



MODULACIÓN DIGITAL FSK M-ARIA.

Proyecto de Ingeniería Electrónica I Y II.

Ingeniería Electrónica.

Alumno: César Augusto Molina Arcos.

Asesor: Dr. Fausto Casco Sánchez.

Mayo-2004



Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad I - Xalapa

MODULACIÓN DIGITAL FSK M-ARIA.

Proyecto de Ingeniería Electrónica I Y II.

Ingeniería Electrónica.

Alumno: César Augusto Molina Arcos.

Asesor: Dr. Fausto Casco Sánchez.

Mayo-2004

INDICE

I.- INTRODUCCIÓN

- 1.1 Modulaci3n.
- 1.2 Para que se modula.
- 1.3 Como se modula.
- 1.4 Tipos de modulaci3n.
- 1.5 Modulaci3n digital.
- 1.6 Como afecta el canal a la se1al.
- 1.7 Que relaci3n existe entre el canal y la se1al.
- 1.8 Conversi3n anal3gico-digital.
- 1.9 Ventajas de la comunicaci3n digital.

II.- MODULACI3N FSK M-ARIA.

- 2.1 Modulaci3n FSK
- 2.2 Comunicaci3n M-aria.
- 2.2 Modulaci3n FSK M-aria.
- 2.3 Diagrama a bloques de la transmisi3n y la recepci3n.

III.- CIRCUITO ELECTR3NICO.

- 3.1 Descripci3n del circuito electr3nico.
- 3.2 Pruebas del circuito e lectr3nico.

IV.- CONCLUSIONES.

V.- BIBLIOGRAFIA.

I.- INTRODUCCION

1.1.- MODULACIÓN

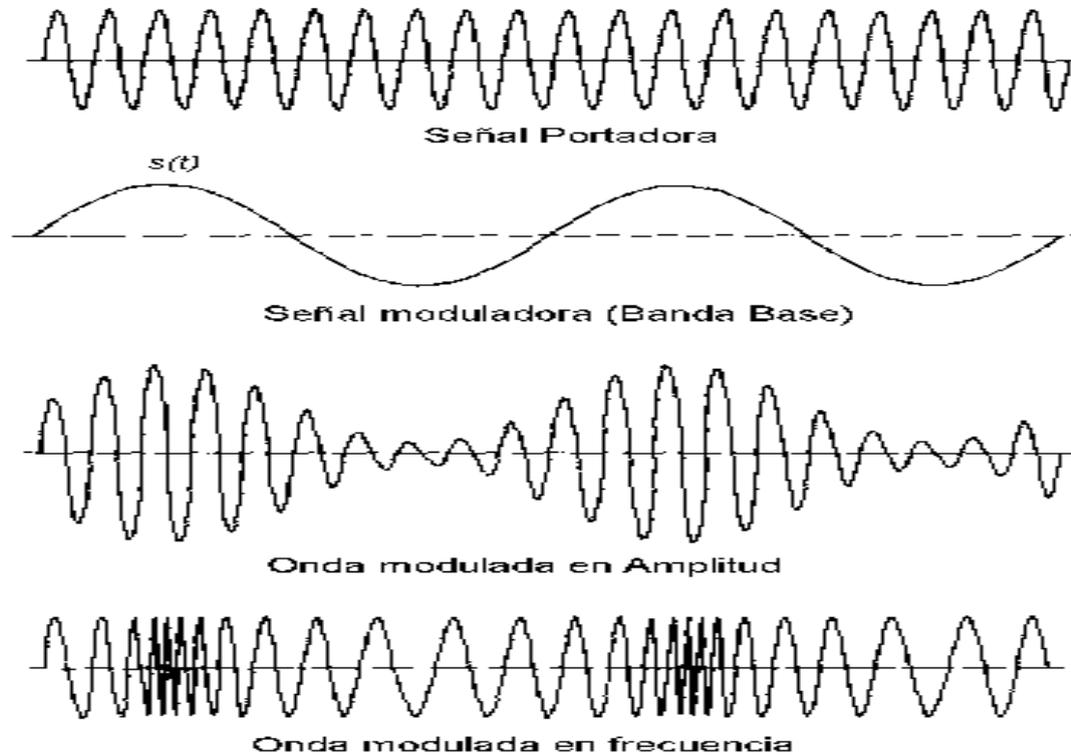
Muchas señales de entrada no pueden ser enviadas directamente hacia el canal, como vienen del transductor. Para eso se modifica una onda portadora, cuyas propiedades se adaptan mejor al medio de comunicación en cuestión, para representar el mensaje.

