

## TRABAJO PRACTICO 4

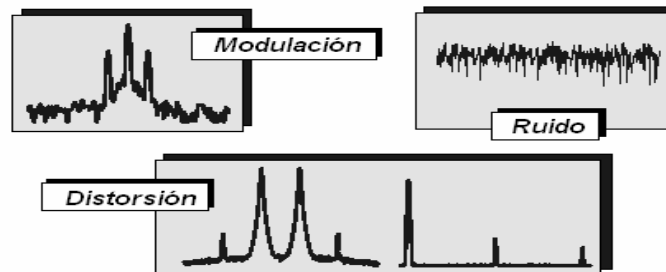
### MEDICIONES CON ANALIZADOR DE ESPECTRO DE RF

**INTRODUCCION TEORICA:** El análisis de una señal en el modo temporal con ayuda de un osciloscopio permite conocer parte de la información contenida en una señal compleja, como es el caso de una señal modulada. En el modo temporal no se puede conocer las componentes de frecuencia que conforman a la señal compleja.

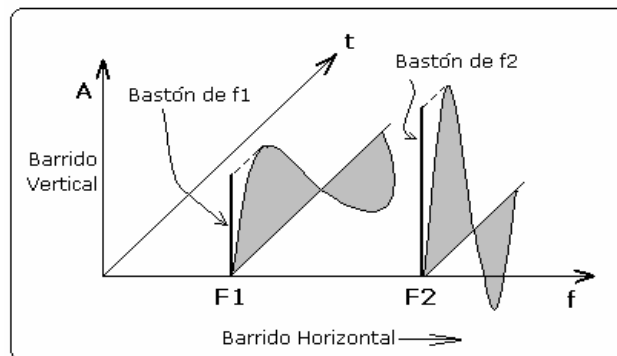
Un Distorcímetro, otro método de análisis de una señal compleja, dá una relación porcentual de la cantidad de armónicas de esa señal, pero tampoco nos permite conocer cuales son las frecuencias de esas armónicas.

El analizador de señales nos permite conocer estas componentes pero no resulta un método de determinación completo y totalmente preciso, porque por ser un método manual puede hacer que no se detecten ciertas armónicas.

El Analizador de Espectros es un instrumento que permite ver en un TRC en forma simple y rápida las frecuencias de las armónicas que componen una señal compleja, y además permite conocer la relación entre esas componentes, mediante bastones presentados en el TRC, cuya amplitud son proporcional a la amplitud de las armónicas. Un Analizador de Espectro permite hacer mediciones del índice de modulación de AM y FM y determinar sus componentes en frecuencia, hacer mediciones de Ruido y calcular el porcentaje de Distorsión de una señal.

