A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_2' &= I_2 - I_1 = 176,5\mu\text{A} - 56,2\mu\text{A} = 120,3\mu\text{A} \\
 t_2 &= 10\text{v} \cdot 0,1\mu\text{F} / 120,3\mu\text{A} = 8,3\text{ms}
 \end{aligned}$$

Ambos tiempos son en exceso y guardan relaciones muy similares con sus respectivos medidos :

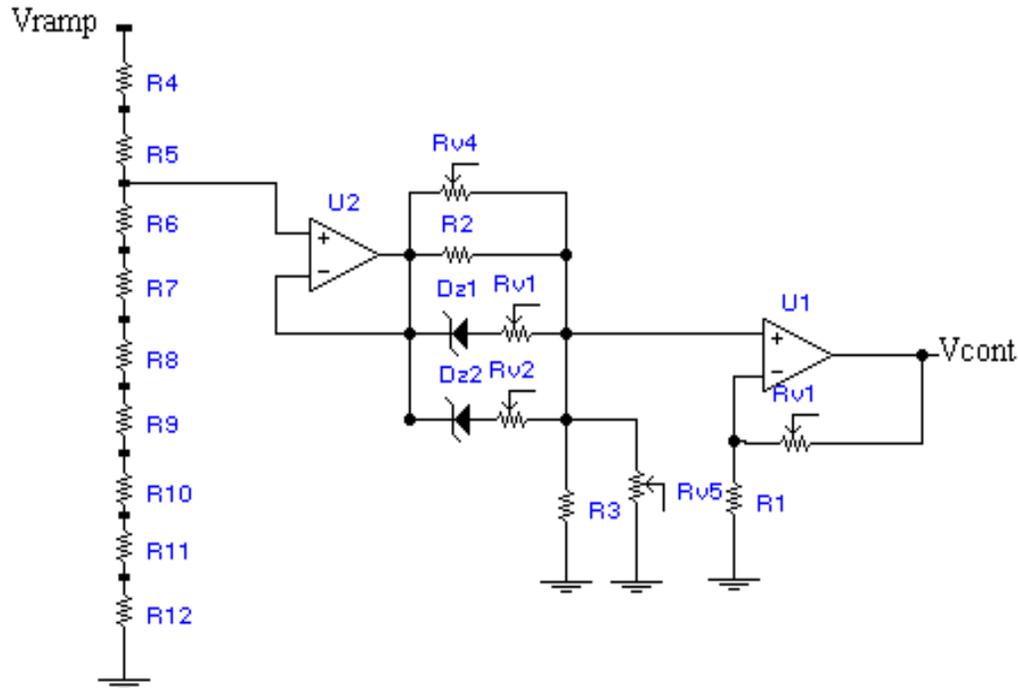
$$\begin{aligned}
 8,3 / 6 &= 1,38 & 17,8 / 14 &= 1,27
 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta los posibles errores en las mediciones y su propagación, estos cocientes podríamos considerarlos prácticamente iguales. Eso puede indicarnos que la no coincidencia entre los valores medidos y calculados puede atribuirse a una diferencia en algún valor común en ambos cálculos.

El único parámetro que se utiliza en los dos cálculos es el de capacidad, y sabiendo que este es de tolerancia grande podríamos atribuirle al capacitor esas diferencias.

5.3. Conformador exponencial

Para lograr que el eje de frecuencia tuviera una escala lineal, fue necesario convertir a la rampa en levemente exponencial. Para esos fines se utilizó el circuito siguiente :



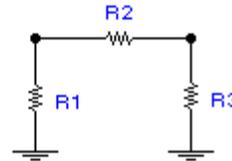
La rampa entra en el extremo superior de R4. El serie de entrada es un atenuador que se utiliza para dar las diferentes escalas de frecuencia a la pantalla , ya que al atenuarse la rampa, se atenúa la señal de salida del circuito y debido a esto también disminuye la tensión de control del vco (V_{vco}) , lo que implica que barrera menos en frecuencia. Las escalas son las siguientes : 400Mhz ; 200Mhz ; 100Mhz ; 40Mhz ; 20Mhz ; 10Mhz ; 4Mhz ; 2Mhz y 1Mhz.

Se colocó U2 para separar entre el atenuador y el circuito de conformación. Este está formado por dos diodos zeners que dan los puntos de quiebre. La pendiente posterior a estos se varía con el preset en serie con el zener, y la pendiente de entrada y salida con Rv4 y Rv5. U1 está como amplificador no inversor para llevar a la amplitud de salida al nivel necesario , ya que se pierde un poco de amplitud en el proceso de conformación.

5.4 Calculo del atenuador

Para el atenuador de entrada se propone uno de unos 70 db de atenuación en pasos de a 10db , formado por tres celdas. Una de 10db, otra de 20db y otra de 40db. Se eligen celdas tipo 'pi' y se calculan de la siguiente forma :

$$\begin{aligned} 1/R1 &= y1 ; 1/R2 = y2 ; 1/R3 = y3 \\ y3 &= 1/ (Zo Sh a) \\ y1 &= y2 = [1 - (Zo Th a)] - y3 \end{aligned}$$



Donde Z_o es la impedancia característica , y 'a' la atenuacion en Nepper.
 $a = 0,115 \text{ Atdb}$

En base a esto se calculo lo siguiente :

Para 10db : $R1 = R3 = 96,33$ valor comercial 96,2 ohms
 $R2 = 71$ valor comercial 71,2 ohms

Para 20db : $R1 = R3 = 61,1$ valor comercial 61,1 ohms
 $R2 = 246,8$ valor comercial 248 ohms

Para 40db : $R1 = R3 = 51$ valor comercial 51 ohms
 $R2 = 2486,85$ Valor comercial 2500 ohms

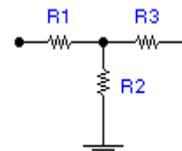
5.5. Calculo del atenuador auxiliar

Este atenuador es fijo y se utiliza a la salida del generador de espectro cuando es necesario. Se utilizo una disposición en 't'.

