

Desarrollo e Integración de una Estación de radio AM/FM basada en computadora

E. INZUNZA, A. VALDIVIA, J. LUNA, J. SOARES, J. OLGUÍN, S. INFANTE
*Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California
Ensenada, Baja California, CP 22860, México*

En este trabajo se presenta el desarrollo de una estación de radio AM/FM basada en computadora personal, que opera en la banda comercial de AM y FM. Se presenta el desarrollo de la interfaz gráfica del software y la interconexión por medio del ducto GPIB con un generador de funciones de RF. El usuario del ordenador tiene la opción de introducir la frecuencia deseada de transmisión dentro de la banda comercial así como la potencia de transmisión, entre otros parámetros.

1. Introducción

1.1 Antecedentes de radio

La aparición de este medio de comunicación es una sucesión de descubrimientos que comenzaron a finales del siglo XIX.

Se tiene noción de que la primera comunicación telegráfica inalámbrica sucedió un 14 de mayo de 1897 entre las poblaciones de Laverck Point y la Isla Fratholm en el canal de Bristol que se hallan separadas por una distancia de aprox. 5 kilómetros. El autor de ese fantástico descubrimiento fue Gugliermo Marconi, un físico italiano.

De esa primera comunicación, le continuaron una seguidilla de avances tecnológicos que poco a poco fueron mejorando la calidad de las comunicaciones y también la cantidad. El origen de las estaciones de radio en distintas partes del mundo ha sido muy diverso: estatal, privado, con fines culturales, con fines comerciales, etc.

En una primera instancia, era con fines meramente informativos y luego comenzó a variar su rango de acción hasta llegar a cubrir los más diversos aspectos: brindar información, música, cultura, entretenimiento, etc. Otra ventaja que tuvo hacia sus orígenes, es que, al igual que la televisión años más tarde, llega al hogar, a diferencia del teatro, del cine aun inexistente, las conferencias, los conciertos que reúnen al público en un recinto.

1.2 Ducto de interface de propósito general

En 1965, Hewlett-Packard diseñó el Hewlett-Packard Interface Bus (HP-IB) para conectar su línea de instrumentos programables a sus computadoras. Debido a su gran tasa de transferencia (nominalmente 1 Mbyte/s), este bus rápidamente ganó popularidad. Fue después aceptado como estándar IEEE 488 en 1975, y ha envuelto el estándar ANSI/IEEE 488.1 en 1987. Ahora, el nombre GPIB (General Purpose Interface Bus) es más usado que HP-IB. ANSI/IEEE 488.2 en 1987 consolidó el estándar original definiendo como los controladores e instrumentos se comunican, SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) tomó la estructura de comandos definida como IEEE 488.2 y creó un solo comando comprensivo de programación que es usado con cualquier instrumento SCPI.

1.3 Fundamentos de modulación en amplitud

Esta técnica de modulación consiste en variar la amplitud de la onda de radio frecuencia. Cuando una señal de baja frecuencia (BF), controla la amplitud de una onda de alta frecuencia (RF), tenemos una modulación por amplitud. La Radio y la Televisión no hubieran sido posibles sin la modulación. En la transmisión existen dos procesos fundamentales. El primero, montar la Información (BF) en la Portadora (RF), proceso al que llamamos modulación. El segundo, es el proceso de demodulación, es decir la recuperación de la información, procedimiento que denominamos detección. En la (Fig. 1a) se muestra el ejemplo de una señal de información de 300Hz, en la (Fig. 1b) se muestra la señal portadora de 5KHz, se puede observar que al producirse el proceso de modulación en amplitud se genera una envolvente sobre la señal portadora, tal y como se muestra en la (Fig. 1c).