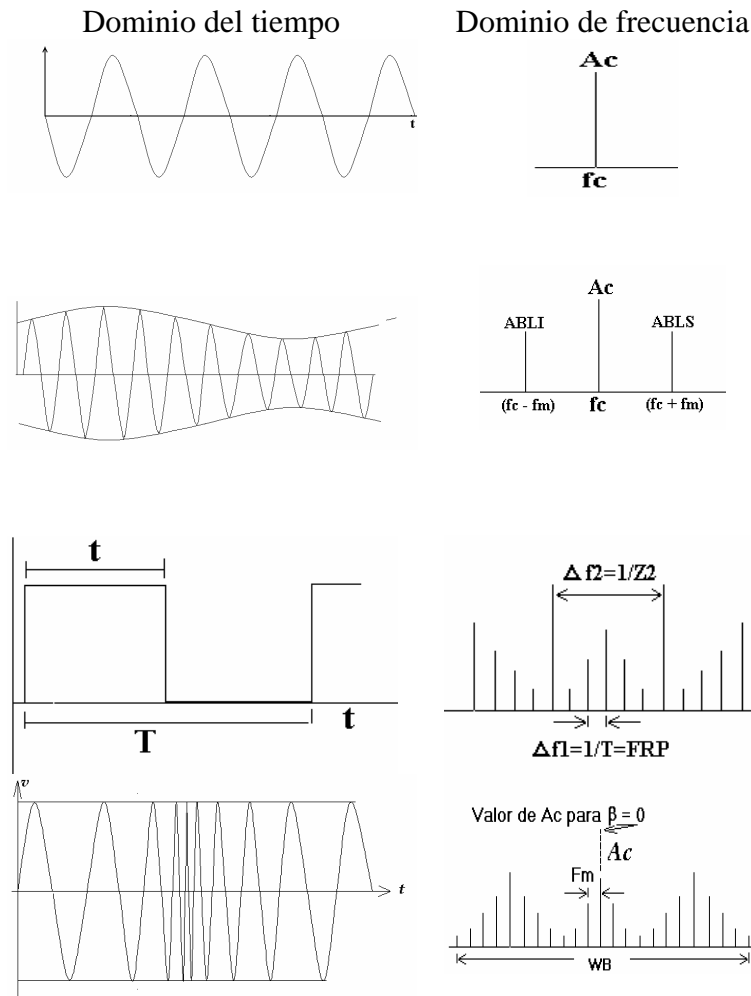


La representación de señales mediante este instrumento, nos presentará bastones con un bastón principal de mayor amplitud para la componente fundamental, y bastones a la derecha de ella, correspondientes a las armónicas.



La altura de esos bastones serán menores al de la fundamental y proporcionales a la amplitud de la armónica respectiva.

En una onda senoidal pura aparecerá un único bastón correspondiente a la fundamental. Con este instrumento se puede llegar a frecuencias muy altas con gran precisión, pudiéndose ver hasta señales de gigahertz.



La representación en frecuencia de una señal sinusoidal pura será un bastón único.

En el espectro de frecuencia, una señal modulada en amplitud se presenta con la fundamental y sus dos bandas laterales separadas. Con  $m=1$ , los bastones tienen una altura de la mitad de la portadora. Con  $m=0$ , sólo la portadora se verá. Con sobremodulación, además de la portadora y las bandas laterales, aparecerán frecuencias como consecuencia de la distorsión producida.

Representación del espectro de frecuencias que componen una onda cuadrada.

Representación de una señal modulada en frecuencia por un tono sinusoidal simple. El ancho de banda y la cantidad de bandas laterales dependerá del índice de modulación y este de la señal modulante

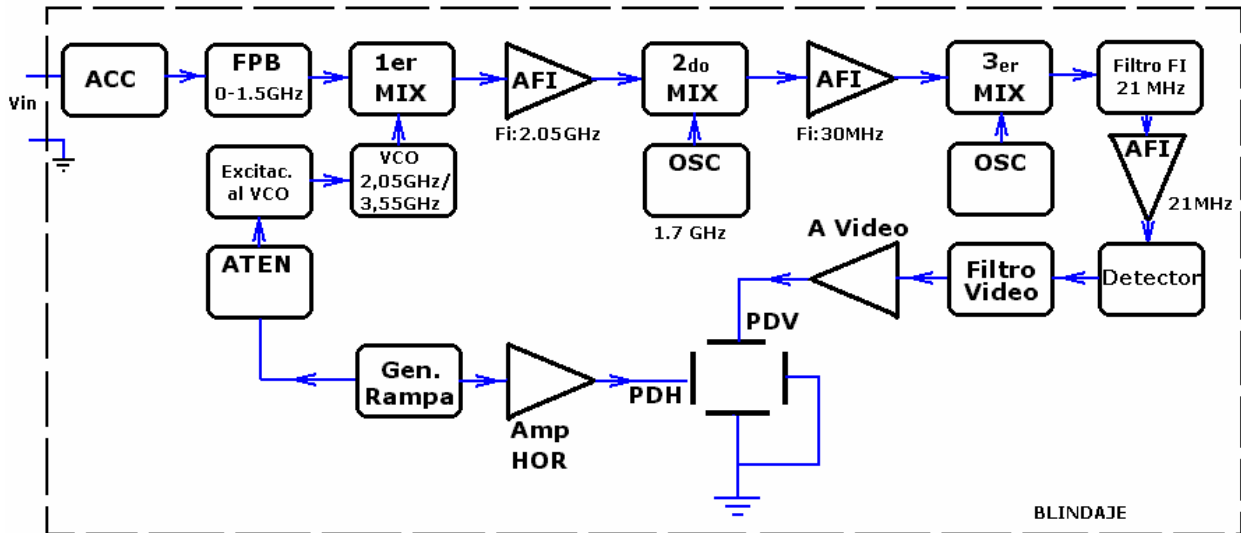
Los Analizadores de Espectro se pueden clasificar en:

- A) Analizadores de tiempo real o multicanal
- B) Analizadores de Sintonía Barrida, los cuales pueden ser de RF Sintonizados o Superheterodino.

Los de Tiempo real están constituidos por una serie de filtros Pasabanda de frecuencias central corrida, de modo que cada filtro deja pasar sólo una banda, y el próximo deja pasar la banda siguiente. A continuación del filtro se encuentra un detector y un filtro pasabajo. La salida de cada detector se conecta a una llave electrónica barrida por la señal de barrido de las placas deflectoras horizontales. En la pantalla habrá señal vertical si la señal estudiada tiene componentes de frecuencia en cada uno de los filtros pasabanda. De no tener, cuando ese filtro sea conectado a la llave no habrá deflexión vertical.

Debido a que la resolución dependerá del ancho de banda de cada filtro (a mayor resolución, menor ancho de banda), para tener un Analizador de buena resolución se necesitan una gran cantidad de filtros, y por lo tanto la banda total a analizar no podría ser muy grande. Este tipo de analizadores se usa sólo en baja frecuencia o frecuencias de Audio.

El Analizador de Espectro de Sintonía Barrida por medio de RF sintonizado, tiene un único filtro pasa banda, pero de frecuencia central móvil, siendo desplazada esta frecuencia por medio de un generador de barrido que mueve la frecuencia central. Es similar al anterior, pero con un sólo filtro.



Tiene el inconveniente que como el Q del filtro es constante, para variar la frecuencia central tiene que variar el ancho de banda, y por lo tanto su resolución, con lo cual en rango de alta frecuencia la resolución se degrada.

Una mejora a este instrumento se logra al usar un barrido en la FI, siendo el primer Filtro y el oscilador de RF de frecuencia fija. El barrido actúa sobre la frecuencia central de los filtros de FI con lo cual, como el ancho de banda es menor, su resolución no es tan afectada por el barrido de la frecuencia central.

Los analizadores tienen un SCAN que da frecuencia por división (Hz, ó KHz, ó MHz por división), pero en los analizadores modernos, el TRC presenta en forma digital el valor de la frecuencia del espectro sobre el que está ubicado un punto de referencia o marcador (cursor).

**Rango Dinámico:** Una característica muy importante de los analizadores de espectro es la capacidad de presentar señales de niveles altos y bajos en forma simultánea, siendo esta capacidad el Rango Dinámico, el cual es presentado en db.

La señal compuesta que se inyecta al Analizador, tiene componentes armónicas de diferentes frecuencias y amplitud, teniendo que amplificar señales fuertes y débiles en forma simultánea.

O sea, para tener una mejor apreciación de las componentes armónicas de una señal, el instrumento debe poder detectar las armónicas de orden superior que tienen una amplitud muy pequeña comparada con la amplitud de la fundamental. En los amplificadores lineales, si pretendemos darle suficiente amplificación para detectar las señales pequeñas, se pueden saturar las señales fuertes.

Lo ideal sería que la ganancia del amplificador sea variable en función de la amplitud de la señal recibida, de modo de dar mayor amplificación a las señales débiles que a las fuertes. Esto permitiría representar en la pantalla a las armónicas de orden superior. Esta capacidad de presentar niveles altos y bajos simultáneamente se llama rango dinámico.