Se desea una atenuación de entre 40 y 50db. Se realizara en dos celdas de aproximadamente 25 db cada una.

Forma de calculo :

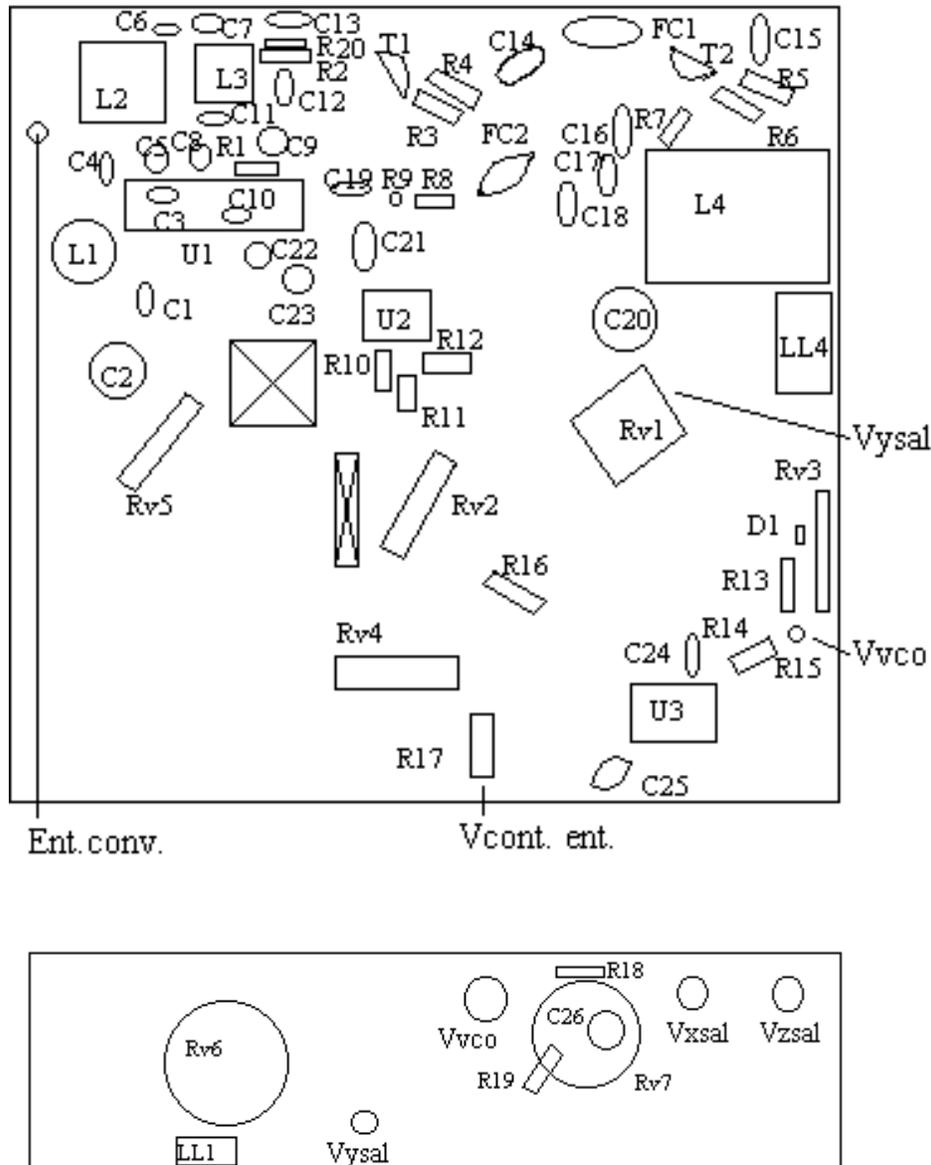
$$\begin{aligned} R1 &= R3 = Zo Th a \\ R2 &= Zo / (Sh a) ; Zo \text{ impedancia característica} \\ a &= 0,115 \text{ At [db]} \\ R1 &= R2 = 44,5 \text{ ohms} \\ R2 &= 5,9 \text{ ohms} \end{aligned}$$