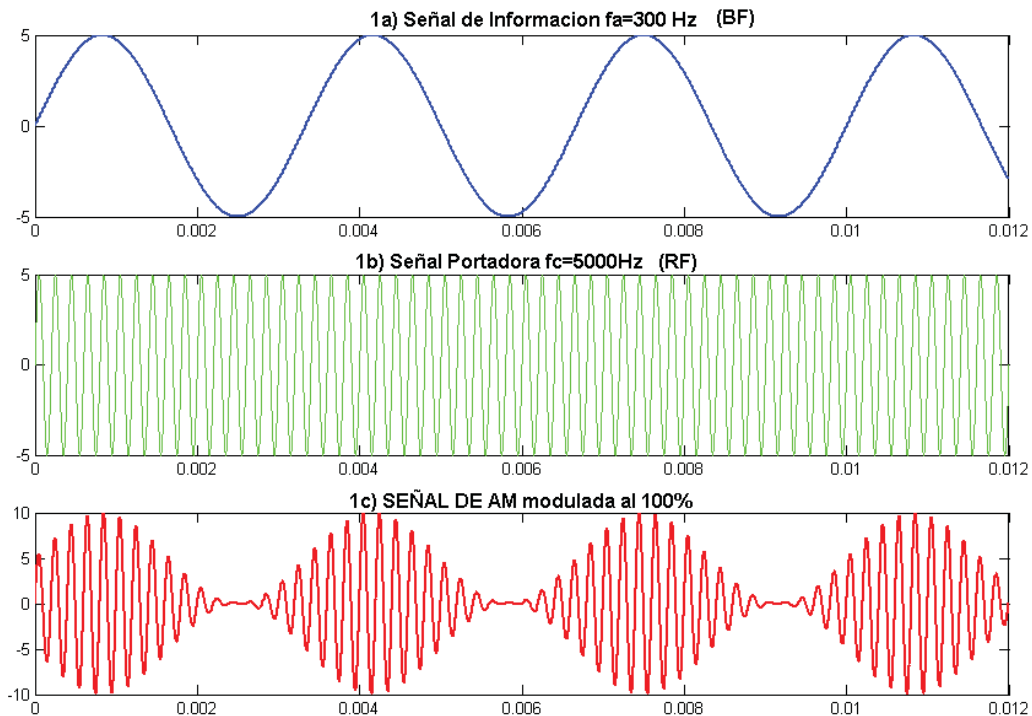


Figura 1. Forma de onda de la señal de AM (inferior) y señal de información (superior).

1.4 Fundamentos de modulación en frecuencia

En FM, la amplitud pico de la portadora pertenece constante, mientras que la frecuencia de la portadora cambia por la acción de la señal moduladora. Como la amplitud de la señal de información varía, produce corrimientos proporcionales en la frecuencia de la portadora. A medida que se incrementa la amplitud de la señal moduladora, aumenta la frecuencia de la portadora. Si la amplitud de la primera decrece, también disminuye la frecuencia de la portadora, como se presenta en la (Fig. 2). Así mismo puede implementarse la relación inversa. Una disminución de la amplitud de la señal moduladora aumenta la frecuencia de la portadora arriba de su valor central, mientras que un decremento en la amplitud de la moduladora incrementa la frecuencia de la portadora por arriba de su valor central. A medida que la señal moduladora varía su amplitud, la frecuencia de la portadora cambia arriba y debajo de su valor central o de reposo cuando no hay modulación. El aumento que la señal moduladora produce en la frecuencia de la portadora se conoce como desviación de frecuencia, f_d . La desviación máxima de la frecuencia ocurre en los máximos de amplitud de la señal moduladora.

La frecuencia de la señal moduladora determina la relación de desviación de frecuencia, o sea, cuantas veces por segundo la frecuencia de la portadora se desvía arriba y debajo de su frecuencia central. Si la señal moduladora es una onda senoidal de 500 Hz, la frecuencia de la portadora se desvía arriba y debajo de su frecuencia central 500 veces por segundo.

Considere una frecuencia portadora de 150 MHz, si la amplitud de la señal moduladora causa un corrimiento máximo de la frecuencia de 30 kHz, la frecuencia de la portadora se desviará hacia arriba hasta 150.03 MHz y hacia abajo hasta 149.97 MHz. La desviación total de la frecuencia es $150.03 - 149.97 = 0.06$ MHz o 60 kHz. Sin embargo, en la práctica, la desviación de frecuencia se expresa como una cantidad de corrimiento de frecuencia de la portadora arriba y debajo de la frecuencia central. Por lo tanto la desviación de frecuencia para la frecuencia de la portadora de 150 MHz se representa como ± 30 kHz. Esto significa que la señal moduladora hace variar a la portadora arriba y debajo de su frecuencia central en 30 kHz. Se observa que la frecuencia de la señal moduladora no tiene efecto en el grado de desviación el cual es, en estricto sentido, una función de la amplitud de la señal moduladora.