Para conseguir esta ganancia variable, se usan amplificadores logarítmicos y la escala se presenta en escala logarítmica, con lo cual las mediciones de amplitud se hacen en forma relativa. Para mejorar la resolución de este instrumento, se tiene dos escalas verticales. Una lineal (LIN) y otra en escala logarítmica (LOG). Haciendo uso de atenuadores calibrados, se pueden obtener valores relativos entre las señales, pudiéndose discernir las señales de bajo nivel.

**Aplicaciones de los Analizadores de Espectro.**

**a- Medición del índice de modulación en AM:**

Si se tiene una onda modulada en amplitud por una modulante senoidalmente pura, que en el *dominio del tiempo* presenta una variación de este tipo:

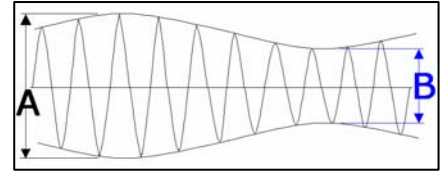


Figura #1

Su índice *m* de modulación se medirá en el *dominio del tiempo*  
 Como:  $M = A - B / (A + B)$

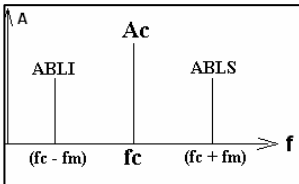


Figura #2

En el dominio de la frecuencia se tendrá esta representación #2 de donde no se puede obtener los parámetros A y B para calcular el índice de modulación según la expresión anterior. En este dominio, para calcular el índice de modulación hay que usar otra expresión.

Usando la expresión de modulación de crestas positivas y negativas:

$$C_{(-)} = \frac{Ac - Ac_{min}}{Ac} \times 100 = m\% \quad C_{(+)} = \frac{Ac_{max} - Ac}{Ac} \times 100 = m\%$$

Analizando el diagrama fasorial de la señal modulada, se encuentra que cuando la modulante (envolvente) es cero, la amplitud de modulada es igual al de la portadora. Los vectores de las bandas laterales estarán en cuadratura con el vector de la portadora y en oposición entre ellos.

En el punto de *Ac<sub>máx</sub>* se tiene que el fasor de la portadora y las dos bandas laterales están en fase, siendo la amplitud la suma de las amplitudes de cada fasor individual.

En el punto de *Ac<sub>min</sub>* se tiene que el fasor de la portadora y las dos bandas laterales están en contrafase y la amplitud de la modulante será la amplitud de la portadora menos la amplitud de cada

$$Ac_{máx} = Ac + (ABLI + ABLS) \quad Ac_{min} = Ac - (ABLI + ABLS)$$

banda lateral.

Y despejando en la formula de *C(+)* se tiene:

$$m\% = \frac{(Ac + 2ABL) - Ac}{Ac} \times 100 = \frac{2ABL}{AC} \times 100$$

Esta fórmula contiene valores que se pueden obtener de la representación en dominio de la frecuencia y para un tono senoidal modulante. Esta es la expresión usada para una presentación en escala lineal con índice  $m$  medianos o altos. Cuando el  $m$  es bajo, es conveniente la escala logarítmica. Para una lectura en escala logarítmica medida en db, el índice de modulación debe calcularse siguiendo el siguiente desarrollo:

$$20 \log m = 20 \log 2 + 20 \log ABL / AC = 6dB + (ABL - AC)_{dB}$$

$$m = \text{anti log} \frac{(6 + ABL - AC)_{dB}}{20}$$

Para un índice de modulación de 100%, las bandas laterales tendrán la mitad de la amplitud de la portadora, pero en db, habrá una diferencia entre estas y la portadora de  $-6dB$ . Para índices menores al 100%, la amplitud de las bandas laterales será  $ABL = AC \cdot m / 2$ ; mientras que en representación logarítmica, la diferencia entre las bandas laterales y la portadora será mayor a  $-6dB$ .

En la práctica no se usan los valores absolutos en dB para la determinación de la distorsión, índice de modulación, etc.; si no que se usan los valores relativos entre la portadora y las bandas laterales con ayuda de los atenuadores calibrados.

