



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL TUCUMÁN**

**Ingeniería Electrónica – Medidas Electrónicas II**

**“Analizador de Espectro”**

**Ing. J.C. Colombo  
Prof. Medidas Electrónicas II  
24/08/12**

## 1.- Introducción

Una función periódica de cualquier tipo, puede descomponerse por una serie trigonométrica o Serie de Fourier de la forma:

$$Y(t) = \frac{1}{2} a_0 + a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t + \dots + a_n \cos \omega t + b_n \sin \omega t$$

Donde los coeficientes  $a_n$  y  $b_n$  son constantes. Esta serie es conocida como la Serie de Fourier de la señal correspondiente.

El primer termino ( $\frac{1}{2} a_0$ ) suele denominarse “nivel de continua”, el segundo par de términos ( $a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t$ ) se denomina “fundamental”, los siguientes pares de términos ( $a_2 \cos \omega t + b_2 \sin \omega t + a_3 \cos \omega t + b_3 \sin \omega t + \dots$ ) son los llamados armónicas de orden superior. Cada uno de estos pares se puede escribir en forma de:

$$A_n \sin(n \omega t + \phi), \text{ donde } A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \text{la fase inicial de la señal es } \phi \text{ y } \tan \phi = a_n / b_n.$$

Los timbres de los diferentes instrumentos musicales pueden atribuirse principalmente a las diferencias comparativas de los  $A_n$  de los sobre tonos.

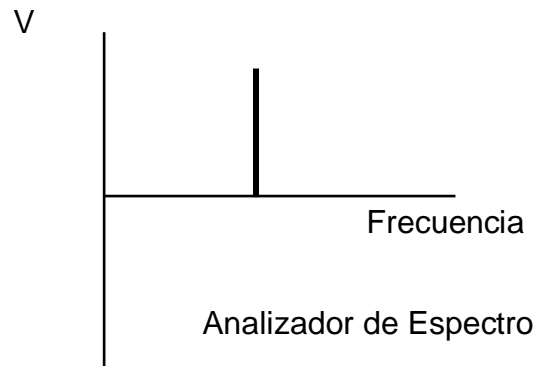
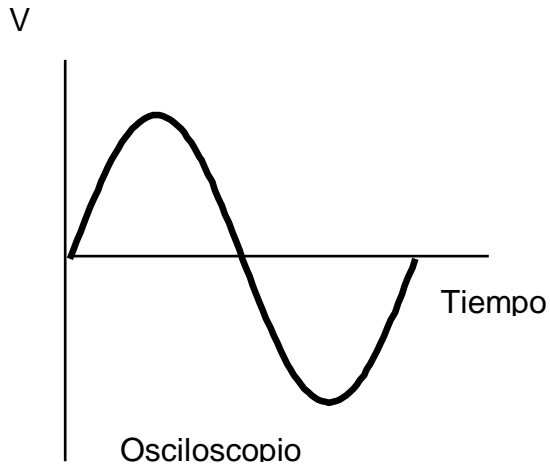
Los valores de los coeficientes de la serie trigonométrica, se encuentran mediante:

$$\left. \begin{array}{l} \text{to+T} \\ a_n = \frac{2}{T} \int_{\text{to}}^{\text{to+T}} f(t) \cos(n \omega t) dt \\ \text{to} \\ \text{to+T} \\ b_n = \frac{2}{T} \int_{\text{to}}^{\text{to+T}} f(t) \sin(n \omega t) dt \\ \text{to} \end{array} \right\} \text{ con } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

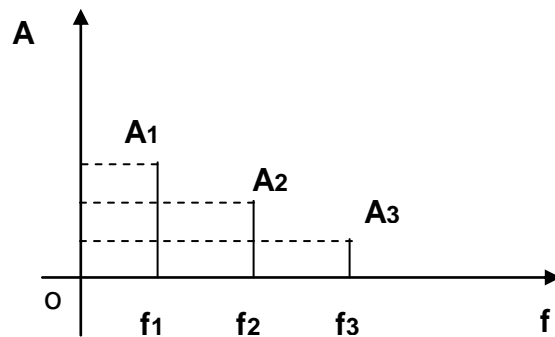
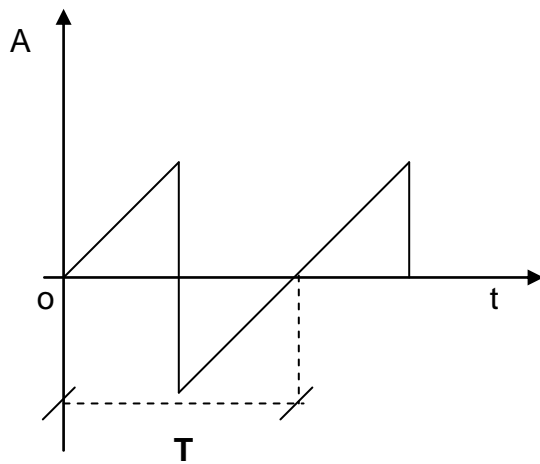
lo cual se cumple para cualquier función periódica  $f(t)$  entre  $\text{to}$  y  $\text{to+T}$ .

Como puede verse, el número de coeficientes para cualquier señal periódica (salvo las senoidales puras) será infinito, esto hace que el cálculo sea imposible. Sin embargo el valor de dichos coeficientes va disminuyendo, en algunas señales más rápido que en otras, hasta que la contribución de algunos coeficientes es mínima y despreciable. Entonces es posible tomar un número finito de coeficientes sin cometer errores importantes.

Esto permite la representación gráfica en el espectro de las frecuencias a señales iguales a las consideradas, donde la Amplitud Vertical de la señal está dada por  $A_n$  y la horizontal por la frecuencia  $f$ , un ejemplo de esta gráfica puede verse en las siguientes figuras.



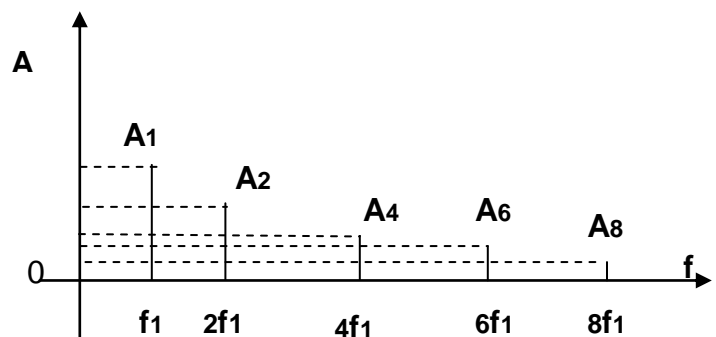
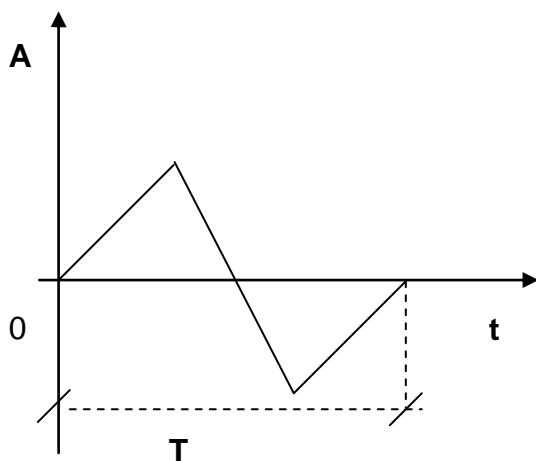
Las gráficas muestran las características de una onda senoidal ideal: las especificaciones reales tienen diferencias con la forma ideal presentándose distorsiones en las ondas.



Gráfica en función del tiempo  
(Diente de Sierra)

Gráfica en función de frecuencia  
(Espectro de Frecuencia)

Una señal Triangular tiene fs más armónicas pares con amplitudes decrecientes.



Una señal Cuadrada de  $f_s = 3 \text{ KHZ}$  (fundamental) tendrá armónicas impares  $f_{s3} = 9\text{KHZ}$  (3° armónica) ,  $f_{s5} = 15\text{KHZ}$  ( 5° armónica),  $f_{s7}$  (7° armónica) =  $21\text{KHZ}$ ,  $f_{s9}$  (9° armónica) =  $27\text{KHZ}$  , siempre con respecto a la fundamental.

Otra forma de escribir la serie de Fourier es expresando los senos y cosenos en forma exponencial, recordando que:

$$e^{jn\omega t} = \cos n \omega t + j \sin n \omega t$$

se puede deducir que la señal queda expresada por:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega t} \quad \text{donde} \quad C_n = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) e^{-jn\omega t} dt$$

**Cuando estamos en presencia de señales que no son periódicas, se las considera un caso especial de las series de Fourier cuando el periodo  $T$  tiende a infinito.**

Considerando las ecuaciones anteriores con los límites indicados y **reemplazando las sumatorias por integrales** se obtiene:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{jn\omega t} d\omega$$

donde

$$F(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-jn\omega t} dt$$

Estas ecuaciones se denominan Integrales de Fourier y  $F(\omega)$  se llama Transformada de Fourier de  $f(t)$  .

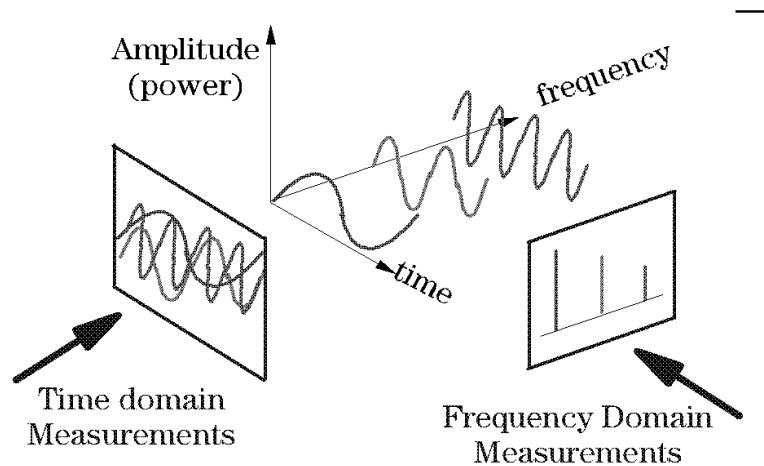
Esta **transformada es única** o sea que dada una función  $f(t)$  siempre es posible encontrar una sola función  $F(\omega)$  que satisfaga dichas ecuaciones. De la misma manera dada una función  $F(\omega)$  siempre es posible encontrar sólo una función  $f(t)$  que satisfaga dichas ecuaciones. Por este motivo a  $f(t)$  se la llama Transformada Inversa de Fourier de  $F(\omega)$ .

## 2.- Esquema Básico de un Analizador de Espectro

Las características de Amplitud vs. Tiempo de una señal analógica puede analizarse en el dominio temporal con un Osciloscopio, y si es Amplitud vs. Frecuencia en el dominio de la frecuencia con una Analizador de Espectro, como lo indica la **Figura 1)**. Cuando se está en el dominio temporal se hace la sumatoria de todas las componentes de frecuencias o armónicas

de una señal, según Fourier, y aparecen en la pantalla (TRC) o en un display digital de un osciloscopio como una única señal.

Cuando es necesario descomponer una señal en sus diferentes componentes espectrales de frecuencias o contenidos armónicas, para analizar de manera independiente el comportamiento de la amplitud con la frecuencia de cada componente y luego de la totalidad de las mismas se utiliza un Analizador de Espectro.



**Fig. 1: Relación de señales en función de la frecuencia y el tiempo**

Esta figura muestra una señal tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia. En el dominio del tiempo todos los componentes de distintas frecuencias de la señal son sumados y mostrados juntos. **En el dominio de la frecuencia la señal es separada en sus componentes de frecuencias y se muestra el nivel de cada una.**

Con un Analizador de Espectro mediciones como Frecuencia, Potencia, Contenido Armónico, Modulación y Ruido pueden ser realizadas fácilmente. A esto se puede agregar la Distorsión de Armónicas, el Ancho de Banda Ocupado, la Estabilidad de Señal, la Potencia de Salida, la Distorsión de Intermodulación, La Relación Señal / Ruido y muchas otras mediciones. Algunos de estas cuestiones se indican en la **Figura 2** siguiente.

**Medir la calidad de la modulación** permite saber si el sistema trabaja apropiadamente y que la información será transmitida correctamente. Conocer el contenido espectral es importante, especialmente en comunicaciones donde se cuenta con un ancho de banda limitado. Testear el porcentaje de modulación, la amplitud de la banda lateral, la calidad de la modulación, ancho de banda ocupado, son algunas de las mediciones más comunes en modulación.

En comunicaciones, **medir la distorsión** tanto en los receptores, como en los transmisores es crítico. Por ejemplo, una distorsión excesiva de armónicas en la salida del transmisor puede interferir con otras bandas de comunicación. Las mediciones comunes de la distorsión, incluyen la intermodulación, armónicas, y las emisiones espurias.

Cualquier dispositivo o circuito activo puede generar ruido. Medir este **ruido** y la relación Señal / Ruido es importante para caracterizar el comportamiento de los dispositivos y su contribución al ruido general del sistema.