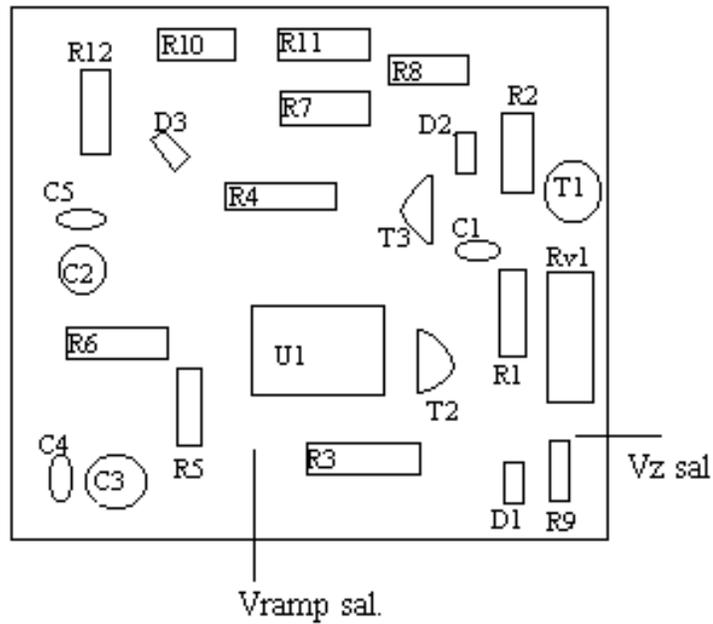
6. Distribución de componentes

6.1. Placa principal y frente :

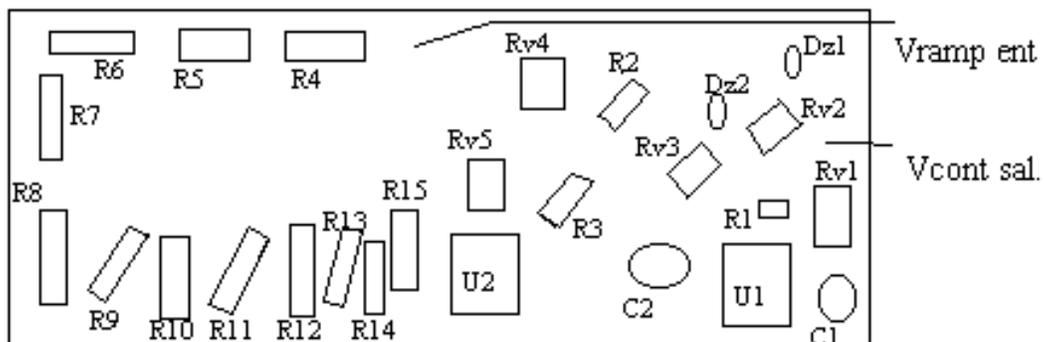
En la placa principal se encuentra el circuito principal que es la tercera conversión, tercera FI, amplificador logarítmico, filtro de video. También esta el circuito de acondicionamiento de rampa , que controla al vco. En el frente se ven entradas , salidas y algunos componentes que sirven como controles.



6.2. Generador de rampa :



6.3. Conformador exponencial :



7. Listado de componentes

7.1. Placa principal y frente :

C1 : 1nf	R1 : 330	U1 : MC3356
C2 : 15-60 pF variable	R2 : 270	U2 : MC1458
C3 : 47pF NPO	R3 : 1k	U3 : TL081
C4 : 68pF NPO	R4 : 390	T1 : 2N2222
C5 : 100nF	R5 : 270	T2 : 2N2222
C6 : 10nF	R6 : 470	D1 : 1N4148
C7 : 10nF	R7 : 1k	FC1 : E10,7L
C8 : 10nF	R8 : 1k	FC2 : E10,7L
C9 : 10nF	R9 : 56	filtro cerámico de
C10 : 10nF	R10 : 470	10,7 Mhz
C11 : 180pF NPO	R11 : 47k	L1 : 9vueltas, forma
C12 : 1nF NPO	R12 : 100k	T37-10, deriv. a 4
C13 : 1nF	R13 : 10k	vueltas del lado frío
C14 : 100nF	R14 : 10k	$\phi = 0,4$ mm
C15 : 100nF	R15 : 10k	L2 : 350nHy
C16 : 270pF NPO	R16 : 10k	L3 : 2,2uHy
C17 : 390pF NPO	R17 : 4k7	L4 : 2,2uHy
C18 : 100nF	R18 : 3k9	LL1 : llave s/inv.
C19 : 100nF	R19 : 10k	
C20 : 270pF	R20 : 470	
C21 : 100nF	Rv1 : 50k	
C22 : 100nF	Rv2 : 10k	
C23 : 100nF	Rv3 : 25k	
C24 : 100nF	Rv4 : 10k	
C25 : 100nF	Rv5 : 1k	
C26 : 100nF	Rv6 : 2k , 10 vueltas	
	Rv7 : 10k	

Si no se indica lo contrario, las resistencias están en ohms y son de 1/8 w ,y los capacitores son cerámicos. 1k = 1000 ohms.

7.2. Generador de rampa :

C1 : 100nf	R1 : 1k	R11 : 39k
C2 : 100uF x 16v electrolitico	R2 : 1k	R12 : 1k
C3 : 100uF x 16v electrolitico	R3 : 47k	Rv1 : 10k
C4 : 100nF	R4 : 6k8	D1 : 3,3v , ½ w
C5 : 100nF	R5 : 12k	D2 : 3,3v , ½ w
	R6 : 12k	T1 : BC107
	R7 : 10k	T2 : BC337
	R8 : 33k	T3 : BC327
	R9 : 1k	U1 : LF353
	R10 : 1k	D3 : 1N4148

7.3. Conformador exponencial :

C1 : 100nF	R1 : 500	R12 : 220
C2 : 100nF	R2 : 1k	R13 : 120
	R3 : 1k	R14 : 56
	R4 : 100k	R15 : 47
	R5 : 56k	Rv1 : 10k
	R6 : 33k	Rv2 : 10k
	R7 : 12k	Rv3 : 10k
	R8 : 5k6	Rv4 : 10k
	R9 : 2k2	Rv5 : 10k
	R10 : 1k2	U1 : TL081
	R11 : 560	U2 : TL081

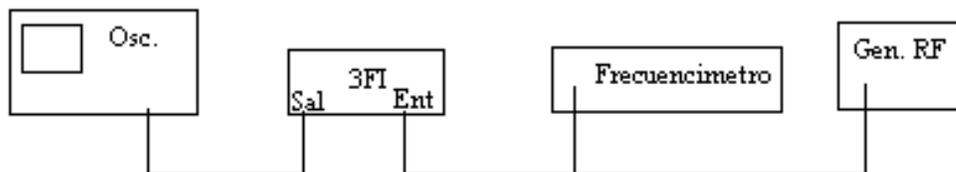
Si no se indica lo contrario, las resistencias están en ohms y son de 1/8 w, y los capacitores son cerámicos .1k=1000ohms.

8. Mediciones

8.1. Ancho de banda de la 3er FI :

Se va a determinar el ancho de banda que tiene el canal de FI. Este tiene una respuesta tipo campana de Gauss o similar , y el ancho de banda se determina entre las dos frecuencias que tienen una transferencia de potencia igual a un medio de la máxima. En decibeles -3db.

Bloques :



Se busca con el generador la frecuencia que produzca la máxima amplitud en el osciloscopio , esa será la frecuencia central(f_{io}). Se toma la indicación del osciloscopio y la del frecuencímetro. A continuación se varia la frecuencia del generador hasta lograr una lectura de 3db por debajo de la anterior (0,7 veces en tensión). Se realiza esto hacia abajo y hacia arriba en frecuencia tomándose los valores correspondientes de esta.