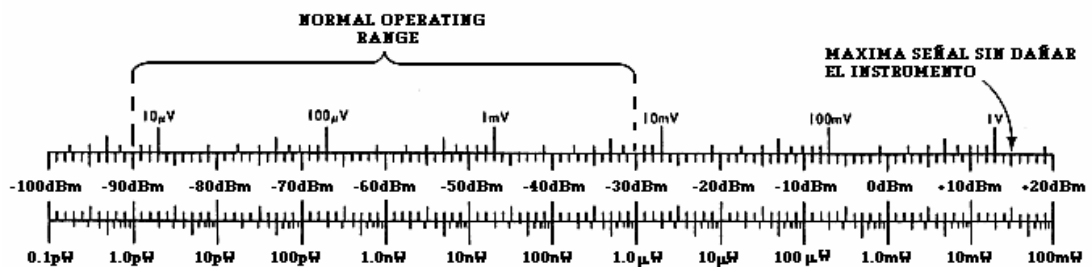


Gráfico de conversión de Volts-dBm-Watts para una impedancia de 50 ohms. Nota: 0 dBm = 1 milivatio

#### b- Determinación del índice de modulación de FM que hacen cero las Funciones de Bessel.

Si a una señal portadora de RF la modulamos angularmente con otra de baja frecuencia, se obtiene una señal de amplitud constante pero de frecuencia o fase variable dependiendo de la amplitud y frecuencia de la modulante.

Su espectro de frecuencia dependerá del índice de modulación en frecuencia, y presentará bandas laterales múltiples a ambos lados de la portadora. La amplitud de estas bandas laterales y su existencia dependerá del índice de modulación  $\beta$ .

El índice  $\beta$  variará desde 0 en adelante tomando generalmente valores mayores a 1. Este valor dependerá de la frecuencia de la modulante.

El desplazamiento de frecuencia  $\Delta f$  de la portadora desde su valor original hasta el máximo producido por la modulante dependerá de la amplitud de la modulante.

Dada una señal  $v_m = A_m \cos \omega_m t$  que modula en frecuencia al argumento de la función senoidal de otra llamada portadora se tiene:

$$\omega_i = \omega_c + A_m \cos \omega_m t$$

$\omega_i$  = frecuencia angular de la modulada     $\omega_c$  = frecuencia angular de la portadora  
 $\omega_m$  = frecuencia angular de la modulante

Siendo la frecuencia modulada  $v = A_c \cos(\omega_c t + \frac{A_m}{\omega_m} \text{sen } \omega_m t)$  : (1)

Donde se ve que la amplitud de esta señal modulada es constante e igual a la de la portadora, pero su fase y/o frecuencia dependerá de la amplitud y frecuencia de la señal modulante.

La máxima desviación de la frecuencia instantánea de la frecuencia de la portadora será:

$$f_i = f_c + A_m / 2\pi \Rightarrow \Delta f = \frac{A_m}{2\pi} = f_i - f_c$$

$f_i$  : Frecuencia modulada,  $f_c$ : frecuencia portadora y  $f_m$  frecuencia modulante

Se define el índice de modulación de frecuencia como:

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{A_m}{2\pi f_m}$$

Desarrollando matemáticamente la expresión (1) se obtiene que ella es la diferencia entre dos productos de cosenos y senos, los cuales se pueden desarrollar por medio de una serie de Fourier, siendo los coeficientes de estas componentes las llamadas funciones de Bessel  $J_n(\beta)$  de primera clase de orden n.

$$v(t) = J_0(\beta) \cos \omega_c t - J_1(\beta) [\cos(\omega_c - \omega_m)t - \cos(\omega_c + \omega_m)t] + J_2(\beta) [\cos(\omega_c - 2\omega_m)t + \cos(\omega_c + 2\omega_m)t] + \dots$$

De esta expresión se ve que la componente de la portadora depende del índice de modulación si bien la amplitud de la modulada es constante. Para índices muy bajos, la amplitud de la portadora es apreciable pero disminuye al aumentar el índice  $\beta$ . También se desprende que para un solo tono modulante, aparecen varias bandas laterales separadas entre sí por  $\omega_m$  y dependiendo la cantidad de bandas laterales de la amplitud de la modulante.