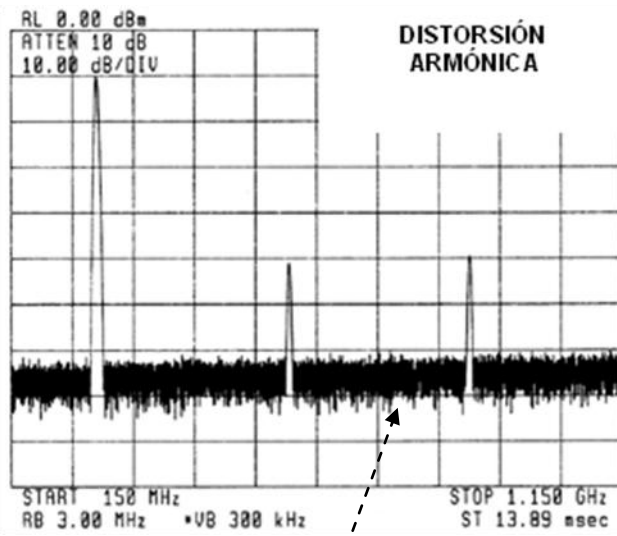


Fig. 2a) Distorsión armónica + ruido

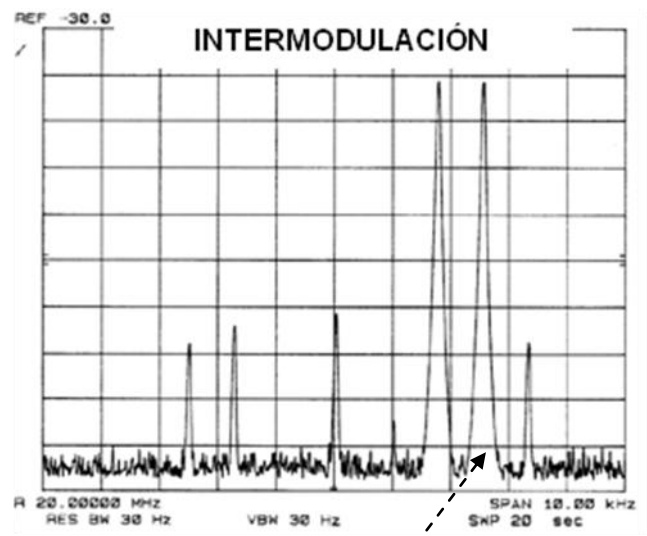


Fig.2b)

Distorsión por Intermodulación de tercer orden en un transmisor de banda lateral única (BLU)

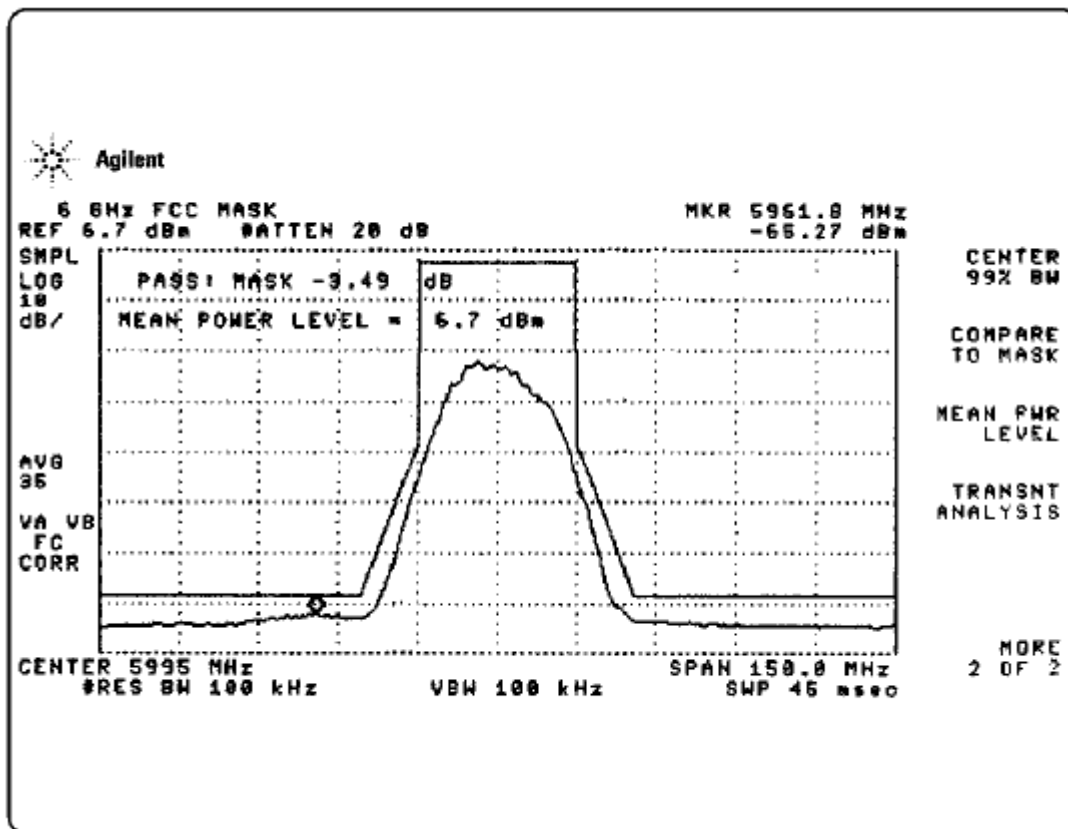


Fig. 2c) Espectro de una señal de radio digital, y máscara que muestra los límites permitidos de ocupación espectral.

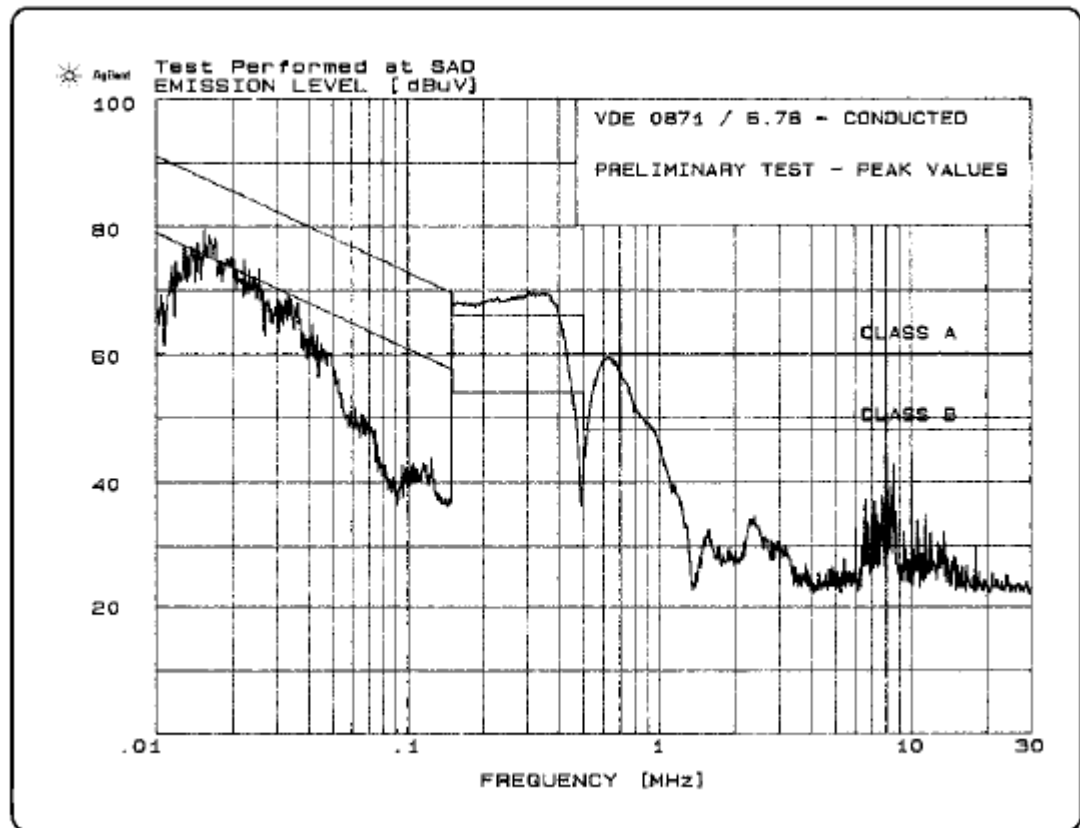


Fig. 2d ) Emisiones conducidas en función de los límites impuestos por la VDE como parte de una prueba de interferencia electromagnética ( EMC).

En la **Fig. 2 a)** se verifica el contenido armónico de la señal portadora para evitar interferencias con otros sistemas que operan en las frecuencias de las armónicas. También se destaca la distorsión de la señal modulada sobre una portadora.

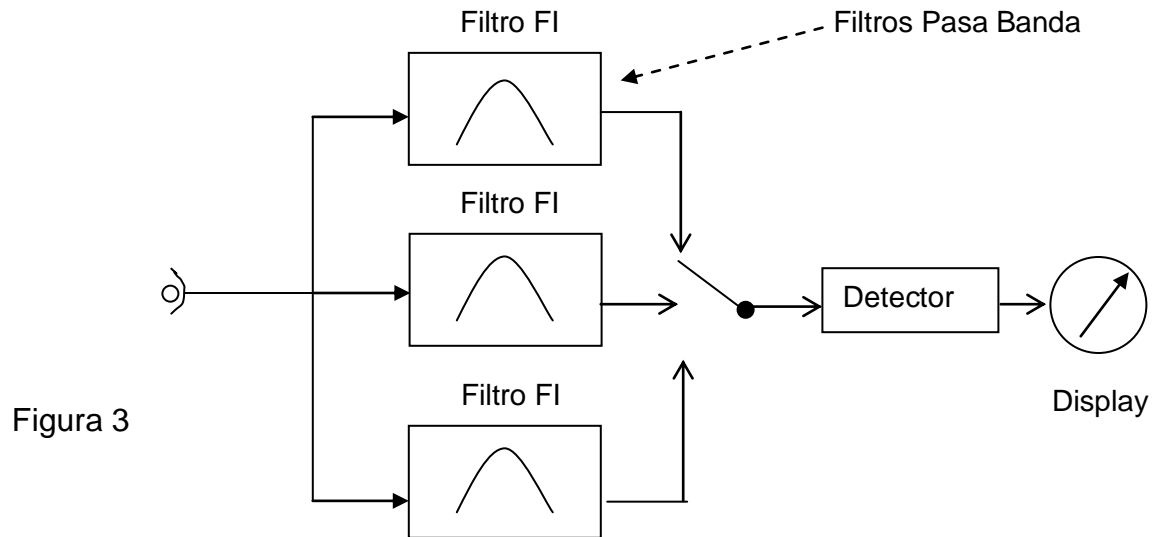
En la **Fig. 2 b)** se muestra que la intermodulación de tercer orden (dos tonos de una señal que se modulan entre sí) puede ser problemático ya que las componentes de distorsión pueden caer dentro de la banda de interés, y en consecuencia no pueden ser filtradas.

La **Fig 2 c)** indica la ocupación espectral. La modulación de una señal aumenta su espectro, y para evitar interferencia entre canales próximos se restringe el ancho espectral de varias transmisiones.

Por último, en la **Fig 2 d)** se muestra que la interferencia electromagnética (EMI) también puede ser considerada como una forma de ocupación espectral. Se debe evitar que emisiones no deseadas, ya sean radiadas o transmitidas por la alimentación u otro tipo de cableado interfieran con el funcionamiento de otros sistemas.

Hay varios métodos para descomponer una señal en sus componentes individuales de frecuencias. Un método básico es el siguiente: se colocan filtros Pasa Bandas que son atacados por la señal a analizar y un Detector, que seleccionando cada una de ellas muestran las amplitudes correspondientes en función de la frecuencia. A continuación del Detector hay un Amplificador de Video con funciones similares al Amplificador Vertical de un ORC.

El Esquema elemental indicado es el siguiente:



Las desventajas de este esquema simple son:

- Requiere de un Detector de Gran Ancho de Banda.
- No presenta en forma simultánea todas las componentes.
- Es para señales periódicas.

Si bien originalmente ha sido pensado para señales periódicas, con algunas adaptaciones se podría utilizar para señales aperiódicas de baja frecuencia, como un Analizador de Fourier elemental, el esquema indicado en la **Figura 4a)** siguiente, es un esquema simplificado. Para una señal de entrada hay varias salidas, y en un tiempo  $t = t_0$  cada una de ellas mide una componente armónica de frecuencia distinta de la señal de entrada, según lo que la frecuencia de la señal que pasa por cada uno de los filtros pasa banda; de modo que el espectro deseado se lee simultáneamente como se indica a continuación en la **Figura 4b)**.