Definiciones:

"La modulación es la alteración sistemática de una onda portadora de acuerdo con el mensaje (señal modulada) y puede ser también una codificación"

"Las señales de banda base producidas por diferentes fuentes de información no son siempre adecuadas para la transmisión directa a través de un canal dado. Estas señales son en ocasiones fuertemente modificadas para facilitar su transmisión."

Una portadora es una senoide de alta frecuencia, y uno de sus parámetros (tal como la amplitud, la frecuencia o la fase) se varía en proporción a la señal de banda base $s(t)$. De acuerdo con esto, se obtiene la modulación en amplitud (AM), la modulación en frecuencia (FM), o la modulación en fase (PM). La siguiente figura muestra una señal de banda base $s(t)$ y las formas de onda de AM y FM correspondientes. En AM la amplitud de la portadora varía en proporción a $s(t)$, y en FM, la frecuencia de la portadora varía en proporción a $s(t)$.



Es interesante hacer hincapié en que muchas formas de comunicación no eléctricas también encierran un proceso de modulación, y la voz es un buen ejemplo. Cuando una persona habla, los movimientos de la boca ocurren de una manera más bien lenta, del orden de los 10 Hz, que realmente no pueden producir ondas acústicas que se propaguen. La transmisión de la voz se hace por medio de la generación de tonos portadores, de alta frecuencia, en las cuerdas vocales, tonos que son modulados por los músculos y órganos de la cavidad oral. Lo que el oído capta como voz, es una onda acústica modulada, muy similar a una onda eléctrica modulada.

1.2.- PARA QUE SE MODULA

Existen varias razones para modular, entre ellas:

- Facilita la propagación de la señal de información por cable o por el aire.
- Ordena el radioespectro, distribuyendo *canales* a cada información distinta.
- Disminuye dimensiones de antenas.
- Optimiza el ancho de banda de cada canal
- Evita interferencia entre canales.
- Protege a la Información de las degradaciones por ruido.
- Define la calidad de la información transmitida.

Modulación para facilidad de radiación: Una radiación eficiente de energía electromagnética requiere de elementos radiadores (antenas) cuyas dimensiones físicas serán por lo menos de $1/10$ de su *longitud de onda*. Pero muchas señales, especialmente de audio, tienen componentes de frecuencia del orden de los 100 Hz o menores, para lo cual necesitarían antenas de unos 300 Km. de longitud si se radiaran directamente. Utilizando la propiedad de traslación de frecuencias de la modulación, estas señales se pueden sobreponer sobre una portadora de alta frecuencia, con lo que se logra una reducción sustancial del tamaño de la antena. Por ejemplo, en la banda de radio de FM, donde las portadoras están en el intervalo de 88 a 108 MHz, las antenas no deben ser mayores de un metro.

Modulación para reducir el ruido y la interferencia: Se ha dicho que es imposible eliminar totalmente el ruido del sistema. Y aunque es posible eliminar la interferencia, puede no ser práctico. Por fortuna, ciertos tipos de modulación tiene la útil propiedad de suprimir tanto el ruido como la interferencia. La supresión, sin embargo, ocurre a un cierto precio; generalmente requiere de un ancho de banda de transmisión mucho mayor que el de la señal original; de ahí la designación del ruido de banda ancha. Este convenio de ancho de banda para la reducción del ruido es uno de los intereses y a veces desventajosos aspectos del diseño de un sistema de comunicación.