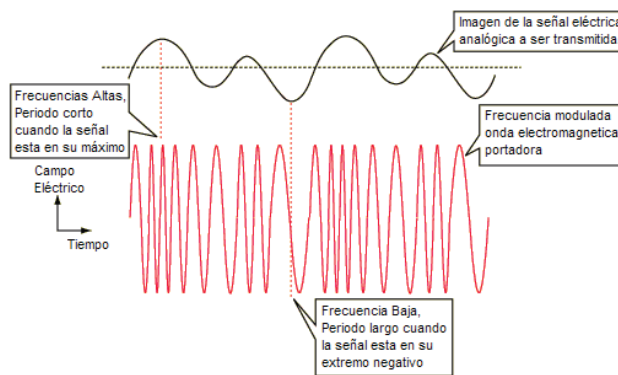


Figura 2. Forma de onda de la señal de FM (inferior) y señal de información (superior).

El cambio de frecuencia, que está exagerado en la (Fig. 2), es proporcional a la amplitud de la señal. Una señal portadora de FM alrededor de 100MHz está limitada a modulación de ± 0.1 MHz. Las transmisoras normales de FM modulan aproximadamente a ± 0.53 MHz.

El espectro electromagnético de la banda de FM, está entre 88 MHz y 108 MHz y las ondas portadoras para estaciones individuales están separadas por 200kHz para un máximo de 100 estaciones. Estas estaciones de FM tienen una desviación máxima de 75 kHz de la frecuencia central, lo que les deja 25kHz arriba y abajo (bandas de guarda) para minimizar interferencias con la banda de la frecuencia adyacente.

Esta separación de las estaciones es mucho más ancha que las de las estaciones de AM, permitiendo la transmisión de unas bandas de frecuencia más anchas para tener más alta fidelidad en la música transmitida. Esto también permite el uso de sub-portadoras que pueden hacer posible la transmisión de señales de FM estereo.

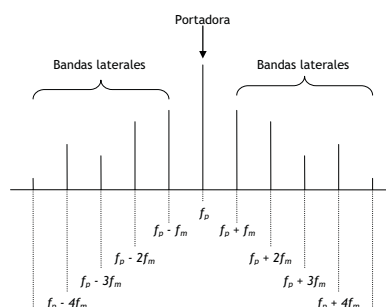


Figura 3. Espectro de frecuencias de una señal de FM.

Al variar la amplitud de la señal moduladora cambiará la desviación de la frecuencia. El número de bandas laterales producidas, su amplitud y espaciamiento depende de la desviación de la frecuencia moduladora. Recuerde que una señal de FM tiene amplitud constante. Como la señal de FM resulta de las frecuencias de las bandas laterales, las amplitudes de estas bandas deben variar con la desviación de la frecuencia y la frecuencia moduladora. En teoría, el proceso de FM produce un número infinito de bandas laterales superiores e inferiores y, por lo tanto, un ancho de banda teóricamente infinito. Sin embargo, en la práctica solo las bandas laterales con las amplitudes mayores son las que contribuyen a llevar la información. Por lo común, cualquier banda lateral, cuya amplitud es menor al 1% de la portadora no modulada, se considera como insignificante.

Así, la FM pasa a través de los circuitos o de los medios de comunicación en un ancho de banda infinito. A pesar de ello, el ancho de banda de una señal de FM en general es más amplio que el de una señal de AM con la misma señal moduladora.

Funciones de Bessel: dado el índice de modulación, el número y amplitudes de las bandas laterales significativas se puede resolver de la ecuación básica de una señal de FM [5]. Esta ecuación, cuyo desarrollo queda fuera de este reporte es:

$$v_{FM} = v_p \text{ sen } [2\pi f_p t + m_f \text{ sen } (2\pi f_m t)] \quad (1)$$

donde v_{FM} es el valor instantáneo de la señal de FM y m_f es el índice de modulación.