Si el  $\beta$  es cero, la salida del modulador será sólo la portadora con su máxima amplitud, la cual es normalizada a 1.

Si el  $\beta$  es pequeño (menor a 0,2/05) estamos en la llamada FM de banda angosta y aparece sólo en el espectro la portadora con amplitud reducida y dos frecuencias laterales separadas  $\omega_m + \omega_c$  y  $\omega_m - \omega_c$  ya que para ese valor, las funciones de Bessel de orden superior a 1 son nulas. El ancho de banda de esta modulación será  $2 \omega_m$ .

Si  $\beta$  es mayor, comienzan a tener importancia las funciones de Bessel de orden superior y el ancho de banda crece hacia infinito y la amplitud de las bandas laterales al igual que la de la portadora disminuye.

Índice de modulación M	Ancho de Banda WB =	
	<i>Fm por</i>	<i>Δf por</i>
0,5	4	8
1,0	6	6
2,0	8	4
3,0	12	4
5,0	16	3,1
10	28	2,8
20	50	2,5

Dado que el 98% de la energía se distribuye en las componentes cercanas a la portadora, la regla de Carson dice que el ancho de banda práctico para  $\beta \gg 1$  es de:

$$WB = 2(\beta + 1)fm = 2(\Delta f + fm)$$

Variando el índice de modulación, se tiene como ya se mencionó, que para determinados  $\beta$ , la portadora se anula, correspondiendo esos valores a  $\beta = 2.4, 5.52, 8.65$ , etc. Lo mismo sucede para las bandas laterales a diferentes  $\beta$ . Después de la primera anulación de la portadora, esta reaparece hasta alcanzar un máximo de amplitud equivalente a aproximadamente el 40% del valor sin modulación, y luego se anula por segunda vez a  $m=5.52$ .

Anulación	Portador a	1er Banda	2da Banda	3er. Banda
<i>Primera</i>	2,40	3,83	5,13	6,38
<i>Segunda</i>	5.52	7,02	8,42	9,76
<i>Tercera</i>	8,65	10,17	13,01	13,01

Índice de modulación para anulación de Portadora y Bandas Laterales

### ***Práctica de Laboratorio***

Objetivo: Determinar el índice de modulación de una señal de AM y comprobar los valores de las funciones de Bessel que producen los ceros de las mismas.

#### **1- Elementos a utilizar:**

- Analizador de Espectro:  
 Marca: Tektronix-491                      Número de serie:                      Max. Frecuencia de trabajo:
- Puntas de Prueba Simples.
- Generador de funciones:  
 Marca: Towards M 8102      Número de serie:                      Rango de trabajo:
- Generador de RF:  
 Marca: National/                      Número de serie:                      Rango de trabajo:
- Circuitos usados: Diagrama y valores de los componentes (capacitores y resistencias).

### Descripción del Analizador:

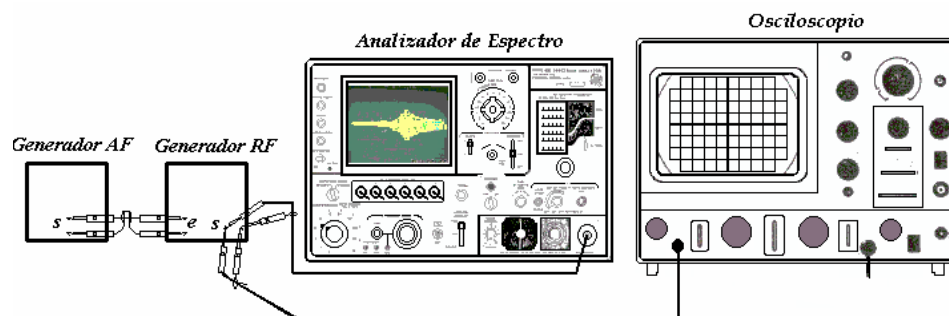
El Analizador de Espectro Tektronix 491 es un analizador de banda ancha con un rango de frecuencia central de RF de 10MHz a 40 GHz. El muestra la amplitud de la señal como una función de la frecuencia de la porción seleccionada del espectro.