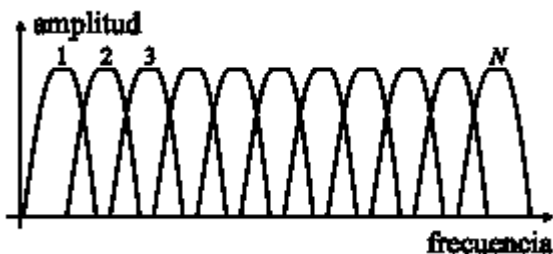


Figura 4b)



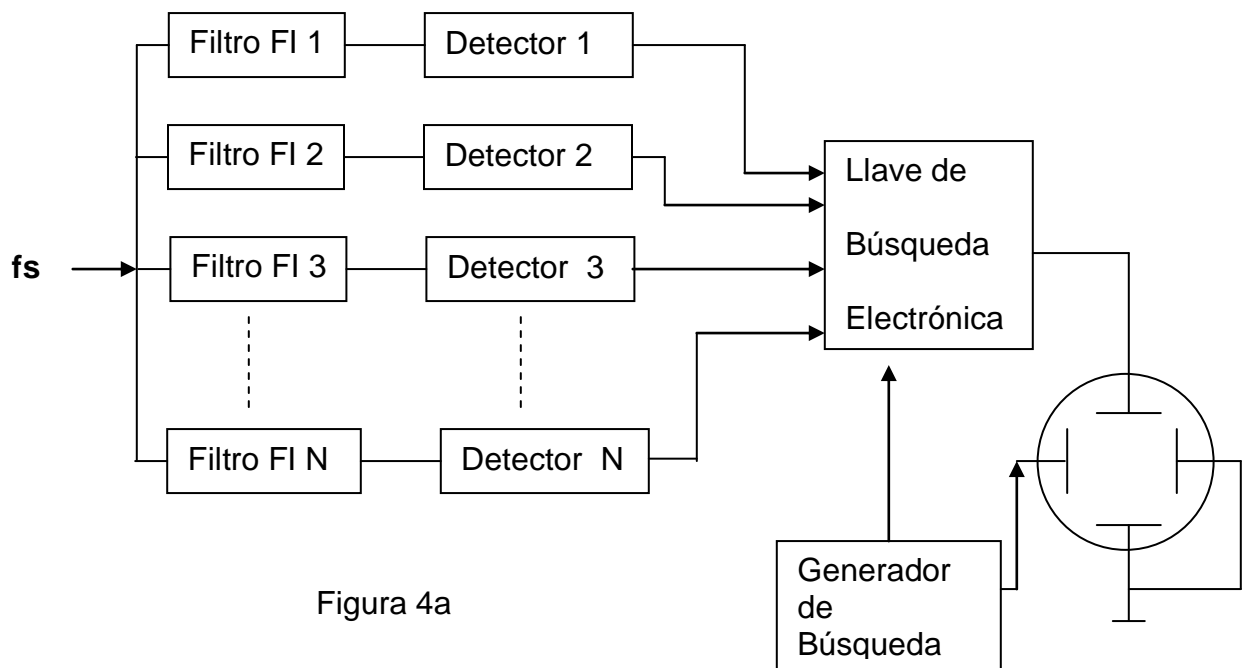


Figura 4a

El esquema de la Figura 4a) anterior se conoce como un **analizador espectral analógico simultáneo**.

El sistema está compuesto por un conjunto o banco de filtros pasa banda selectivo, cada uno de ellos sintonizado a una frecuencia distinta. Si se mide la salida de cada uno de estos filtros se puede determinar la potencia en la porción del espectro comprendida por su ancho de banda. Eligiendo las frecuencias centrales y el ancho de banda de modo que las respuestas en frecuencia se solapen adecuadamente, se puede caracterizar completamente el rango del espectro cubierto por el conjunto de filtros, como muestra la Figura 4b). El número de filtros necesarios para cubrir el espectro depende de consideraciones económicas: para detectar frecuencias espectrales arbitrariamente próximas, debería utilizarse un elevado número de filtros pasa banda muy angosto. El costo de cada filtro crece a medida que disminuye su ancho de banda, con un factor de forma muy pequeño, de modo que un analizador de alta resolución resulta costoso. Los analizadores espectrales analógicos simultáneos o de bancos de filtros suelen utilizarse en aplicaciones de audio, donde es habitual utilizar 32 filtros, cada uno cubriendo un ancho de banda de un tercio de octava.

La llave de búsqueda electrónica muestrea con la suficiente rapidez los filtros para representar la rapidez instantánea de la señal de entrada, dispuestos de tal manera de cubrir en forma continua el espectro de frecuencia.

Un analizador de tiempo real o multicanal, es básicamente un conjunto de filtros pasa-banda, como muestra la Figura 4a). La amplitud compuesta de la señal dentro de cada filtro pasa-banda se muestra como una función de rango de frecuencia de todos los filtros. El rango de frecuencia del analizador de espectro está limitado por el número de filtro y sus anchos de bandas. Esto es tiempo real, no obstante es mejor para el análisis de baja frecuencia tales como rango de audio y sub-audio. La banda pasante de los filtros puede ser muy angosta con una muy buena resolución sin tener que sacrificar velocidad de barrido, como en los analizadores de barrido sintonizados. Los analizadores multicanal y los analizadores de Fourier hacen la conversión a partir del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia por procesamiento matemática de la transformada de Fourier.

En el analizador espectral paralelo los filtros están siempre conectados a la señal de entrada y se facilita el análisis de eventos transitorios cuya duración sea mayor que el tiempo de establecimiento del filtro más selectivo. En versiones más avanzadas, combinados con convertidores A/D, microprocesadores, memorias digitales, y convertidores D/A constituyen la base de los Analizadores de Fourier para medir señales aperiódicas. Para este caso es imprescindible introducir desfasajes o retardos adicionales con el propósito de dar tiempo a la actuación de los convertidores CAD.

### 3.- Receptor de Barrido

Para evitar los inconvenientes relacionados con **Figura 4a)** anterior, surge el llamado **Receptor de Barrido**, que con la técnica de **Heterodinación**, utiliza un Oscilador Local (OL) que es variado en frecuencia (electronicamente) en todo el ancho de banda, se mezcla una señal de entrada de frecuencia  $f_s$ , con una señal proveniente de un oscilador local de frecuencia  $f_{OL}$  y se convierte a una señal de frecuencia Intermedia  $f_{FI}$ , manejada por el Analizador de Espectro, que actúa como un **filtro pasa banda angosto**.

La salida detectada es aplicada a las placas de deflexión vertical de un TRC proporcional a la amplitud de la señal de entrada.

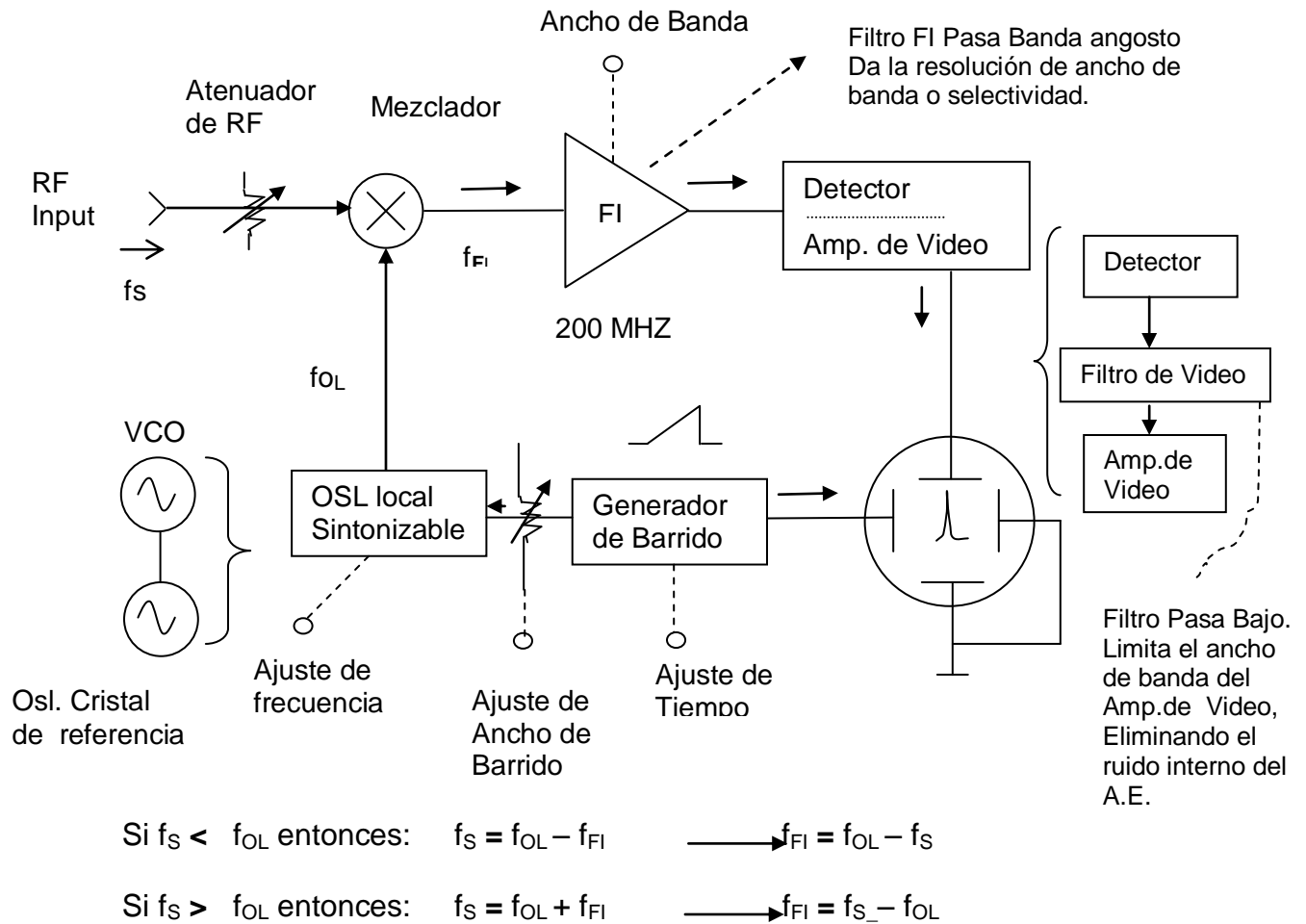
El “ Receptor “ se sintoniza electrónicamente por un Voltaje de rampa lineal que también se aplica a las placas de deflexión horizontal. Por lo tanto la posición horizontal del punto del TRC es proporcional a la frecuencia y el gráfico Amplitud Vs. Frecuencia se muestra en pantalla.

Un Analizador de Espectro es un Receptor de Barrido que proporciona exhibición de Amplitud Vs. Frecuencia en un TRC, demostrando de que manera se distribuye la energía como una función de la frecuencia, exhibiendo los componentes de Fourier de una forma de onda dada, de características **periódica** en el tiempo.

Con este Instrumento se pueden medir respuesta en frecuencia; características de mezcladores, dobladores y otro dispositivos conversores de frecuencia; medir la pureza de una señal o ver directamente el ancho de banda necesario para pasar una señal determinada.

**En muchos casos un Analizador de Espectro moderno puede realizar la misma medición que un Voltímetro de RF, un Medidor de Potencia, un Analizador de Distorsión, un ORC, un Frecuencímetro. Como el Analizador de Espectro presenta información de amplitud y frecuencia en un barrido básico es a menudo, más útil que una colección de dichos instrumentos.**

Básicamente los componentes de un A.de E. de barrido son: Atenuador de entrada de RF; Mezclador; Amplificador de Frecuencia Intermedia (F.I.); Filtro de FI; Detector; Filtro de Video; Oscilador local; Un generador de Barrido; Pantalla o display.



**Figura 5**

### Ejemplos:

- 1) Si  $f_{FI} = 200 \text{ MHz}$  y si  $f_{OL} = \text{sintonizable entre } 200 - 310 \text{ MHz}$ , el rango de frecuencia a medir del A.E es de  $0 - 110 \text{ MHz}$ .
- 2) Si  $f_s = 50 \text{ MHz}$  mezclado con  $f_{OL} = 250 \text{ MHz}$  produce una  $f_{FI} = 200 \text{ MHz}$ .
- 3) Si  $f_s = 100 \text{ MHz}$  y  $f_{OL} = 300 \text{ MHz}$ , la FI es de  $f_{FI} = 200 \text{ MHz}$ .

En las placas de deflexión horizontal, la posición horizontal del punto del TRC es proporcional a la frecuencia y el Gráfico Amplitud Vs. Frecuencia se muestra en la pantalla.

### Rangos de Frecuencia de un Analizador de Espectro

Los rangos de frecuencia de los Analizadores de Espectro, marca HP, pueden ser:

1 KHZ	a	110 MHz
500 KHZ	a	125 MHz
10,1 MHz	a	40 GHz

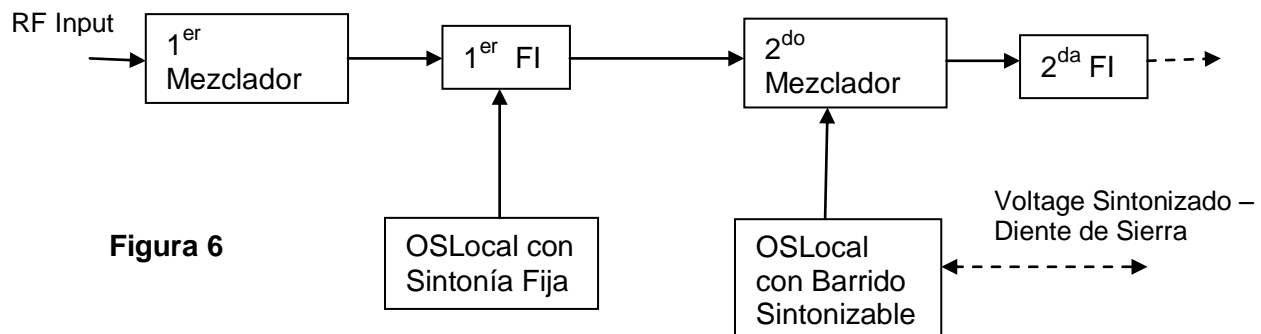
#### 4.- Características Principales de un A.E Heterodino.