Luego se determina el ancho de banda de la siguiente manera :

f_{im} : 10.551 Khz

f_{io} : 10.646 Khz

f_{iM} : 10.735 Khz

$$\Delta f = f_{iM} - f_{im} = 184\text{Khz}$$

8.2. Cobertura :

Se medirán los límites de frecuencia que tiene el instrumento bajo prueba, entre los cuales es posible utilizarlo.

Bloques :



Se trata de obtener el rango de frecuencias que ingresan al instrumento. Para ese fin se trabaja de la siguiente manera :

Se coloca el generador sobre el margen izquierdo de la pantalla (baja frecuencia , entre 20 y 30 Mhz) , y luego se comienza a bajar la frecuencia lentamente observando a la vez la indicación en el frecuencimetro. Llegara un momento en que la indicación en la pantalla desaparece , en ese momento se sube levemente la frecuencia del generador hasta observar que aparece el pico sobre el borde de la pantalla. Esa es la frecuencia mínima de entrada, que se leerá en el frecuencimetro

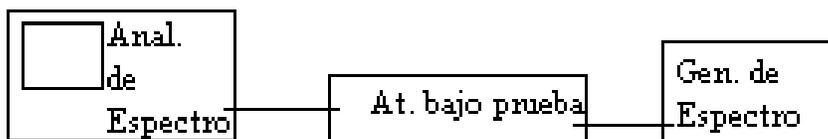
Se repite el procedimiento para la medición en altas frecuencias (entre 400 y 450Mhz) , para obtener el limite superior del rango de cobertura.

f_{min} : 28 Mhz

f_{Max} : 420 Mhz

8.3. Respuesta de los atenuadores :

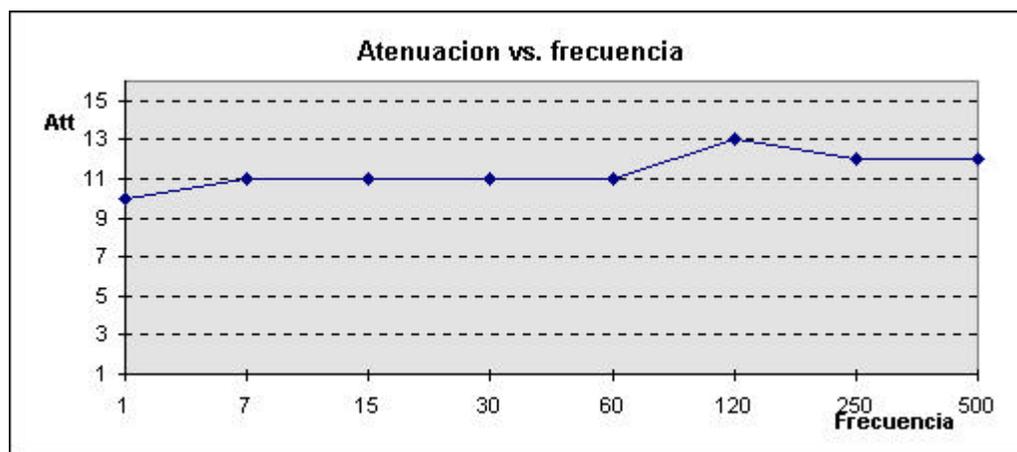
El generador de espectro genera una serie de frecuencias armónicas desde 10,7Mhz hasta superar los 500Mhz que utilizamos en la siguiente medición. Lo que se quiere obtener es la curva de atenuación en función de la frecuencia. Bloques :



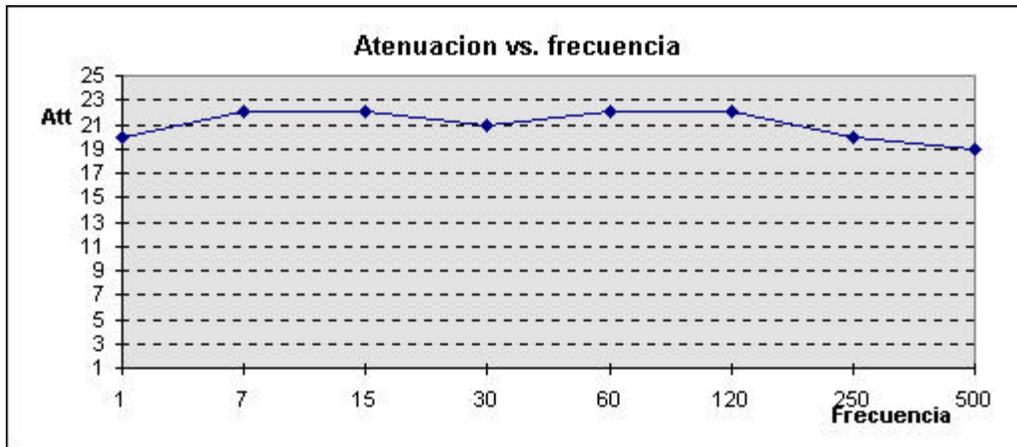
Se observa en el analizador de espectro el valor de la amplitud para cada armónica con y sin atenuador . De esta manera y por simple resta se tienen los valores de atenuación para cada armónica. Este procedimiento se llevo a cabo con los tres atenuadores, obteniéndose la siguiente tabla :

Frecuencia [Mhz]	At 10db [db]	At 20db [db]	At 40db [db]
7	11	22	41
15	11	22	40
30	11	22	39
60	11	21	33
120	13	22	29
250	12	20	25
500	12	19	20