La Ec. 1 se resuelve mediante un proceso matemático complejo conocido como funciones de Bessel [5]. No es necesario reproducir esta solución, pero el resultado es el siguiente:

$$v_{FM} = v_p \{ J_0[\text{sen } \omega_p t] + J_1[\text{sen } (\omega_p + \omega_m)t - \text{sen } (\omega_p - \omega_m)t] + J_2[\text{sen } (\omega_p + 2\omega_m)t + \text{sen } (\omega_p - 2\omega_m)t] + J_3[\text{sen } (\omega_p + 3\omega_m)t - \text{sen } (\omega_p - 3\omega_m)t] + J_4[\text{sen } (\omega_p + 4\omega_m)t + \text{sen } (\omega_p - 4\omega_m)t] + J_5[\text{sen } \dots] + \dots \} \quad (2)$$

donde $\omega_p = 2\pi f_p$ es frecuencia de la portadora.

$\omega_m = 2\pi f_m$ es frecuencia de la señal moduladora.

v_p es el valor pico de la portadora sin modulación.

La onda de FM se expresa como una composición de ondas senoidales de frecuencias y amplitudes diferentes que al sumarse dan una señal de FM en el dominio del tiempo. El primer término es la portadora con la amplitud dada por el coeficiente J_0 . El siguiente término representa un par de frecuencias laterales superior e inferior iguales a la suma y diferencia de la frecuencia portadora y la frecuencia de la señal moduladora. La amplitud de estas frecuencias laterales es J_1 . El término que sigue es otro par de frecuencias laterales igual a la frecuencia portadora ± 2 veces la frecuencia de la señal moduladora.

2. Desarrollo del sistema

La (Fig. 4) muestra el diagrama a bloques de la estación de radio AM/FM desarrollada, el usuario desde el ordenador reproduce la señal de audio con cualquier software comercial, el audio del locutor se introduce al ordenador por medio de un micrófono común para tarjeta de sonido, el mezclado de las señales de audio se realiza dentro del ordenador. El ordenador envía la información del audio a través de la tarjeta de sonido al generador de RF, así como también envía a través del bus GPIB la información de la frecuencia y potencia de transmisión, selecciona tipo de modulación, activa/desactiva modulación, enciende/apaga la señal de RF. El generador de funciones realiza el mezclado de la señal de información con la portadora de RF generando la señal de AM/FM, la cual es enviada a través de un cable coaxial a una antena omnidireccional.

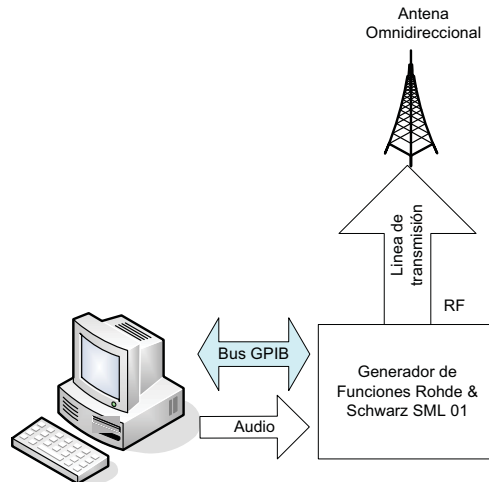


Figura 4. Diagrama a bloques de la estación de radio AM/FM basada en Computadora.

2.1 Desarrollo del software

En la (Fig. 5) se muestra la interfaz gráfica principal del software que controla al generador de funciones de RF, en la ventana del programa existen 4 campos editables, en los cuales se pueden introducir los valores deseados, siempre y cuando estén dentro del rango permitido por el generador. Estos campos son: Frecuencia de RF, Frecuencia de LF (señal interna de información), Amplitud de LF y Potencia de Salida. Así como también se puede seleccionar por medio de un menú desplegable la fuente modulante (interna o externa), seleccionar tipo de modulación y activar o desactivar la salida de RF.



Figura 5. Interfaz gráfica principal del software de la estación de radio AM/FM.