Un A.E. con adecuada Versatilidad y Eficiencia para realizar mediciones debe disponer de:

- 1.- La habilidad para localizar e identificar señales sobre un amplio rango de frecuencia.
- 2.- La habilidad para magnificar porciones del espectro para análisis detallado con estabilidad, barrido calibrado y resolución.
- 3.- Mínimo desorden en el display por causas de respuesta espurias en el Analizador.
- 4.- Amplio rango dinámico y respuesta de frecuencia plana.

Para cumplir con estos requisitos se mejora la conformación dada en la **Figura 5)** anterior con el agregado de más de una etapa mezcladora y FI, cualquiera de los dos, el primero o segundo Oscilador Local (OL) del receptor puede ser barrido. Barriendo el primer OL, **Figura 5)**, tiene la ventaja de proporcionar una muy buena respuesta plana de frecuencia, amplio espectro y baja distorsión.

Con el agregado de un Segundo OL con barrido, **Figura 6)**, una porción del espectro es Heterodinada a una Primera FI de banda ancha donde el espectro es fijado por el Segundo OL con Barrido.



De esta manera el ancho de espectro máximo es limitado por la Banda Pasante de la Primer FI. Las características de respuesta Plana y distorsión del Analizador dependen ahora de la Primer FI y del Segundo Mezclador al igual que el primer Mezclador.

Es común combinar los **dos tipos de configuraciones, como indica el Analizador de Espectro HP 8559**: Ahora el Primer OL es barrido para el escudriñaje amplio, el Segundo OL es para trasladar a una frecuencia próxima a la 3era armónica de FI y el Tercer OL es barrido para el escudriñaje angosto.

Esto combina la capacidad de barrido amplio del Analizador a través del Primer OL, enclavado en Fase (PLL) a un oscilador a cristal con excelente estabilidad, mientras el Tercer OL está siendo Barrido.

***Antes de continuar avanzando con las características de técnicas de un Analizador de Espectro y con el Analizador de Espectro 8559 de HP, en particular, es importante mencionar que hay otra gama de analizadores que digitalizan la señal, y calculan su espectro aplicando la transformada rápida de Fourier (FFT). El analizador por FFT***

**permite estudiar fenómenos transitorios, y además puede medir amplitud y fase. Aunque muy desarrollados, los analizadores de FFT aún no alcanzan a superar el rango de frecuencia de trabajo, sensibilidad y rango dinámico de los analizadores de barrido superheterodinos, pero sin duda han desplazado a los analizadores simultáneos o por banco de filtros. No obstante, los analizadores comerciales suelen combinar alguno de los distintos tipos de funcionamiento según sea el rango de frecuencia de operación elegido.**

**El Analizador por Fourier básicamente toma la señal en el Dominio de Tiempo, y la digitaliza, y entonces utiliza las Transformadas de Fourier para convertirla al dominio de la Frecuencia, mostrando el resultado en el Display. En realidad el Analizador revisa todo el rango de frecuencia al mismo tiempo utilizando filtros en paralelo para medir simultáneamente todas las frecuencias presentes. Es como capturar toda la información del dominio del tiempo conociendo su contenido de información en cada frecuencia. Como esto es un análisis de señal en Tiempo Real (toda la señal se analiza al mismo tiempo) los A.de E. que utilizan este método son capaces de estudiar señales Transitorias o Aleatorias.**

**Los analizadores basados en FFT (FFT analyzers) toman la señal en el dominio temporal, la muestrean de forma digital y después llevan a cabo el procesamiento matemático necesario para transformarla al dominio de frecuencia, mostrando el resultado por pantalla. Ello permite disponer a la vez de toda la información relativa al ancho de banda seleccionado. Es por ello que se llaman analizadores de tiempo real. El efecto es semejante al de disponer de muchos filtros pasa banda trabajando simultáneamente. Entre las propiedades de los analizadores de FFT está la de poder capturar eventos periódicos y aleatorios además de transitorios. Su velocidad es notablemente superior a la de los analizadores de barrido. Su esquema incluye ADC de gran velocidad y ancho de banda.**

## 5.- Partes de un Analizador de Espectro HP

### Spectrum Analyzer Block Diagram

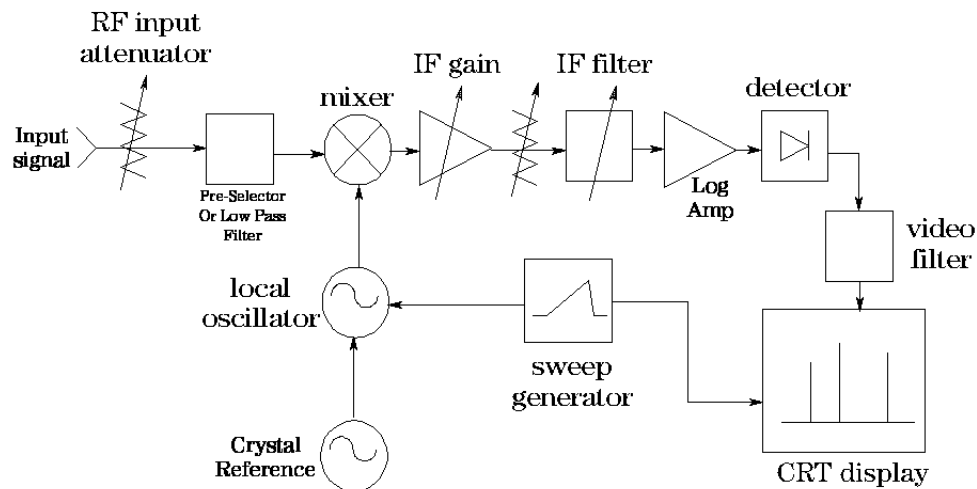
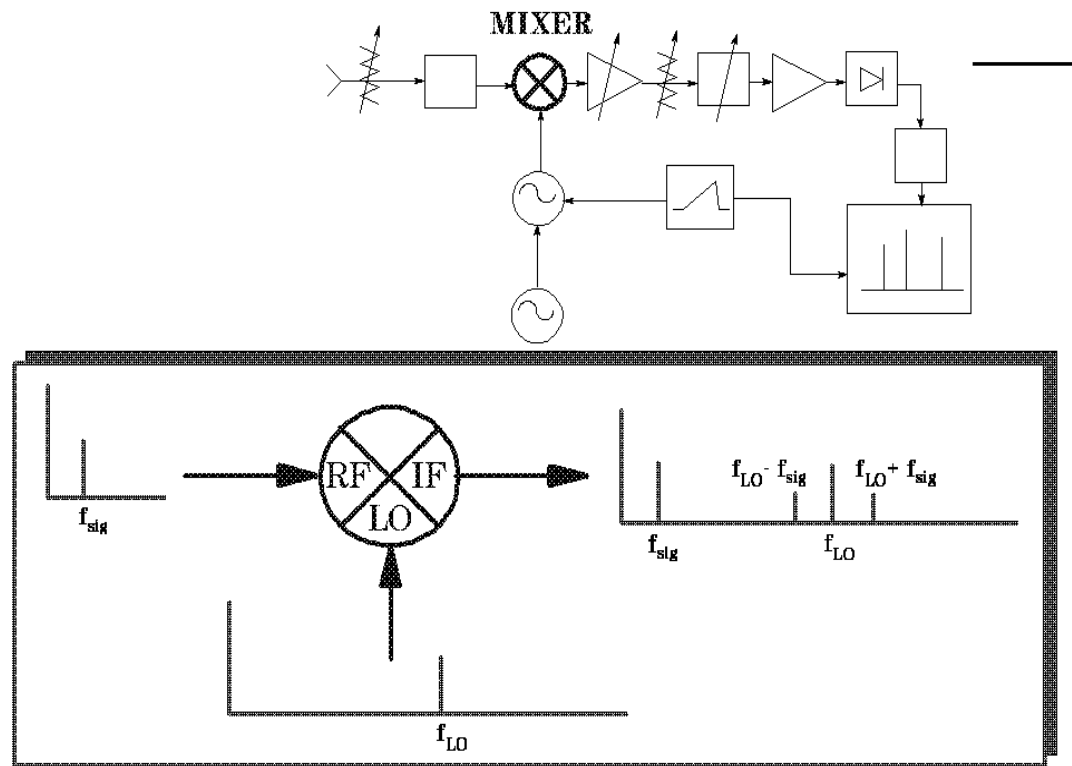


Fig.7: Diagrama de Bloques del Analizador de espectro

#### 5.1.- Atenuador de Entrada de RF

El atenuador de entrada es un atenuador de paso localizado antes de la entrada al mezclador. Es utilizado para ajustar el nivel de la señal de entrada incidente. Esto es importante para prevenir posibles distorsiones de la señal por un nivel de entrada muy alto o por superposición de señales.

## 5.2.- Mezclador



Un mezclador es un dispositivo que convierte una señal de una frecuencia a otra. Por este motivo, algunas veces se lo llama dispositivo de traslación o conversión de frecuencia.

Por definición un mezclador es un dispositivo no lineal (las frecuencias que se presentan a la salida, no son las de entrada). La señal del oscilador local (**flo**) es aplicada a un puerto del mezclador y la señal a ser convertida (**fsig**) es aplicada a un segundo puerto. La salida del mezclador consiste en las dos señales originales (**flo**) y (**fsig**), así también como la suma (**flo + fsig**) y diferencia (**flo – fsig**) de frecuencia de estas mismas señales.

En un analizador de espectros, **la frecuencia** es ahora la frecuencia que interesa. El mezclador convertirá nuestra señal de RF a una señal de FI (frecuencia intermedia), señal que el analizador puede filtrar, amplificar y detectar con el propósito de mostrar la señal en la pantalla

### 5.3.- Amplificador de Frecuencia Intermedia (FI)

Este amplificador que está colocado entre el mezclador y el filtro de FI, es usado para ajustar en la posición vertical la señal en la pantalla, solucionando el posible error introducido en la etapa de mezcla. Cuando se cambia el valor del nivel de referencia, se hace en forma coordinada. Así, cuando queremos cambiar el nivel de referencia (representado en el eje vertical), nosotros cambiamos la regulación del atenuador de entrada, como estos dos componentes trabajan juntos, la ganancia del Amplificador de FI cambia automáticamente para compensar este. ( FI = 3.6 GHZ)

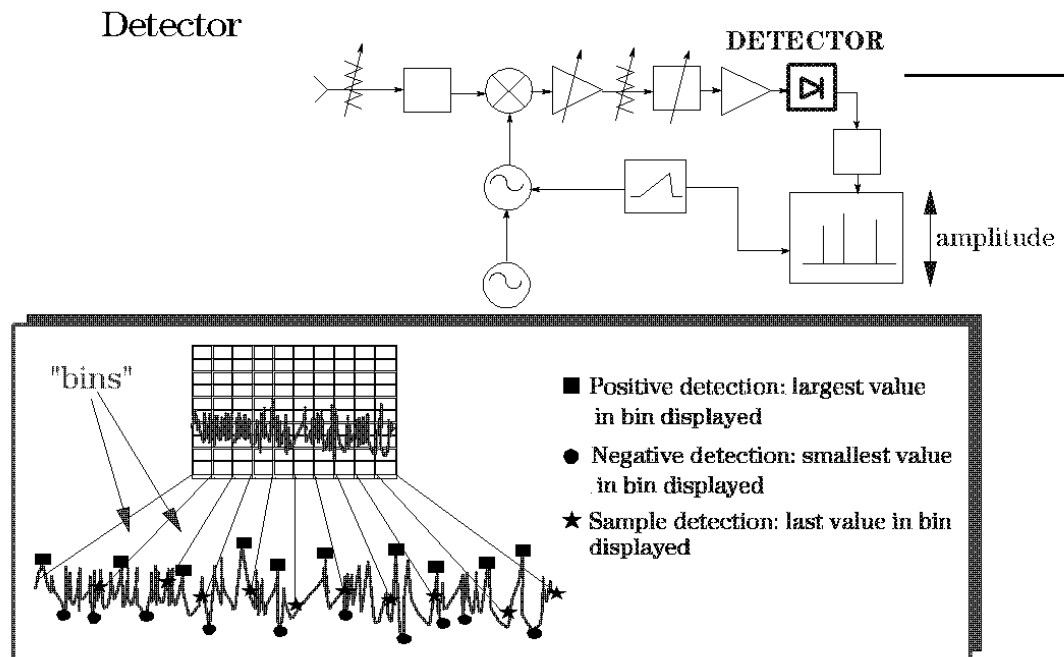
## 5.4.- El Filtro FI

El filtro de FI es un **Filtro Pasa Banda** el cual es usado como ventana para detectar señales. El ancho de banda también es llamado "**Resolución de Ancho de Banda**" (**RBW**) del analizador y puede ser cambiado desde el panel frontal.