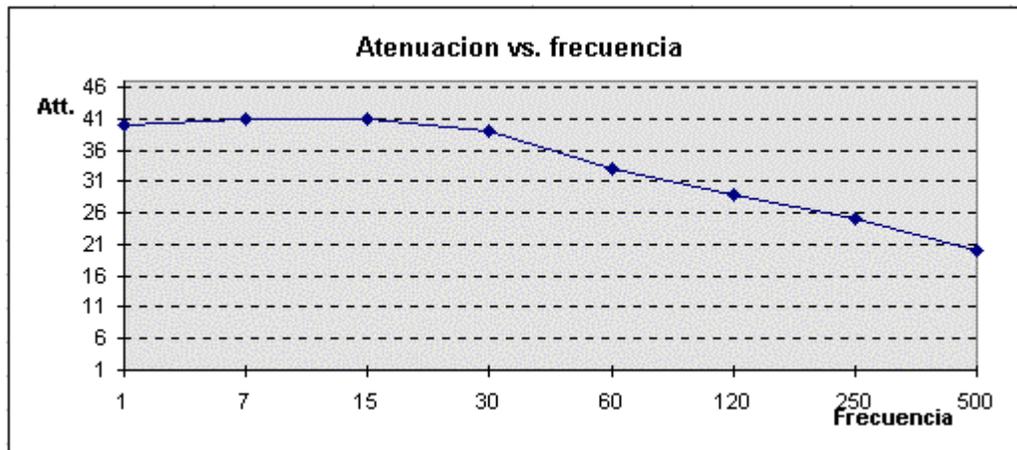
Atenuador 10db :



Atenuador 20db :



Atenuador 40db :

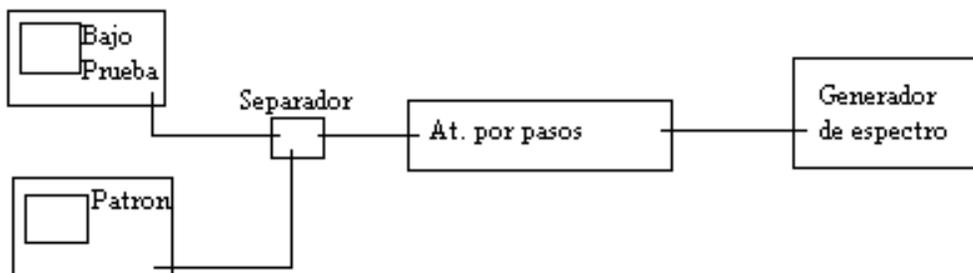


Se observa que los atenuadores de 10db y 20 db tienen una respuesta aceptable, mientras que el de 40 db no. Por esto se eligió armar un atenuador de 50db con pasos de 10db, en tres celdas , una de 10db y dos de 20db.

8.4 Mínima señal discernible :

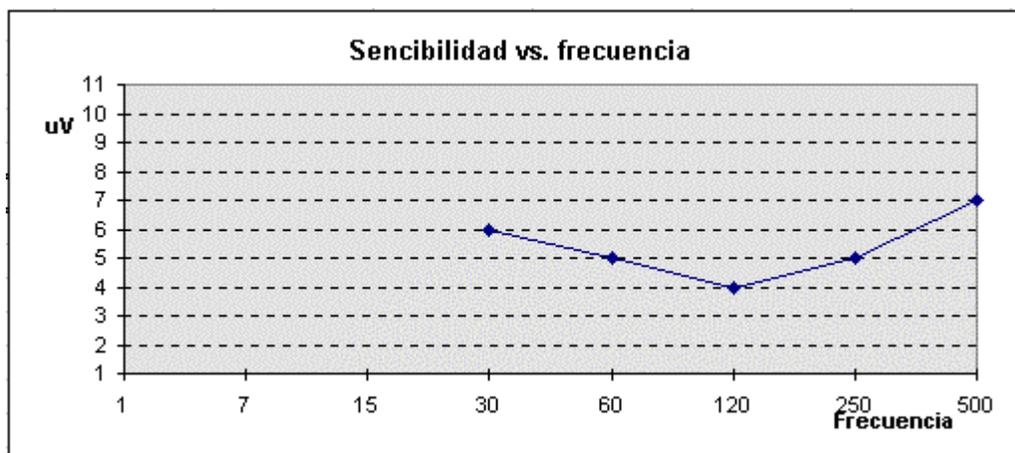
Es la señal mas pequeña que se puede colocar en la entrada del instrumento bajo prueba para que sea visible en la pantalla. Una tensión de entrada mas pequeña que esta no se podrá distinguir.

Bloques :



Se atenúa la tensión de entrada hasta el limite de discernibilidad en el equipo bajo prueba , luego se toma el valor de amplitud en el instrumento que se utiliza como patrón. Se repite el proceso para las diferentes frecuencias del generador de espectro, tomándose los siguientes valores :

Frecuencia [Mhz]	Amplitud [uV]
30	6
60	5
120	4
240	5
400	7



Cabe destacar que las amplitudes medidas son muy pequeñas , por lo cual se debe tener gran precaución en el conexionado al momento de medir. Los valores que se obtuvieron son muy aceptables.

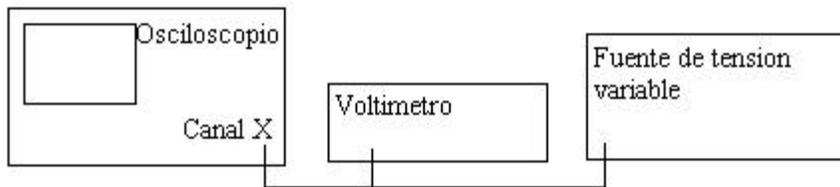
8.5. Linealidad del eje frecuencia

La linealidad de este eje depende de la linealidad de tres factores : el eje x del osciloscopio, la rampa , y el vco. A continuación se miden estos.