3. Mediciones y resultados

3.1 Potencia de la señal de RF

A continuación se muestran varias imágenes del espectro electromagnético de una señal de FM, transmitida. En este caso se utilizó como frecuencia central 90.3 MHz, ya que no existen estaciones de radio comerciales por debajo de esta en la ciudad y puerto de Ensenada.

En la (Fig. 6) se observa como la frecuencia de la señal portadora esta centrada en 90.3 MHz y la potencia que tiene es de -46.9 dBm, existe una gran pérdida en la potencia de RF a pesar de que se encuentra a una distancia aprox. de 5m, pero al momento de transmitirla por el medio existen pérdidas durante la propagación y en la línea de transmisión, además debido a que toda la potencia se esta irradiando a muchas direcciones con la antena (omnidireccional). Las otras 2 frecuencias que se observan en el analizador de espectros corresponden a dos estaciones de radio comerciales de la ciudad de Ensenada, Baja California, México (92.1 y 92.9 MHz).

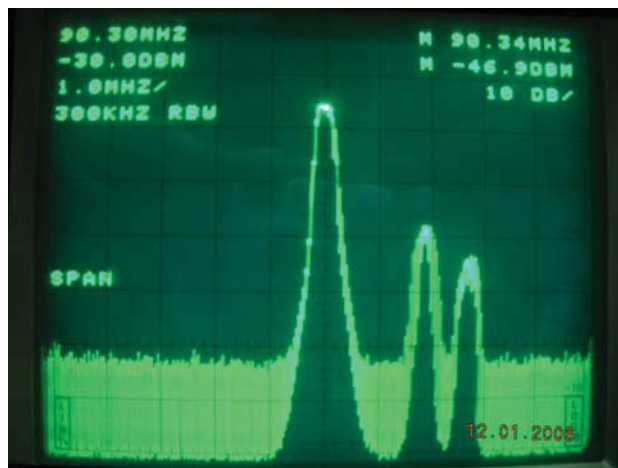


Figura 6. Espectro de la señal de FM centrada a 90.3 MHz, con una potencia de +13dBm (señal de información = música).

A continuación se muestran imágenes del espectro a diferentes potencias. En la (Fig. 7) se muestra el espectro de la señal de FM cuando es transmitida con una potencia de RF de 10dBm.

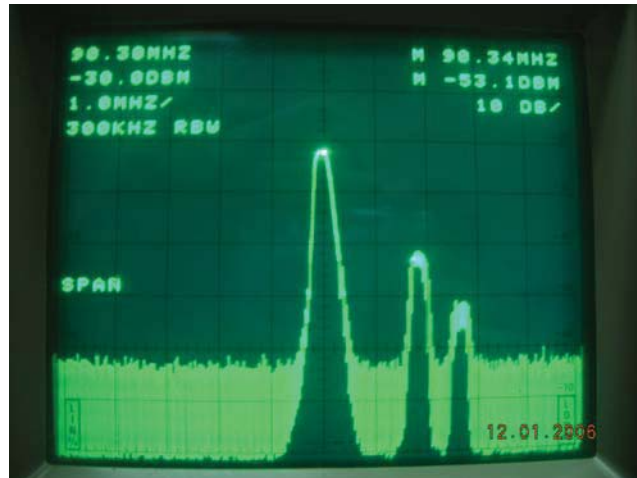


Figura 7. Espectro de la señal de FM a 90.3 MHz, con una potencia de +10dBm.

En la (Fig. 8 y 9) se esta utilizando una potencia de RF de 5dBm y 0dBm respectivamente.

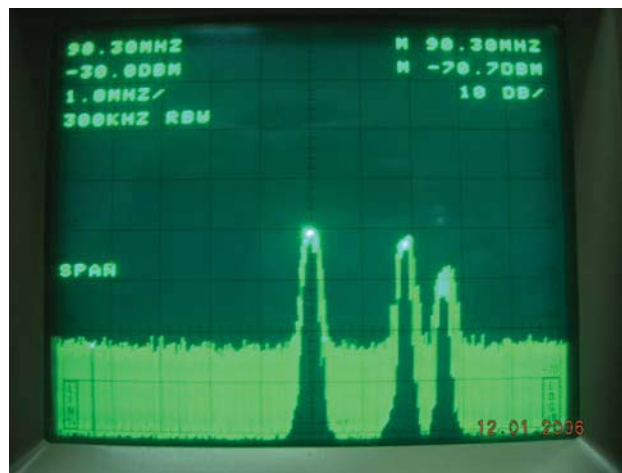


Figura 8. Espectro de la señal de FM a 90.3 MHz, con una potencia de +5dBm.