Por medio del rango amplio de la "**Resolución de Ancho de Banda**", el instrumento puede optimizar el barrido y las condiciones de la señal, permitiendo cambiar la selectividad de la frecuencia.

Podemos ver desde el control, como si el RBW es reducido, se mejora la selectividad. La velocidad de barrido, cualquiera sea, disminuye con la merma de RBW. El nivel óptimo a poner la RBW, depende siempre de las características de la señal de interés.

## 5.5.- El Detector



El analizador debe convertir la señal de FI a una señal de video para que podamos verla en el display del instrumento. Esto es efectuado por un detector de envolvente, el cual defleca al rayo electrónico del TRC en el eje vertical Y, o en el eje de amplitud.

Muchos analizadores modernos **tienen un display digital**, el cual primero digitaliza la señal de video con un conversor analógico-digital. Esto permite diferencia en el modo de detección.

El modo, detector de pico positivo, captura y muestra el valor de pico de la señal, una vez terminada la duración de un elemento de trazo. Este método es bueno para analizar sinusoides pero tiende a no responder bien al ruido cuando presentan señales no senoidales. De forma similar, el detector de pico negativo, captura el mínimo valor de la señal.



**En el modo detección por muestreo**, se toma un valor de aleatorio de cada elemento de trazo. Este modo de detección es mejor para calcular el **valor de rms** de ruido o del ruido como señal, pero puede pertenecer a señales de banda angosta cuando el RBW es disminuido.

Para poder ver, tanto estas señales como ruido, se emplea un modo de detección llamado "**modo detector normal**". En este modo, si la señal de video es monótonamente incrementada o decrementada durante un periodo representado por un elemento de trazo, entonces se asume que una componente espectral está siendo medida y se usa el detector de pico positivo. Si el nivel se cambia no monótonamente durante este tiempo, entonces se asume que lo que está siendo medido es ruido, y se traza puntos alternados entre la detección positiva y negativa de picos. Cuando un valor mínimo es mostrado, el próximo valor máximo es registrado y comparado con el próximo valor máximo del elemento de trazo. En mayor de los dos valores es mostrado. Esta técnica provee una mejor vista de la señal en el display, **evitando** los problemas de la detección por muestreo.

### **5.6.- Filtro de Video**

**El Filtro de Video es un Filtro Pasa Bajos** que está colocado después del detector. Este filtro **determina el ancho de banda del amplificador de video**, y es usado para acotar lo que se mostrará en la pantalla.

El A. de E. muestra señal y ruido, de tal manera que mientras más cerca de la señal se encuentre el ruido, nos producirá más problemas para mostrarla. **Cambiando el ancho de banda de video, podemos disminuir el valor de pico del ruido.**

### **5.7.- Oscilador Local**

El oscilador local es un oscilador controlador de voltaje (VCO) que sirve para proveer de la frecuencia de sintonía al analizador.

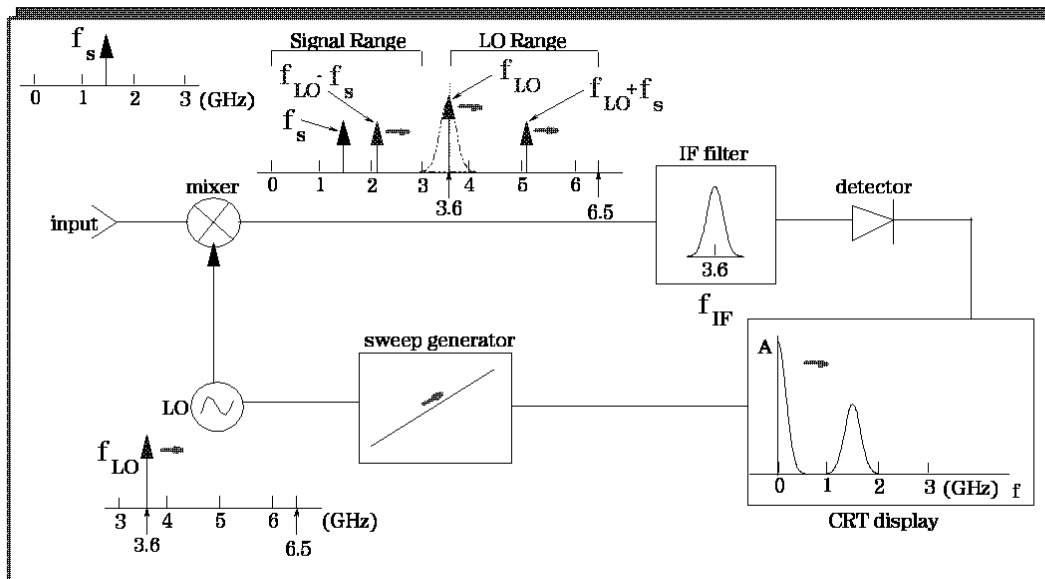
### **5.8.-Generador de Barrido**

El generador de barrido actúa sincronizado con el oscilador local, el cual lo provee de la frecuencia para generar una señal de rampa con la cual es manejado el horizontal de la pantalla, el cual recorre el **eje X** de izquierda a derecha manejado por este.

### **5.9.- Pantalla o Display**

Es el elemento que nos permite visualizar la señal que se está analizando.

En su parte funcional, como ya se dijo es manejada en su recorrido por **el eje X por el generador de barrido, y en su eje Y por el valor de amplitud** de la señal, mostrando los resultados de Amplitud en Función de Frecuencia. En su parte exterior la pantalla se encuentra dividida por una retícula sobre la cuál se puede realizar la medición, teniendo en cuenta las escalas a las que está seteado el equipo.



La forma de trabajar es la siguiente:

Primero la señal  **$f_s=1.5$  GHZ** debe ser conectada a la entrada. Esta señal de entrada es combinada con la señal producida por el oscilador local en el mezclador,  **$f_{LO}=3.6$  a  $6.5$  GHZ**), para convertirla (o trasladarla) hacia la frecuencia intermedia ( **$FI=3.6$  GHZ**). Esta señal es enviada al filtro de FI, a la salida de este, es enviada al detector, donde se muestrean los componentes de frecuencia con los que cuenta. La salida del detector es utilizada para manejar el eje vertical (AMPLITUD) del display del analizador. El generador de Barrido provee la sincronización entre el eje horizontal del display (FRECUENCIA) y la sintonía del Oscilador Local (**Barre entre  $3.6$  GHZ a  $6.5$  GHZ cualquiera sea el rango de señal de entrada entre  $0$  a  $3$  GHZ**)). Los resultados son mostrados en el display del equipo donde se ve Amplitud en Función de Frecuencia para los componentes de la señal analizada. La figura muestra un ejemplo en el cual el Oscilador Local tiene una Frecuencia de  $3,6$  GHZ y la señal a estudiar es una senoide de  $1,5$  GHZ de frecuencia.

**(En CRT Display se observa un gráfico compuesto de una Amplitud con origen  $0$  que corresponde a  $3.6$  GHZ , seguido de un gráfico entre  $1$  y  $2$  GHZ con centro en  $1.5$  GHZ que corresponde a la señal bajo estudio. )**

## 6.- Especificaciones Técnicas de un Analizador de Espectro

A los Analizadores de Espectros se los conoce como instrumentos de propósitos generales proporcionando ámbito de acción en el dominio de las frecuencias. De manera que mediciones de Amplitud Vs. Frecuencias con un A. de Espectro están limitadas por nuestra imaginación,

pero la calidad en las mediciones si dependen de las características a las que responden este tipo de instrumentos de medición o con las que son construidos por los fabricantes.

### 6.1.- Mezcla de Armónicas

Un A. E. puede también responder a señales de RF que se mezclan con armónicas del Primer OL al igual que la fundamental. La mezcla de armónicas es usada, generalmente en A. E para microondas, para ampliar económicamente el rango de frecuencia del A. E. Por ejemplo, hay modelos como el HP 8551B que usan armónicas tan altas como  $n=10$  para extender su rango de frecuencia a 40 GHZ. Actualmente hay A. E. que responden a 40, 50, y más de 300 armónicas.

### 6.2.- Resolución

“Es la habilidad de un Analizador de Espectro para separar señales estrechamente espaciadas en frecuencia”

Debido a que la respuesta de un A. E. a señales de CW es una representación gráfica de la banda pasante del FI, el ancho y forma de la Banda Pasante son las mayores limitaciones de a la Resolución. Si dos señales CW aparecen al mismo tiempo en la Banda Pasante, ellas no pueden separarse. De este modo cuanto más angosto sea el ancho de banda y más empinada la pendiente de la Banda Pasante mejor será la Resolución, aunque esto trae como consecuencia que el Amp. de FI necesitará de mayor tiempo para responder. **Por todo esto se necesita que la Velocidad de Barrido sea baja de manera que una señal permanezca en la Banda Pasante del Amp. de FI lo suficiente para que el amplificador responda a pleno.**

### 6.3.- Sensibilidad:

“ Es una medida de la habilidad de un A. E. para detectar señales de niveles pequeños y es definida a menudo como el punto donde el Nivel de señal es igual al nivel del ruido”

Como el nivel de ruido disminuye cuando el Ancho de Banda es disminuido, la Sensibilidad es una función del Ancho de Banda.

La sensibilidad especificada es para una señal estable CW. La Sensibilidad real es reducida cuando la potencia de la señal está distribuida en Banda Laterales al igual que la portadora. Por ejemplo, una señal muy inestable o una señal de FM tiene energía apreciable en sus bandas laterales. **Si suficientes bandas laterales caen fuera de la Banda pasante FI, una cantidad significativa de la potencia de señal se pierde y la sensibilidad se reduce.**

### 6.4.- Persistencia Variable

Alta Resolución y Sensibilidad mínima requieren anchos de bandas estrechos y Velocidad de Barrido lento. Debido al barrido lento la persistencia variable es indispensable para proporcionar un trazo brillante, continuo y libre de fluctuaciones. La persistencia variable permite variar la longitud del tiempo en el que un trazo permanece en el TRC.

Por ejemplo, la persistencia es necesaria para el análisis de fenómenos de velocidad de repetición baja, tales como pulsos de radar y espectro de modulación.

## 6.5.- Respuestas Espurias

Respuestas espurias indeseables son generadas cuando la potencia total de la señal de entrada de RF no es pequeña de modo que el A. E. opera alinealmente.

Cuando la potencia total No es pequeña, el analizador está sobrecargado, generando armónicas y producto de distorsión de Intermodulación de la señal de RF de entrada. Estos productos aparecen en el TRC como respuestas espurias.

## 6.6.- Preselección de Rastreo

Como se ha visto las respuestas espurias son generadas cuando el Analizador es sobre – estimulado y si un A. E. utiliza mezclado de armónicas, otras respuestas indeseables pueden ocurrir.

Por ejemplo una señal de RF puede producir más de una respuesta en TRC, múltiples respuestas, o varias señales de RF pueden producir solamente una respuesta en el TRC, respuesta de armónicas e Imagen.

Una solución parcial es usar filtros Pasabanda fijos como preselectores. Pese a que es menos costoso que la preselección de rastreo, este método no es una solución total. Evita la mayoría de las respuestas de armónicas e imagen.

Sin embargo, no hace nada para respuestas espurias y no impide las respuestas múltiples dentro de la banda.