El rango dinámico en modo LOG es de mayor o igual a 40dB en 8 divisiones, y en modo Lin es mayor o igual a 26dB en 8 divisiones.



### 2- PROCEDIMIENTO:

- 1- Configurar el Generador de RF para modulación de FM, modulándolo con un generador externo de audio.



- 2- Conectar la salida del Generador de RF a la entrada del Analizador de Frecuencia. Conectar también la salida del Generador de RF al canal vertical de un osciloscopio para visualizar la señal modulada. Seguir el circuito sugerido. Seleccionar una señal de RF de 10 a 15 Mhz y una modulante externa de 15KHz.



- 3- Configurar el Analizador para observar el espectro de frecuencias de esta señal.
- 4- Sin modular, centralizar la portadora en el centro de la pantalla del Analizador.
- 5- Incrementar lentamente la amplitud de la modulante, observando la representación del espectro.
- 6- Verificar la cantidad de bandas laterales para índice menor a 0.5 y determinar el ancho de banda de esa señal.
- 7- Variar la amplitud de la modulante hasta obtener la primera anulación de la portadora.
- 8- Medir el ancho de banda en esta situación, y con un frecuencímetro, la frecuencia modulante.
- 9- Calcular el  $\Delta f$  y el índice de modulación. Verificar el  $\Delta f$  con el indicado por el generador de RF.

$$\begin{aligned} BW &= \\ \Delta f = BW/2 - f_m &= \\ \beta = \Delta f / f_m &= \end{aligned}$$

- 10- Variar la amplitud de la modulante hasta obtener la anulación de las dos primeras bandas laterales.
- 11- Medir el ancho de banda en esta situación, y con un frecuencímetro la frecuencia modulante.
- 12- Calcular el  $\Delta f$  y el índice de modulación. Verificar el  $\Delta f$  con el indicado por el generador de RF.

$$\begin{aligned} BW &= \\ \Delta f = BW/2 - f_m &= \\ \beta = \Delta f / f_m &= \end{aligned}$$

- 13- Seleccionar modulación de AM en el Generador de RF.
- 14- Variar el nivel de la modulante desde 0 observando el espectro de frecuencias.
- 15- Ajustar al 100 % de modulación y observar la relación entre las bandas laterales y la portadora.
- 16- Medición del índice m desde la representación espectral. Colocar el Vertical Display en LOG. Colocar inicialmente todos los atenuadores en off. Inyectar sólo la portadora sin modular y ajustar el nivel de ganancia del Analizador hasta que el pico de la portadora alcance el tope de la retícula. La base de la señal (nivel de ruido) debe situarse sobre la línea inferior de la retícula. Esto nos permite usar el rango dinámico máximo.

Se modula la señal y se observa el pico de las bandas laterales. Se marca ese valor sobre la retícula. Luego, variar alternativamente las distintas llaves de los atenuadores para conseguir que el pico del bastón de la portadora sea igual al valor original de las bandas laterales. En estas

condiciones, se toma los valores en dB de los atenuadores activados para conseguir esa condición.

17- Se suman los valores de los atenuadores.

18- Se calcula el índice de modulación usando la expresión: 
$$m = \text{anti log} \frac{(6 + ABL - Ac)dB}{20}$$

Nota: el valor de los atenuadores será en la expresión igual al valor de ABL - Ac

$$\begin{aligned} Abl (dB) - Ac (dB) &= \\ m &= \\ m \% &= \end{aligned}$$

19- Se repite el ítem 15 para otro valor intermedio de m.

20- Se sobremodula y se observan los espectros generados y simultáneamente se observa la forma de onda en el dominio del tiempo en el osciloscopio. Se discute el efecto.

# CONTROL SET-UP CHART