8.5.1. Linealidad del eje 'x' del osciloscopio :

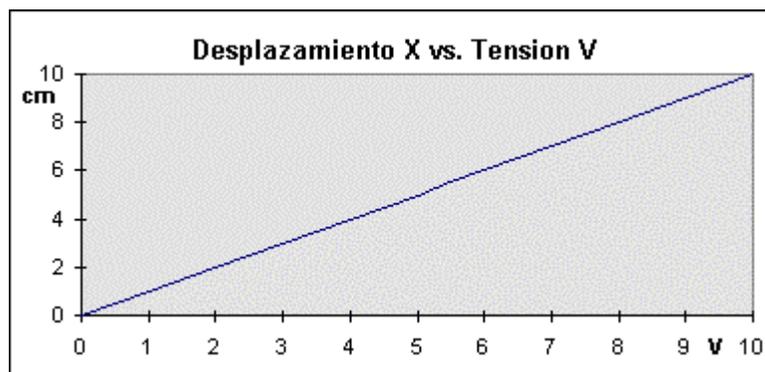
Se quiere medir la posición del haz sobre el eje 'x' en función de la tensión de entrada al mismo.

Bloques :



Colocamos una tensión variable en el canal 'x' , el osciloscopio en modo 'xy' y observamos la posición del haz para cada valor de tensión aplicada.

V_i [V]	X [cm]	V_i [V]	X [cm]
1	1	6	6
2	2	7	7
3	3	8	8
4	4	9	9
5	5	10	10



El eje 'x' es perfectamente lineal.

8.5.2. Linealidad de la rampa

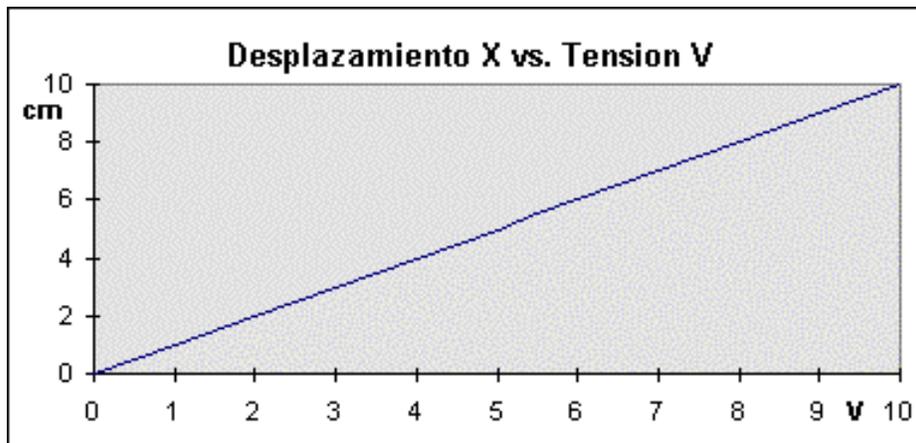
El objetivo es ver la linealidad de la rampa que controla al vco.

Bloques :



Es una forma muy precaria de medir la linealidad de la rampa , pero si fuera muy mala de esta manera se evidenciaría. Se mide la longitud de la rampa en tiempo, por unidad de incremento, en voltaje.

V_i	t_i	Δt
[v]	[ms]	[ms]
0	0	0
2	0,7	0,7
4	1,4	0,7
6	2,1	0,7
8	2,7	0,6
10	3,3	0,6



8.5.3. Linealidad del vco :

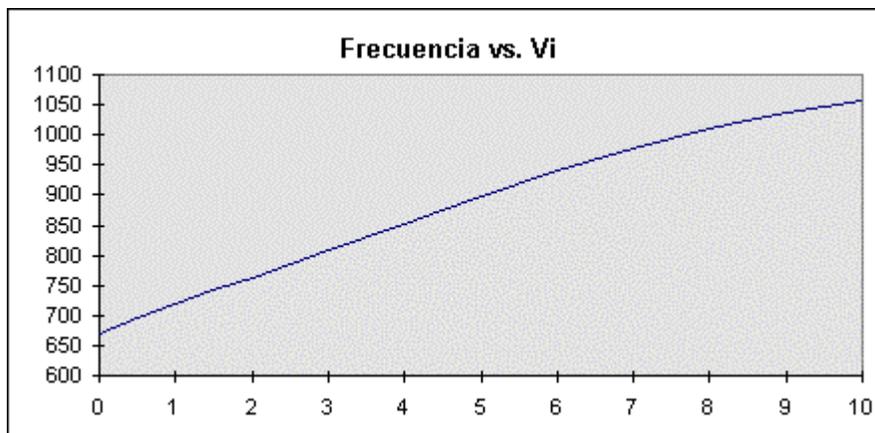
Se mediar la frecuencia de oscilación en función de la tensión aplicada al vco.

Bloques :



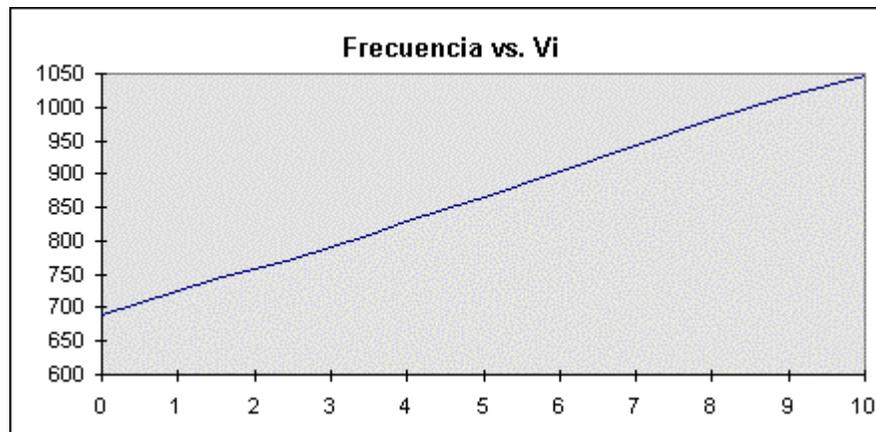
Colocamos una tensión continua regulable a la entrada de control del vco, y variando esta recogemos diferentes frecuencia, tomándose los siguientes valores :