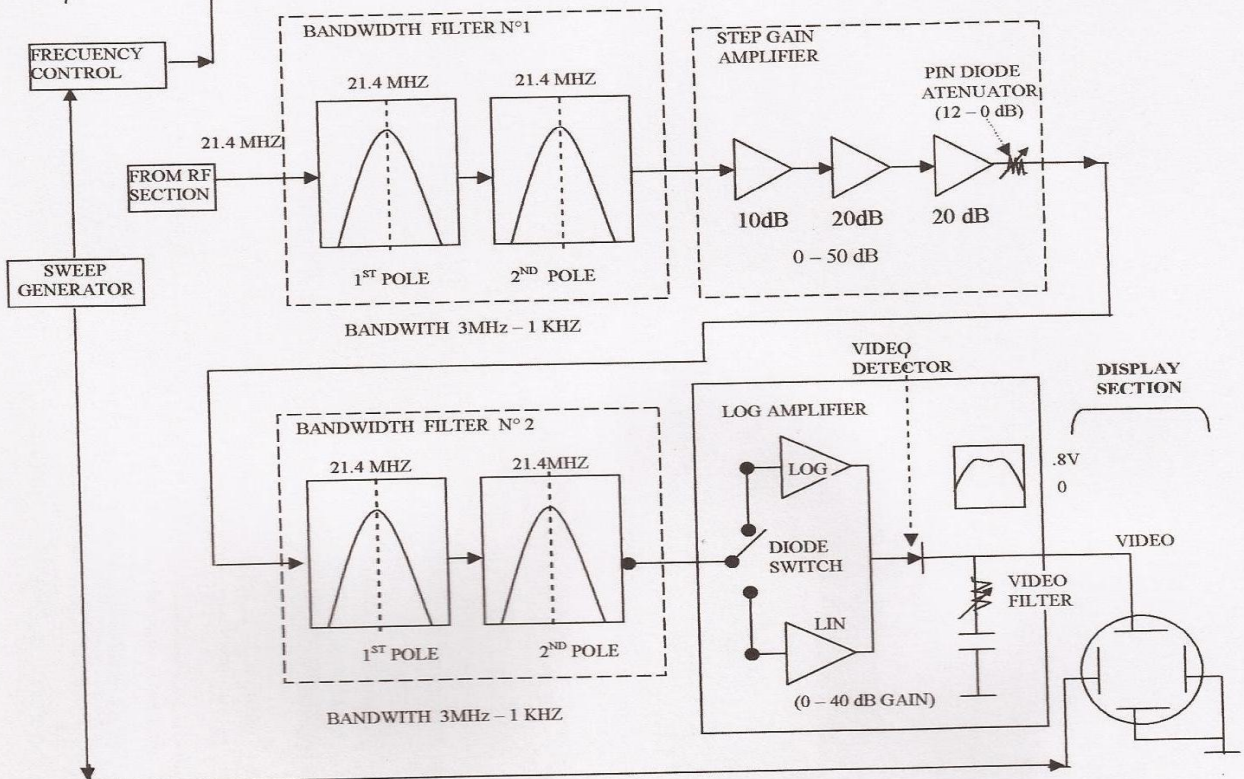
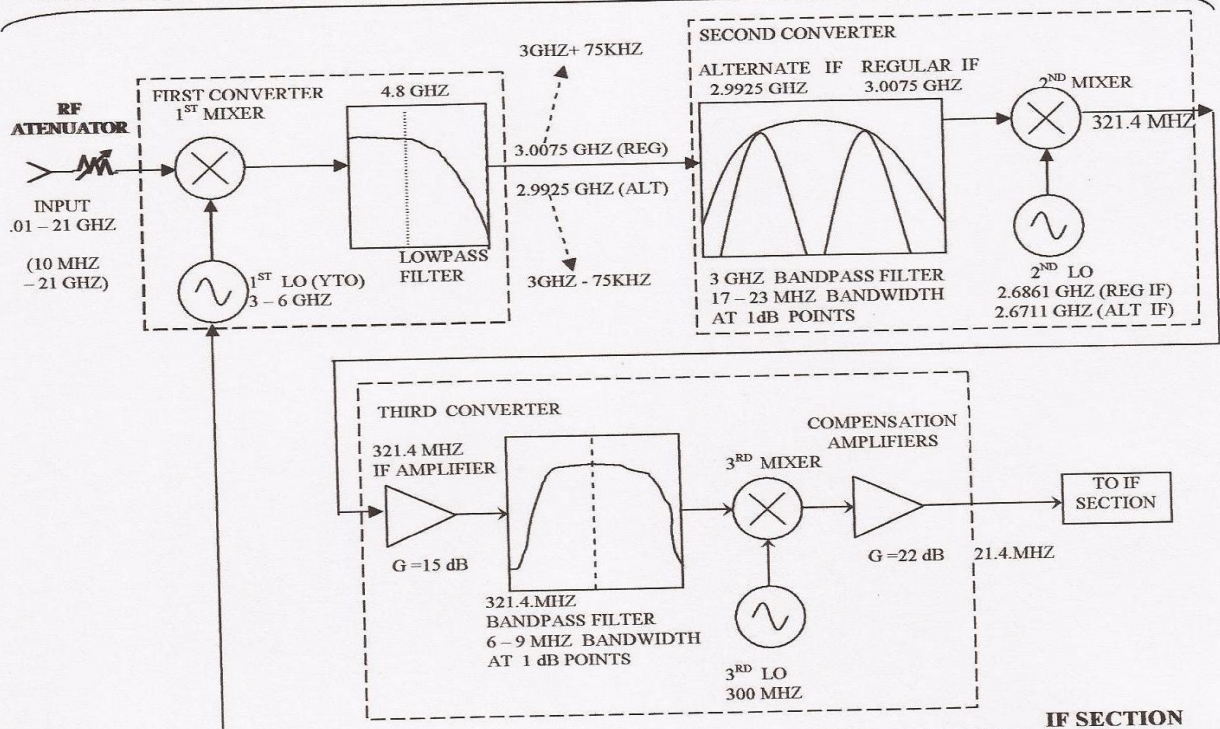
**La única manera de impedir simultáneamente las respuestas espurias, múltiples de armónicas y frecuencia imagen es filtrar a la señal de RF a través de un Preselector de rastreo. Este es un filtro pasa banda sintonizado electrónicamente que en forma automática rastrea la sintonía del A.E.**

La señales fuertes como las que pueden se recibidas cuando el A.E. está conectado a una antena, pueden causar productos de distorsión de Intermodulación. Sin embargo el preselector de banda angosta permite que el A.E. vea estas señales una por vez, evitando la interacción , reduciendo así las respuestas espurias .

## 7.- Analizador de Espectro HP 8559

# 7.- ANALIZADOR DE ESPECTRO HP 8559

## RF SECTION



## Información General

El HP 8559A es un Analizador de Espectro Analógico de Banda Ancha con módulo de conexión para ser utilizado con la serie HP810 o HP853 (Computadoras de Muestra de Datos).

Se sintoniza desde 10 MHz a 21 GHz, receptor en 5<sup>ta</sup> armónica. Puede mostrar frecuencias con un ancho de banda tan grande como 9 GHz en las bandas 5 y 6 o tan pequeñas como 100 KHz en la banda 1. La Resolución de Banda Ancha de 3 MHz a 1 KHz son seleccionables en la secuencia 1-3-10, desplegado en el TRC.

El Control de Nivel de Referencia es calibrado y ajustado, permitiendo la selección de amplitudes entre -111 y +30 dBm para ondas continuas.

El rango dinámico es mayor que 70 dB.

Este Analizador de Espectro comprende tres secciones principales: la Sección de RF, la Sección de FI y la parte del Display.

### Sección de RF

Esta sección es similar a un receptor con Triple Conversor Superheterodino. La triple Conversión hace posible Ancho de Banda, Amplitud, y permite amplificación y Filtrado con mayor facilidad.

#### Atenuador de RF:

Al medir RF, en la entrada existe un atenuador de RF, por pasos, conectado en la entrada de la sección de RF, disminuye la entrada en 10dB y mide desde 0 hasta 70 dB.

#### Primer Mezclador:

Dentro del primer mezclador, la señal mixta entrante con el primer OL genera la primera FI. El primer convertidor consiste en un único diodo de Microonda, a 4,8 GHz (Filtro Pasa Bajo), contenido en un cable corto de RF, y conectado en el segundo convertidor a 3 GHz (Filtro Pasa banda), con un ancho de banda de 17 a 23 MHz.

#### Primer OL:

Un oscilador Sintonizable YIG o YTO es usado en el primer LO, YIG (Ittrium-Iron-Garnet) es un material ferromagnético que se encuentra colocado dentro de una pequeña esfera y orientado en forma precisa con el campo magnético.

Los cambios en el campo magnético alteran la frecuencia generada por el YIG. El YIG utilizado en el HP 8559 A tiene un rango de frecuencia de 3.01 GHz a 6.04 GHz. Un control de voltaje de campo magnético es utilizado para controlar la esfera del YIG y permite que el Analizador barra la sintonía dentro de estos límites de frecuencia. Este control de voltaje derivado del Generador de Barrido sintoniza el YIG en sincronismo con la deflexión horizontal del CRT.

Se agrega un voltaje de OFFSET al barrido para estabilizar el centro de frecuencia. Este voltaje de control es conveniente porque los circuitos de baja frecuencia como amplificadores operacionales y transistores pueden generar errores en el mismo.

#### Segundo Convertidor:

Alberga un Filtro Pasa Banda de 3 GHz, el segundo Mezclador y el Segundo OL.

El Filtro de 3 GHz usa la resonancia característica de tres cavidades precisas en un block de Aluminio, alojado en el Filtro del Primer FI.

Una cuarta cavidad es usada como circuito resonante del segundo OL, que opera con una de dos frecuencias estables.

Después de mezclar la primera FI con el segundo OL, produce la segunda FI a 321,4 MHz. La necesidad de operar el segundo OL con dos frecuencias separadas aparece cuando la señal a medir está cerca de la primera FI a la frecuencia de 3 GHz.

La señal que pasa por el primer mezclador, y la primera FI, sin ser afectada por la sintonía del primer OL, aparece como una señal sin atenuación o fuerte, igual en todas las frecuencias. Esta respuesta es llamada FI de realimentación.

Cambiando la frecuencia del segundo OL, cambia la respuesta de realimentación de la frecuencia inicial medida para efectivamente modificar la primera FI.

Las dos frecuencias del OL pueden ser seleccionadas con el Control REG FI 2,6861 GHz (FI Regular) y 2,6711 GHz (FI Alternativa).

La variación de frecuencia de 15 MHz del segundo OL es reflejada en el primer FI de REG o ALT y se ajusta dentro de un ancho de banda entre 17 MHz a 23 MHz, en pasos de 1 dB, del filtro pasa banda de 3 GHz.

### **Tercer Convertidor:**

Contiene el Segundo Amplificador de FI, un segundo Filtro Pasa Banda, el tercer OL y el tercer Filtro de FI, y un amplificador de Compensación.

El segundo Amplificador de FI consiste en un único transistor amplificador con un Filtro Pasa Banda de 321,4 MHz en la entrada, y provee casi 15 dB de Ganancia de Paso.

La señal del segundo Pasa Banda es de 321,4 MHz en la salida y 1 dB de Atenuación en un Ancho de Banda de 6 MHz a 9 MHz.

El tramo es bastante angosto para rechazar las frecuencias imágenes del segundo mezclador.

El doble balance del tercer mezclador produce suma y diferencia de frecuencia como hacen otros mezcladores, pero rechaza la frecuencia del OL, simplificando con posterioridad el filtrado.

Dos transistores forman el tercer OL, fijo de 300 MHz, cuando mide 321,4 MHz el segundo FI, produce una diferencia de frecuencia en la FI final de 21,4 MHz.

Estas tres conversiones de frecuencias y traslaciones son necesarias para que la señal de entrada sea rechazada por la **sección de FI final** haciendo que el analizador tenga un mejor filtrado pasa banda y calibrado de ganancia. Los circuitos utilizados en la etapa final de Sección de FI son más fáciles de controlar a 21.4 MHz que si se hubieran tenido que hacer a alta frecuencia. **La función de la Sección de RF es convertir hacia abajo la señal de entrada en forma precisa para que pueda ser analizada, controlada y mostrada.**

### **Mezclador Armónico:**

Para ampliar el rango de frecuencia es empleado el Mezclador de Armónicas.

Los límites de la señal de entrada del primer mezclador es fundamental para el primer OL (3,01 GHz a 6,04 GHz), permiten la mezcla con la señal entrante. Las armónicas del primer OL son utilizadas para mezclarse con la señal de entrada.

Cada uno de los seis botones (Bandas de frecuencias en GHz) en el frente del panel permite diferentes maneras de realizar la mezcla de señales en el mezclador.



Cada modo de mezcla es caracterizado por el N° de Armónica del OL y la relación de frecuencia de la señal entrante y la frecuencia del OL.

Por ejemplo, en la primera Banda (.01 a 3 GHZ) la señal entrante es menor que la frecuencia del OL

Si la señal entrante es de 2 GHZ y el OL tiene que ser de 5GHZ, produce una diferencia de frecuencia de 3 GHZ en la FI. Esta Banda es caracterizada como el "1-" primer modo de mezcla. Esta relación es expresada por la ecuación fundamental:

$$F_{OL} - F_{IN} = F_{IF} \quad \text{si } F_{IN} < F_{OL} \text{ hasta 3 GHZ}$$

$$F_{IF} = F_{IN} \pm F_{OL} \quad \text{- Fórmula general a la salida del Primer Mezclador}$$

La banda 2, de 6 y 9 GHZ, usa el segundo modo de mezcla del 1° Mezclador, "1+". En esta banda la señal entrante es mayor que la frecuencia del Primer OL. Ahora una señal entrante de 8 GHZ, con 5 GHZ del primer OL produce una FI resultante de 3 GHZ. La ecuación que refleja este cambio es:

$$F_{IN} - F_{OL} = F_{IF} \quad \text{si } F_{IN} > F_{OL} \text{ entre 6 y 9 GHZ}$$

Las bandas de elevadas frecuencias son realizadas por la segunda armónica ( 6 ( de 3 GHZ) a 12 GHZ (de 6 GHZ ) )

$$F_{IN} - F_{OL} = F_{IF} \quad \text{si } F_{IN} > F_{OL} \text{ hasta 9 GHZ-Tercera Banda de 6 a 9 GHZ}$$

$$F_{IN} - F_{OL} = F_{OF} \quad \text{si } F_{IN} > F_{OL} \text{ hasta 12 GHZ-Cuarta Banda de 9 a 12 GHZ}$$

o la tercer armónica ( 9 (de 3 GHZ) a 18 GHZ (de 6 GHZ) ) del primer OL. Ajustando parcialmente el diodo del Primer Mezclador mejora la operación en estas frecuencias.