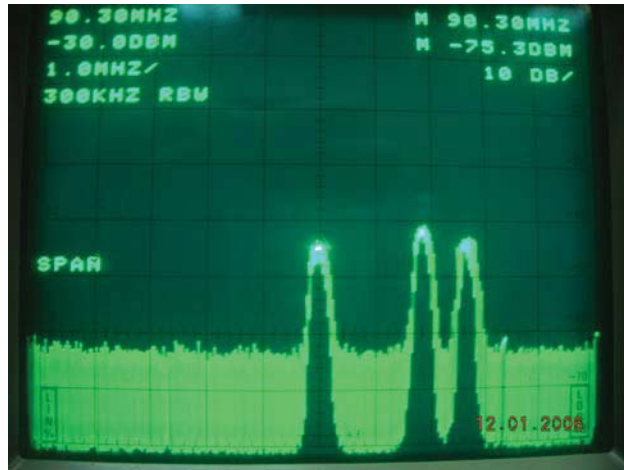


Figura 9. Espectro de la señal de FM a 90.3 MHz, con una potencia de 0dBm.

3.2 Ancho de banda real

Existen dos ecuaciones para calcular el ancho de banda real [5] (BW) de una señal de FM:

$$BW = 2f_m N \quad (3)$$

donde N es el número de bandas laterales, que se obtiene de la (Fig. 3) a partir del índice de modulación m_f y

$$m_f = f_d / f_m \quad (4)$$

Donde f_d , es la desviación en frecuencia de la señal de FM y f_m es la frecuencia de la señal modulante (información).

Otra forma de calcular el ancho de banda real [5] es con la regla de Carson, a continuación se muestra:

$$BW = 2 [f_{d(max)} + f_{m(max)}] \quad (5)$$

Como se puede observar en la (Fig. 10), el ancho de banda es de 250 KHz, tomando $N=8$, y considerando que el span se encuentra en 50 KHz por cuadro horizontal.

Utilizando la Ec. (3) el ancho de banda calculado es de 240 KHz (Fig. 10). En este caso la señal modulante es una onda senoidal de 15 KHz, se utilizó esta frecuencia por que es la máxima de audio permitido en las estaciones de FM comerciales.

Por otra parte, en la (Fig. 10), se muestra el espectro una señal de FM, utilizando como señal modulante una onda senoidal de 15 KHz, como se observa en el espectro se mantienen fijas las frecuencias, debido a que la frecuencia de la señal modulante se mantiene constante, y debido a que el analizador de espectros solo despliega muestras del espectro conforme el sonido cambia, se puede observar como el ancho de banda es de aproximadamente 300 KHz.

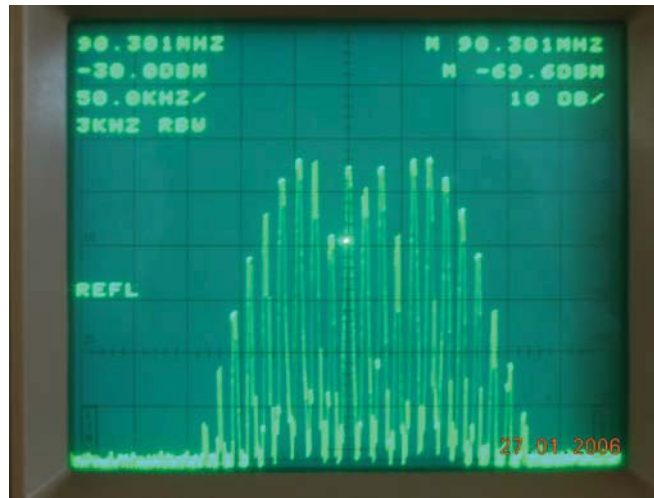


Figura 10. Espectro de la señal de FM con una señal de información (Senoidal de 15 KHz).