V_i [v]	f [Mhz]	Δf [Mhz]
0	670	0
1	719	49
2	761,7	42,7
3	807	45,3
4	853,4	46,4
5	898	44,6
6	942,1	44,1
7	979	36,9
8	1010,4	31,4
9	1036,3	25,9
10	1057,7	21,4



Luego de colocar el conformador exponencial que sirve como corrector de la curva se realizo nuevamente la medición con los siguientes resultados :

V_i [v]	f_i [Mhz]	Δf [Mhz]
0	689	0
1	724,5	34,8
2	757,9	33,4
3	791,2	33,3
4	828,4	37,2
5	866,3	39,9
6	904,5	38,2
7	943,1	38,6
8	982,4	39,3
9	1016,6	34,2
10	1047,8	31,2

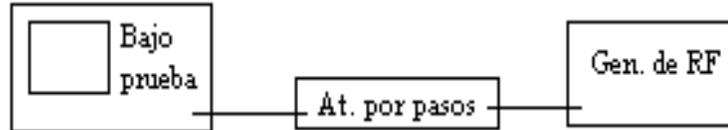


Observando ambos gráficos , se ve que la linealidad mejora con el conformador colocado.

8.6. Rango Dinámico :

Es la máxima variación de amplitud que se puede observar en la pantalla, sin que esta pierda linealidad.

Bloques :



Se coloca el nivel de mínima señal sobre la pantalla y se va incrementando de a pasos conocidos. Luego de cada paso se verifica que al atenuarla, por ejemplo 10db, en la pantalla se viera tal cosa. Llegara un momento que al atenuarla, la indicación en pantalla bajara menos de 10db, esto se deberá a que el amplificador del instrumento comenzó a saturarse.

Entonces el rango dinámico queda determinado por la distancia en db, desde la mínima señal hasta la máxima que cumpla con la coincidencia entre los valores de atenuación (del atenuador y lo visto en pantalla).

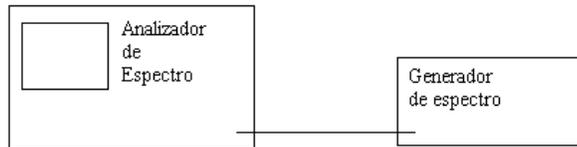
Se realizaron dos mediciones a diferentes frecuencias, en 120Mhz, 250Mhz y en ambas se tuvieron los mismos resultados. El rango dinámico medido fue de 50db.

8.7. Circuitos auxiliares

8.7.1. Respuesta del generador de espectro :

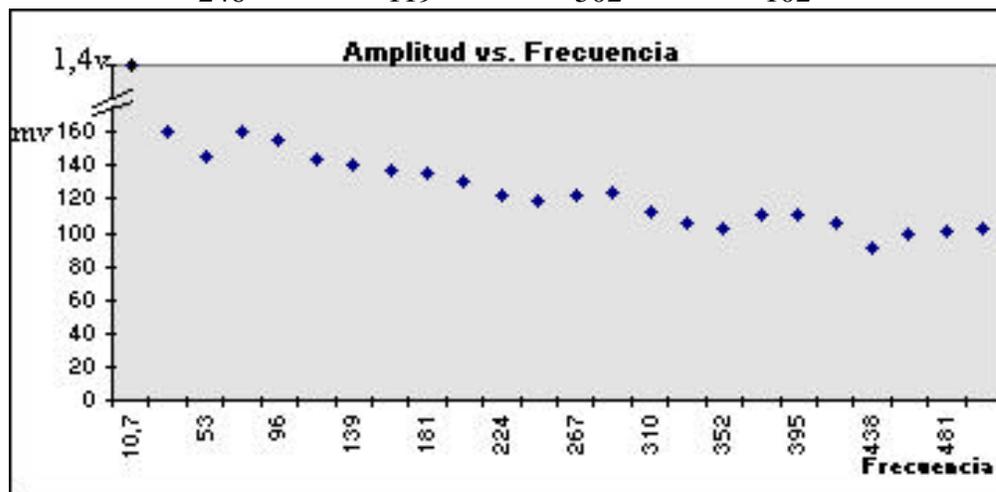
Se quiere medir la frecuencia y amplitud de cada armónica del generador de espectro. A esos fines se realiza el siguiente conexionado y se mide sobre el analizador de espectro.

Bloques :



El generador de espectro es un oscilador de onda cuasi-cuadrada, generando así un espectro en el que prevalecen las armónicas pares de f_0 , 10,7Mhz., que se utilizan para diferentes mediciones.

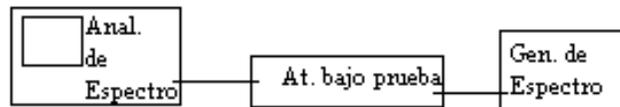
f [Mhz]	Vo [mv]	f [Mhz]	Vo [mv]
10,7	1,4volt	267	123
31	160	288	124
53	145	310	113
74	161	331	106
96	156	352	102
117	144	374	110
160	138	417	105
181	136	438	91
203	131	460	99
224	123	481	101
246	119	502	102



8.7.2. Respuesta del atenuador auxiliar

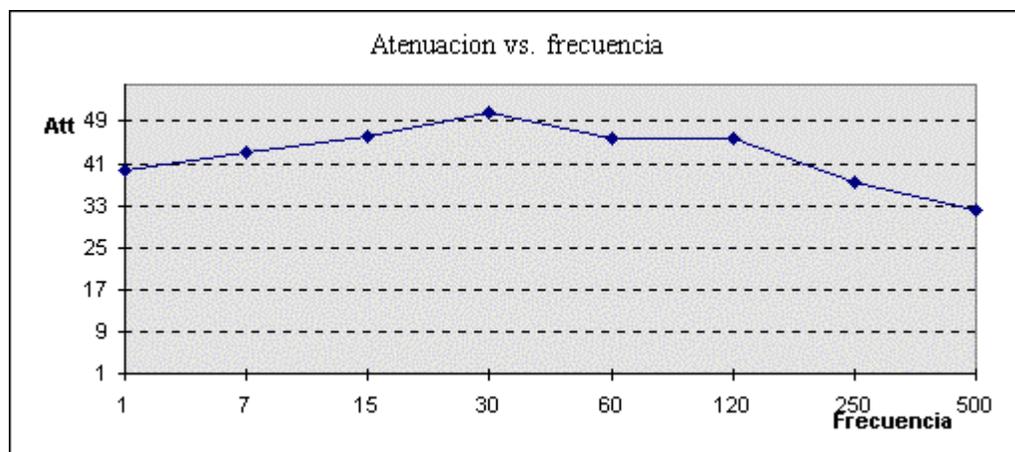
Medimos la atenuación en función de la frecuencia.