Cada Armónica tiene dos bandas de frecuencias posibles, creando un total de seis bandas 1+,1-, 2+,2-, 3+,3-, 4+,4-, 5+,-5, 6+,6-.

Las ecuaciones para el mezclador A son:

$$\begin{aligned} F_{IN} - NF_{OL} &= F_{IF} && \text{para modo plus} && y \\ NF_{OL} - F_{IN} &= F_{IF} && \text{para modo menor} \end{aligned}$$

donde N es el número de armónica del modo.

Independientemente de cual Armónica es usada por el Mezclador, la frecuencia imagen ( cuando una señal de entrada es  $F_i = F_{OL} + 2 FI$  ) puede crear problemas. Esto sucede cuando una señal puede mezclarse con la del OL para producir una respuesta. Esto es posible en la Banda 1-, y tiene una señal de 5GHZ, produce una respuesta de 2 GHZ, en oposición puede ocurrir en la Banda 1+, como se puede ver, es necesario saber diferenciar estas señales. En el HP 8559 esto es función de la señal identificadora.

### Señal Identificadora:

Diversos métodos de eliminación de frecuencia imagen son usados en Analizadores de Espectro: Filtro Pasa Bajo, Preseletores y Señal Identificadora.

El Filtro Pasa Bajo elimina todas las frecuencias que están fuera de la banda del Mezclador, este trabajo es conveniente para Analizador de Banda Simple.



Un Preselector ( un YIG filtro pasa banda sintonizado) rastrea la frecuencia de OL, esto permite una operación multibanda, pero disminuye la Sensibilidad de entrada.

La Señal Identificadora, identifica la señal dentro de la Banda sin pérdida de la Sensibilidad. Esto es lo que utiliza el HP 8559.

La señal de identificación simultáneamente desplaza la frecuencia de display por debajo de 1 MHz y disminuye su amplitud cerca de 5 dB. Si la señal es una imagen , esta vuelve a producir un desplazamiento hacia debajo de 1 MHz.

### **Sección FI:**

Esta sección comprende de 3 filtros de FI, Amplificadores de Ganancia Lineal y Logarítmica, incluye además el Detector de Video, el Filtro de Video, el Amplificador de Video.

La sección FI procesa 21,4 MHz a la salida del tercer Convertidor y está aplicado al circuito de deflexión vertical de TRC.

La salida del tercer Convertidor de 21,4 MHz, es procesada por el Filtro N° 1 de Banda Ancha, la Ganancia Lineal A12, el Filtro de Banda Ancha N° 2 y finaliza por el Amplificador Logarítmico A14

### **Filtro Banda Ancha:**

El Filtro de Banda Ancha N° 1 y FBA N° 2 son idénticos. Cada uno de ellos contiene dos filtros sintonizados y sincronizados, aislados por amplificadores buffer. Los polos de los filtros sintonizados tienen idéntica frecuencia central, el ancho de banda de estos filtros varía de entre 3 MHz a 1 KHZ y es cambiado simultáneamente desde el Panel Frontal. Lo que determina el ancho de banda de los mismos. Filtros paralelos LC proveerán anchos de bandas de 3 MHz a 100 KHZ. Filtros a cristales proporcionan ancho de banda estrechos de 30 KHZ a 1 KHZ.

### **Amplificador de Ganancia por Pasos:**

Localizado entre el Filtro de Banda Ancha N° 1 y FPB N° 2. El Amplificador de Ganancia por Pasos provee una ganancia precisa y seleccionable en tres etapas, una etapa de 10 dB, seguida por 2 etapas de 20 dB. Cada etapa se puede sintonizar “ On ” para ganancia total u “ Off ” para ganancia unitaria de cada estado. Sintonizando los amplificadores en combinación, la combinación total da una ganancia de 0 a 50 dB. Esta sección es controlada por un control REFERENCE LEVEL. Relacionado con el REFERENCE LEVEL se encuentra el potenciómetro REF LEVEL FINE, el cual controla de 0 a 12 dB la atenuación de un diodo PIN

### **Amplificador Logarítmico:**

El Filtro de Banda Ancha N° 2 es seguido por el Amplificador Logarítmico. La Ganancia de este amplificador es una función logarítmica de la señal de entrada, que permite gran rango de amplitud de la señal simultáneamente expuesta en el TRC. La Amplificación logarítmica de la señal facilita que el eje vertical del TRC pueda calibrarse en decibel (relativo a 1 mW).

Una Amplificación Lineal de 0 a 40 dB puede también seleccionarse desde el Panel Frontal.

El Detector de Video localizado en el Amplificador Logarítmico es un Rectificador de 1/2 Onda y un Filtro. Este circuito produce un Voltaje proporcional al nivel de la Señal emitida por la señal de video. Esta señal pasa a través de un Filtro de Video a un Amplificador de Deflexión Vertical.

## 7.1.- Especificación técnica del Analizador de Espectro HP 8559A

### HP 8559A Spectrum Analyzer Plug-In Specifications

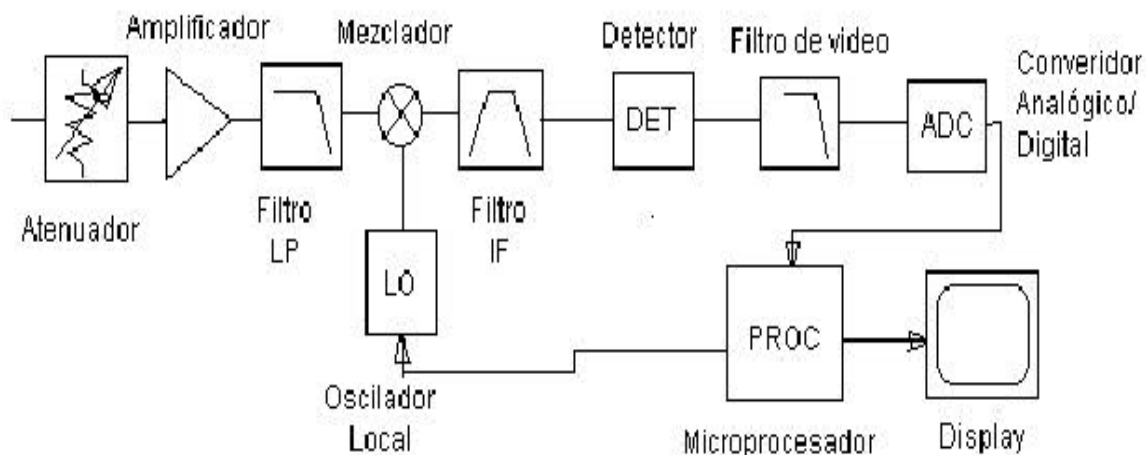
FREQUENCY				
Frequency Range	0.01 to 21 GHz in six selectable ranges			
Frequency Spans				
Fullband	displays entire spectrum of selected band			
Per Division	10 kHz to 200 MHz/div in a 1, 2, 5 sequence			
Zero Span	analyzer functions as a manually tuned receiver			
Frequency Accuracy				
Tuning Accuracy	0.01 to 3 GHz: < ± (1 MHz + 0.3% of center frequency); 3 to 21 GHz: < ± (5 MHz + 0.2% of center frequency)			
Frequency Span Accuracy	< ± 5% of displayed frequency separation			
Spectral Resolution				
Resolution Bandwidths	eight selectable resolution (3-dB) bandwidths from 1 kHz to 3 MHz in a 1, 3 sequence. Bandwidth and frequency span are independently variable or may be coupled for optimum display when control markers are aligned.			
Resolution Bandwidth Accuracy	3-dB points are < ± 15% (except for 3 MHz bandwidth: ± 30% )			
Selectivity	(60-dB/3-dB bandwidth ratio) < 15:1			
Spectral Stability	(fundamental mixing, bands 0.01-3 GHz and 6-9 GHz)			
Residual FM	< 1 kHz p-p in 0.1 second			
Noise Sidebands	≥ 70 dB down, ≥ 30 kHz from center of CW signal with 1 kHz resolution bandwidth and full video filtering			
AMPLITUDE				
Amplitude Range	-111 to +30 dBm			
Maximum Input (damage) Levels				
Total Power	+20 dBm (100 mΩ, 2.2 Vrms) with 0 dB input attenuation; +30 dBm (1 watt, 7.1 Vrms) with ≥ 10 dB input attenuation			
dc or ac (< 100 Hz)	± 7.1 V			
Peak Pulse Power	+ 50 dBm (100 Ω, < 10 ms pulse width, 0.01% duty cycle) with ≥ 30 dB input attenuation			
Gain Compression	< 0.5 dB for -10 dBm signal, 0 dB input attenuation			
Average Noise Level	Frequency Range (GHz)	Avg. Noise Level (dBm/1 kHz)	Frequency Response (± dB max.)	Amplitude Accuracy (± dB max.)
	0.01-3	-111	1.0	2.3
	6.0-9	-108	1.0	2.3
	3.0-9	-103	1.5	2.8
	9.0-15	-98	1.8	3.1
	6.0-15	-93	2.1	3.4
	12.1-18	-92	2.3	3.6
	18.0-21	-90	3.0	4.3
Alternate IF	regular IF at 3.0075 GHz; alternate IF available at 2.9925 GHz for all frequency bands			
Calibrated Display Range				
Log	70 dB with 10 dB/div scale; 8 dB with 1 dB/div scale			

<b>Linear</b>	8 divisions with linear (LIN) amplitude scale
<b>Amplitude Accuracy</b>	
<b>Calibrator</b>	-10 dBm $\pm$ 0.3 dB (into 50 $\Omega$ ), 35 MHz $\pm$ 400 kHz
<b>Reference Level</b>	10 dB steps and a 12 dB vernier for calibrated adjustment from -112 dBm to +60 dBm
<b>Step Accuracy (with 0 dB input attenuation)</b>	-10 to -80 dBm: $\pm$ 0.5 dB, -10 to -100 dBm: $\pm$ 0.1 dB
<b>Vernier Accuracy</b>	$\pm$ 0.5 dB
<b>Frequency Response</b>	see table above; includes input attenuator mixer flatness, and mixing mode gain variation (band to band), with 0 or 10 dB input attenuation
<b>Input Attenuator</b>	0 to 70 dB, selectable in 10 dB steps
<b>Step Accuracy</b>	$< \pm$ 1.0 dB per 10 dB step (0 to 60 dB, 0.01 to 18 GHz)
<b>Maximum Cumulative Error</b>	$< \pm$ 2.4 dB (0 to 60 dB, 0.01 to 18 GHz)
<b>Bandwidth Switching (Amplitude Variation)</b>	
<b>3 MHz to 30 kHz</b>	$< \pm$ 0.5 dB
<b>3 MHz to 1 kHz</b>	$< \pm$ 1.0 dB
<b>Display Fidelity</b>	
<b>Log Incremental Accuracy</b>	$\pm$ 0.1 dB/dB from Reference Level
<b>Log Maximum Cumulative Error</b>	$\leq \pm$ 1.5 dB over 70 dB range
<b>Linear Accuracy</b>	$\pm$ 3% of Reference Level
<b>Spurious Responses</b>	
<b>Second Harmonic Distortion</b>	$>$ 70 dB below a -40 dBm signal with 0 dB input attenuation
<b>Third Order Intermodulation Distortion</b>	$>$ 70 dB below two -30 dBm input signals ( $>$ 5 MHz) separated by $\geq$ 50 kHz and with 0 dB input attenuation
<b>Residual Responses</b>	$<$ -90 dBm with 0 dB input attenuation and no signal present at input (0.01 <sup>3</sup> -3 GHz, 6-9 GHz)
<b><u>SWEEP CHARACTERISTICS</u></b>	
<b>Automatic</b>	sweptime is automatically adjusted to maintain absolute amplitude calibration for any combination of frequency span, resolution bandwidth, and video filter bandwidth
<b>Calibrated Sweep Times</b>	2 msec to 10 sec/div in a 1, 2, 5 sequence (except 2 sec/div), $\pm$ 10% accuracy ( $\pm$ 20% for 5/10 sec/div) to 10 sec/div in 1, 2, 5 sequence with $\pm$ 10% typical accuracy
<b>Manual Sweep</b>	spectrum analyzer may be swept manually in either direction with front panel control
<b><u>SIGNAL INPUT CHARACTERISTICS</u></b>	
<b>Input Impedance</b>	50 $\Omega$ nominal; precision Type-N female connector
<b>Input SWR</b>	typically $<$ 2.0, 0 dB input attenuation $<$ 1.3, 10 dB input attenuation
<b><u>OUTPUT CHARACTERISTICS</u></b>	
<b>Vertical Output, AUX A</b>	BNC output (50 $\Omega$ ) detected video from 0 to 0.8 V for 8 division deflection on CRT display
<b>Penlift/Blanking, AUX B</b>	BNC output provides 0 V pen down/ unblanking signal at low impedance; 15 V penlift/blanking at 10 k $\Omega$ impedance