En la (Fig. 11), se muestra el espectro una señal de FM, utilizando como señal modulante el audio de música pop, como se observa el espectro esta variando constantemente ya que el audio varia mucho su frecuencia y amplitud, y debido a que el analizador de espectros solo despliega muestras del espectro conforme el sonido cambia, al abrir más el span de medición, se puede observar como el ancho de banda es de aprox. 150 KHz.

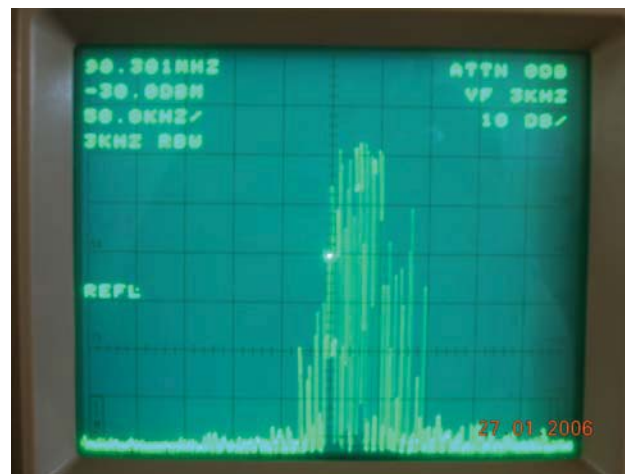


Figura 11. Espectro de la señal de FM con una señal de audio (música) como moduladora.

En la (Fig. 12) se muestra el espectro de la señal portadora, sin modulación en frecuencia, se puede observar como el ancho de banda es menor que cuando se está modulando en frecuencia.

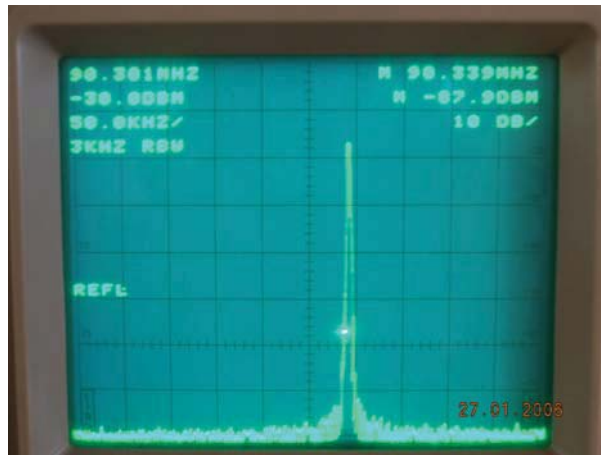


Figura 12. Espectro de la Señal Portadora a 90.3 MHz, sin modulación

4. Conclusiones

En este trabajo se presentó el desarrollo de una estación de radio AM/FM basada en computadora personal, que opera en la banda comercial de AM (530-1600 KHz) y FM (88-108 MHz). Se mostró el desarrollo de la interfaz gráfica del software y la interconexión con un generador de funciones de RF para la transmisión de la información de audio que reproduce la computadora o voz de un locutor. El control del generador de radio frecuencia es basado en el estándar GPIB.

Esta estación de radio AM/FM, se puede utilizar para transmitir eventos internos de Universidades, Industrias, Centros comerciales, eventos deportivos, etc.

Cabe hacer mención que es muy importante obtener la licencia de transmisión para la frecuencia central de la portadora con el organismo gubernamental correspondiente al país donde se instalará el sistema.

Referencias

- [1] H. Jardón Aguilar. Fundamentos de los sistemas modernos de comunicación. Editorial Alfaomega.
- [2] R. Ibarra Quevedo y M. A Serrano. Principios de teoría de las comunicaciones. Editorial Limusa.
- [3] W. Tomasi. 2003. Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición. Editorial Prentice Hall.
- [4] J. Luna Rojas. 2005. Sistema de medición automatizado para la caracterización de dispositivos de baja frecuencia. Tesis de licenciatura. UABC.
- [5] L. E. Frenzel. 1998. Principles of Electronic Communication Systems. Glencoe McGraw-Hill.