Bloques :



Se realizan las mediciones de igual manera que para el atenuador por pasos. Este es un atenuador fijo que se lo utilizo como auxiliar a la salida del generador de espectro, cuando las amplitudes de este ultimo eran mayores que las deseadas.

f [Mhz]	At [db]
1	40
7	43,5
15	47
30	50,6
60	45,8
120	45,8
250	37,6
500	32



Si bien el gráfico no es una recta, al saber el valor de atenuación para cada frecuencia, el atenuador nos es perfectamente útil.

8.8. Instrumentos Utilizados

- * Q-metro LEA, nro inv. 6737.
Inductancia y Q de las bobinas de la 3er FI.
- * Osciloscopio Hitachi, V-212, nro inv. 26689.
Medición del ancho de banda de la 3er FI.
- * Osciloscopio Goldstar, OS-9060D, nro inv. 9512/02.
Rango dinámico, mínima señal discernible, linealidad de la rampa.
- * Osciloscopio Hitachi, V-212, propio.
Linealidad del eje 'x' del osciloscopio.
- * Generador RF, Tech Te20, nro inv. 13167
Medición del ancho de banda de la 3er FI.
- * Frecuencímetro Fluke, 2303025, nro. inv. 21206.
Ancho de banda de la 3er FI, Linealidad del vco.
- * Analizador de espectro, Advantest, R4131c, nro.inv. 9512.
Mínima señal discernible, respuesta de los atenuadores por pasos y auxiliar, respuesta del generador de espectro.
- * Voltímetro Yang-fung, YF-3105, propio.
Linealidad del eje 'x' del osciloscopio.

9. Conclusiones

En base a los objetivos planteados se ha desarrollado una técnica constructiva y de medición de un circuito. En el presente trabajo se realizaron mediciones en frecuencias desde 50Hz hasta 500Mhz, con anchos de banda de 100khz y 500 Mhz, con señales de amplitudes de 5uV y 20 v, se han detectado problemas circuitales y de funcionamiento, se procedió con mejoras que incluyeron modificaciones y agregados de circuitos, para las cuales se debió recurrir a esta cátedra como a otras. A lo largo de seis meses ,se trabajo sobre este proyecto que permitió la puesta en practica de algunos de nuestros conocimientos y habilidades.

En cuanto al trabajo que se planteo en un principio, el circuito original se vio modificado para su mayor rendimiento. Como conclusión final se puede decir que se armo un analizador de espectro que cumple con los requerimientos básicos para un laboratorio personal, ya que con elementos a nuestro alcance logramos un instrumento de precios muy altos. Algunas de las características que logramos son bastante buenas , otras buenas y otras regulares , pero como anteriormente dijimos son suficiente para el trabajo en nuestro laboratorio.

10. Bibliografía

- * QST, noviembre 1985, "An inexpensive spectrum analyzer for the radio amateur"
- * Vademécum de radio y electricidad, Packmann, HASA,1989, Buenos Aires
- * Manuales Motorola : DL128 vol. I y vol. II , DL110, DL126.
- * Apunte de atenuadores, Teoría de circuitos II, UTN-FRA.
- * Consultas personales : Ingeniero Luciano Alvarez, Medidas Electrónicas II, UTN-FRA

Sr. Haroldo Andrés Pistocchi , LU7DIB.

Apéndice I :

Búsqueda de información

La idea original fue hacer un oscilador de gran cobertura, un mezclador que trabaje con la señal del oscilador y la de entrada al circuito, y que la saque por una FI. Para lograr esto, busque información sobre osciladores controlados por tensión y mezcladores . Sobre estos últimos aparecieron algunos datos interesantes como ser estos dos mezcladores de motorola : MC13141 , MC13142. Ambos tienen también un amplificador de bajo ruido, lo que era bastante bueno ya que solucionaba el problema de la amplificación de la señal de entrada y la mezcla a la vez. El segundo además tiene un vco, lo que es prácticamente la solución a todas las trabas. Los dos mezcladores tienen un ancho de banda muy bueno de DC hasta 1,8Ghz y una impedancia normalizada de 50 ohms de entrada y 800 ohms de salida . A toda esta idea se le presentaron dos problemas : el primero que ninguno de estos componentes se consiguen en las casa que deberían tenerlos por ser representantes de Motorola ; y el segundo que pretendía hacer un oscilador que cubriera desde 1 a 200 Mhz ! ! ! ! Cuando me di cuenta que era imposible me asesore y el problema se podía solucionar de la siguiente manera : Hacer un oscilador de por ejemplo 500 a 700 Mhz y mezclarlo con otro fijo de 500 y a la salida con un filtro pasa bajos tendría aproximadamente desde algunos kilohertz hasta 200Mhz. Estudiando esta propuesta comencé a ver posibles configuraciones, pero la imposibilidad de conseguir algunas herramientas que simplificarían el trabajo, hizo detener mi búsqueda e intentar desde otro punto de vista, que fue el realizado en este TP.

Hoy en día estoy retomando la idea principal ya que algunos componentes aparecieron.

Apéndice II :

Hojas de datos