<b>21.4 MHz IF Output, AUX C</b>	BNC output (50 $\Omega$ ) provides a signal which is proportional to the RF input. Level is about -10 dBm (into 50 $\Omega$ ) with a signal displayed at the Reference Level. Output is controlled by settings of Resolution BW, Input Atten, and Reference Level
<b>Horizontal Output, AUX D</b>	BNC output (5 k $\Omega$ ) provides horizontal sweep from -5 V to +5 V for full 10 division CRT horizontal deflection

## 8.- Consideraciones generales de un Analizador de espectro Digital

Un analizador de Espectro Digital Heterodino Teniendo tiene elementos comunes con respecto a un Analizador de Espectro Heterodino o Superheterodino Analógico, con más de una etapa de conversión y elementos diferentes que le dan características propias,

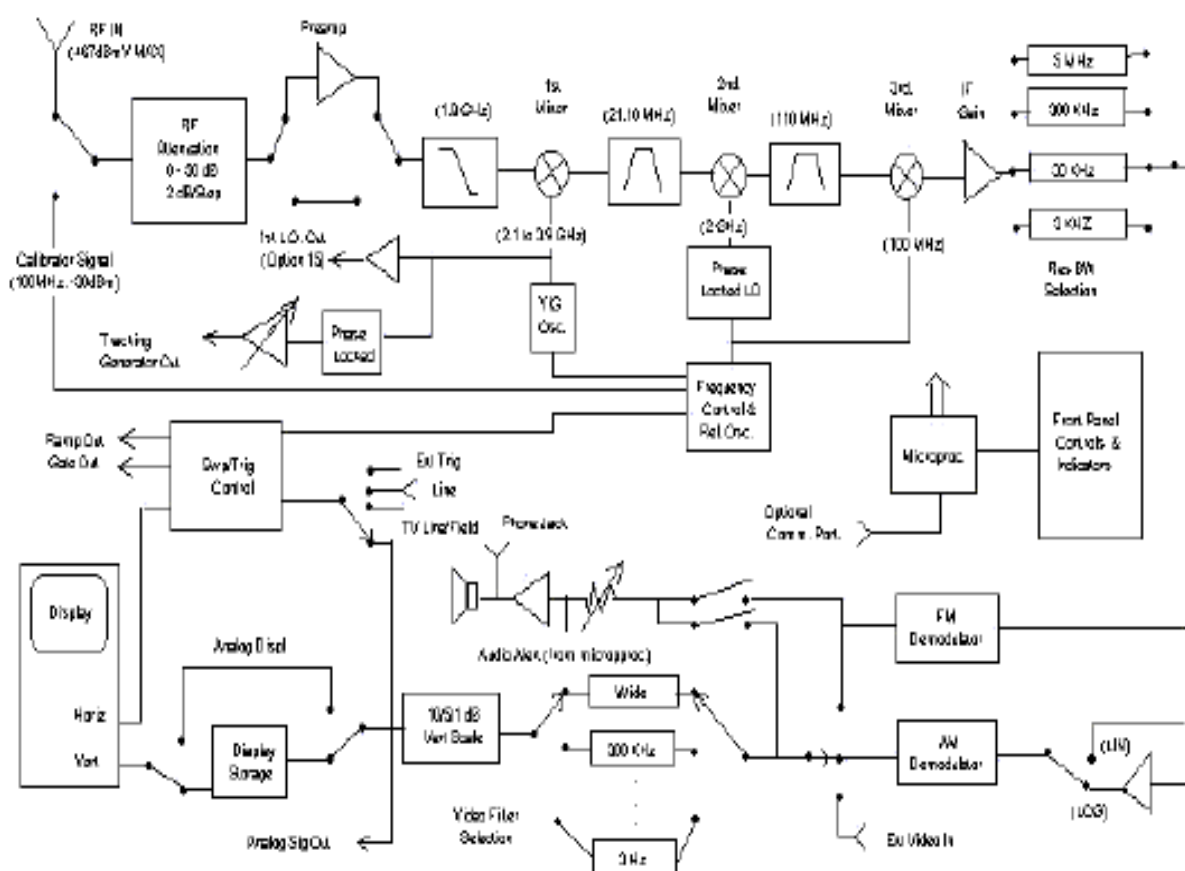


**Figura 3. Diagrama de bloques de un analizador de espectro digital del tipo heterodino, controlado por microprocesador.**

- Se utiliza Microprocesadores y convertidores CAD..
- El Tubo de Rayos Catódicos (para A.E analógicos con un AB de 5 KHZ a 40 GHZ) es reemplazado por un Display digital.
- La salida del Detector se convierte a dígitos binarios con un CAD.
- Los valores digitalizados son leídos por un  $\mu P$ , que tiene la función de controlar la presentación de la imagen en el display digital, gobierna al Mezclador a través del Oscilador Local.

## 9.- Analizador de Espectro Digital Tektronix 2711

El analizador Tektronix 2711 es un analizador de espectro digital, heterodino y de barrido, existen similitudes con el esquema de la Figura 3. En la **Figura 4**, se puede observar la existencia de 3 conversiones de frecuencia en cascada. Estas conversiones se realizan para trabajar en una frecuencia intermedia, FI, adecuada. Un valor de FI alto facilita la supresión de las frecuencias imagen pero dificulta la realización de filtros estrechos y detectores de FI. Sin embargo, si el valor de FI es bajo, es posible realizar filtros estrechos y detectores de forma más sencillos aunque se dificulta, en gran medida, la supresión de frecuencias imagen.



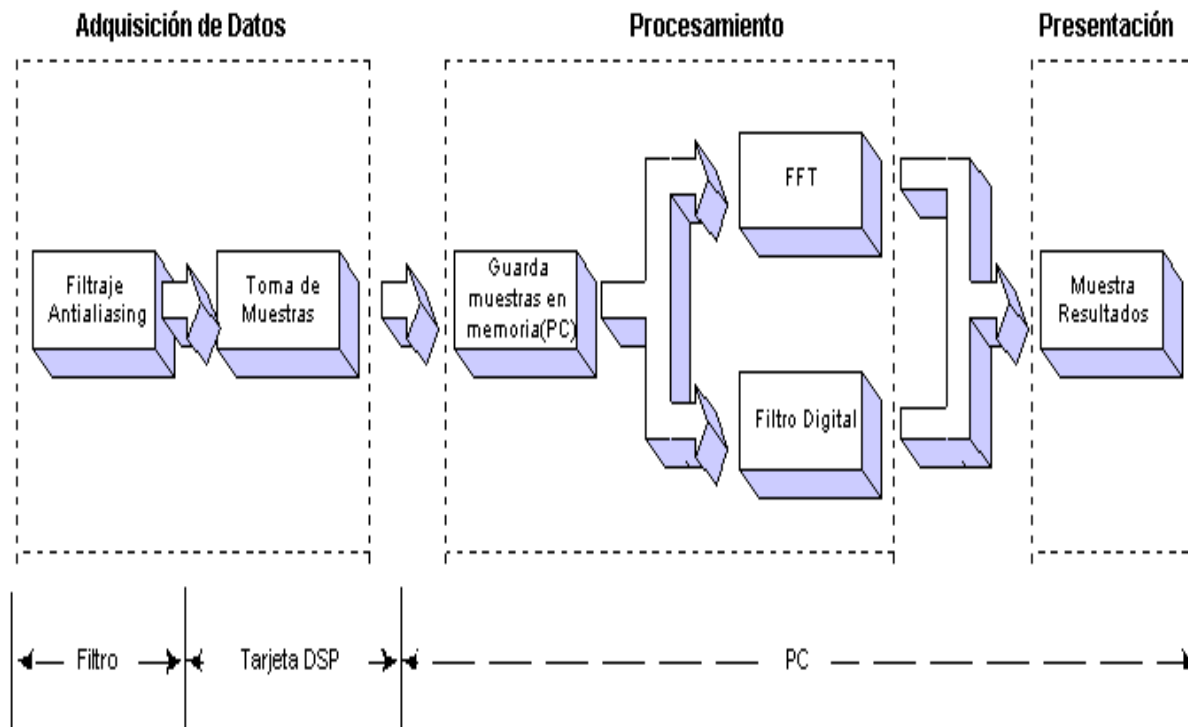
## Características del Tektronix 2711

- **No se deben introducir señales de entrada superiores a 20 dBm (100 mW o 2.2 V<sub>PP</sub>) y 100 V<sub>DC</sub>.**
- Todas las características que ofrece el instrumento son válidas a partir de un tiempo de calentamiento del instrumento de, aproximadamente, 15 minutos después de que se hayan realizado todos los pasos de normalización.
- **Rango de frecuencias:** 9 KHz - 1.8 GHz.
- **Precisión:** 10<sup>-5</sup> de frecuencia central, ±5 KHz, ±1 Bit menos significativo.
- **Resolución de lectura:** ≤ 1% del span/div para 100 KHz.
- **Rango de frec. Span/div:** De 100MHz/div a 10KHz/div en secuencias de 1, 2 y 5 con las teclas de flechas de SPAN/DIV (se puede definir un valor arbitrario con el teclado numérico del panel frontal o el menú de utilidades). Valores especiales: 180MHz/div con MAX SPAN ó 0 MHz con ZERO SPAN.
- **Bandas laterales de ruido:** ≥ -70 dBc para anchos de banda ≤ 100KHz.
- **Ancho de banda de resolución:** 5 MHz, 300KHz, 30KHz y 3 KHz.
- **Filtro de video:** Reduce el ancho de banda de video aproximadamente 1/100 del ancho de banda de resolución, en modo AUTO. A través del menú de utilidades se pueden

seleccionar filtros de 3Hz, 10Hz, 30Hz, 100Hz, 300 Hz, 1KHz, 3KHz, 10KHz, 30KHz, 100KHz, 300KHz y WIDE (completo).

- **Marcador (marker):** Marcador de frecuencia y amplitud (las medidas aparecen en pantalla precedidas de una 'M'). Usando el botón FREQ/MKR o las teclas  $\rightarrow$  e  $\otimes$  es posible situar el marcador en cualquier posición del barrido digital.
- **Marcador Delta:** Cuando está activo, aparece un segundo marcador (marcador de referencia) a la misma frecuencia que el primero. La diferencia en frecuencia y amplitud entre los dos marcadores aparece en pantalla precedida de una 'D'. Es posible desplazar el marcador como se indicó anteriormente.
- **Medida central:** Una vez activa permite que se desplace al centro de la pantalla la señal, por encima de cierto umbral, más cercana a él o, si está activo el marcador, la señal, por encima de dicho umbral, más cercana al marcador.
- **Rastreo de señal (Track):** Cuando se activa, el analizador busca continuamente la medida central para mantener dicha señal en el centro de la pantalla.
- **Visualización vertical:** En escala logarítmica, 0 dB/div, 5 dB/div y 1 dB/div, y los valores equivalentes en escala lineal.
- **Nivel de referencia:** Línea superior de la retícula o pantalla. En modo logarítmico, desde -70dBm hasta +20dBm o desde -23dBmV a +66.9dBmV (en pasos de 1 a 10dB). En modo lineal desde 8.84mV/div a 280mV/div (en pasos de 1, 2 y 5 desde 10mV/div a 280mV/div).
- **Rango dinámico Display:** Máximo 80dB en escala logarítmica (8 divisiones en escala lineal).
- **Rango de Atenuación RF:** De 0 a 50dB en pasos de 2 dB.
- **Entradas RF:** Conector hembra tipo N. Impedancia de entrada de 50 W. Nivel Máx aceptable de entrada: +20dBm (100mW) ó 66.9dBmV (2.2V) y 100VDC.
- **Barrido:** 1ms a 2s/div en pasos de 1, 2 y 5.
- **Tensión de alimentación:** De 90VAC a 250VAC con frecuencia de entrada de 48Hz a 63Hz y 90VAC a 132VAC con frecuencia de 48Hz a 440Hz.
- Además de todas estas características, en el manual del TEKTRONIX 2711 aparecen otras como *sensibilidades* (con y sin preamplificador), *respuestas espúreas*, *productos de intermodulación*, *distorsiones*, *niveles de disparo* (interno y externo), *conectores accesorios* (como RS-232, J103), *niveles de puerta y salida de barrido*, *memoria no volátil*, *tiempo de vida de la batería*, *calibrador interno*, *accesorios opcionales* (contador de frecuencia, conector de 24 pines, generador de tracking, interfaz RS-232, capacidad de monitor de video) y *requerimientos de potencia* (fusible, potencia de entrada y corriente de fugas).

## 10.- Analizador de Fourier - Gráfico



## 11.- Bibliografía

- *Application Note 150. Agilent Spectrum Analysis Basics*
- Agilent AN 1315. Optimizing RF and Microwave Spectrum Analyzer Dynamic Range
- Analizador de Espectro 8559 HP.
- Manual del Analizador de Espectro Digital Tektronix 2711.
- *Signal Analysis Back to Basics 2005*, Agilent Technologies, [www.agilent.com](http://www.agilent.com)
- *Spectrum Analyzer*, Rodhe&Schwarz, [www.rodhe-schwarz.com](http://www.rodhe-schwarz.com)
- *Guide to Spectrum Analyzers*, Anritsu, [www.anritsu.com](http://www.anritsu.com)

Ing. J.C. Colombo  
Prof. Medidas Electrónicas II  
FRT-UTN  
24/08/12