Modulación por asignación de frecuencia: El propietario de un aparato de radio o televisión puede seleccionar una de varias estaciones, aún cuando todas las estaciones estén transmitiendo material de un programa similar en el mismo medio de transmisión. Es posible seleccionar y separar cualquiera de las estaciones, dado que cada una tiene asignada una frecuencia portadora diferente. Si no fuera por la modulación, solo operaría una estación en un área dada. Dos o más estaciones que transmitan directamente en el mismo medio, sin modulación, producirán una mezcla inútil de señales interferentes.

Modulación para multicanalización: A menudo se desea transmitir muchas señales en forma simultánea entre dos puntos. Las técnicas de multicanalización son formas intrínsecas de modulación, permiten la transmisión de múltiples señales sobre un canal, de tal manera que cada señal puede ser captada en el extremo receptor. Las aplicaciones de la multicanalización comprenden telemetría de datos, emisión de FM estereofónica y telefonía

de larga distancia. Es muy común, por ejemplo, tener hasta 1,800 conversaciones telefónicas de ciudad a ciudad, multicanalizadas y transmitidas sobre un cable coaxial de un diámetro menor de un centímetro.

Modulación para superar las limitaciones del equipo: El diseño de un sistema queda generalmente a la disponibilidad de equipo, el cual a menudo presenta inconvenientes en relación con las frecuencias involucradas. La modulación se puede usar para situar una señal en la parte del *espectro de frecuencia* donde las limitaciones del equipo sean mínimas o donde se encuentren más fácilmente los requisitos de diseño. Para este propósito, los dispositivos de modulación se encuentran también en los receptores, como ocurre en los transmisores.

1.3.- COMO SE MODULA

Frecuentemente se utilizan dispositivos electrónicos *semiconductores* con características no lineales (diodos, transistores, bulbos), resistencias, inductancias, capacitores y combinaciones entre ellos. Estos realizan procesos eléctricos cuyo funcionamiento es descrito de su representación matemática.

$$s(t) = A \text{ sen } (\omega t + \phi)$$

donde: A es la amplitud de la portadora (volts)

ω es la frecuencia angular de la portadora (rad/seg)

ϕ ángulo de fase de la portadora (rad)

1.4.- TIPOS DE MODULACIÓN QUE EXISTEN

Existen básicamente dos tipos de modulación: la modulación *ANALÓGICA*, que se realiza a partir de señales analógicas de información, por ejemplo la voz humana, audio y video en su forma eléctrica y la modulación *DIGITAL*, que se lleva a cabo a partir de señales generadas por fuentes digitales, por ejemplo una computadora.

- Modulación Analógica: AM, FM, PM
- Modulación Digital: ASK, FSK, PSK, QAM

1.5.- MODULACION DIGITAL.

La modulación digital es un proceso mediante el cual se transforman los símbolos digitales en formas de onda adecuadas para la transmisión sobre el canal de comunicación. Ya hemos visto la modulación en banda base, en donde las formas de onda son pulsos. La modulación pasabanda es un proceso mediante el cual la señal digital modula una senoide llamada comúnmente onda portadora o simplemente portadora. Para el caso de las transmisiones de radio, por ejemplo, la señal portadora se convierte apropiadamente en un campo electromagnético que se propaga a través del aire.

Ahora, bien, cabe preguntarse para que modular una señal que esta en banda base para que sea posible una radiotransmision. La respuesta esta en que la transmisión de campos electromagnéticos a través del espacio se realiza por medio de antenas. Para que haya un acoplamiento eficiente de energía electromagnética en el espacio, las dimensiones de la apertura de la antena debe ser comparable a la longitud de onda que se va a transmitir. La longitud de onda λ es igual a c/f , donde c es la velocidad de la luz en el vacío (3×10^8 m/s). si tuviésemos que transmitir una señal de banda base de frecuencia $f = 3000$ Hz, entonces la longitud de onda resultaría $\lambda = 10^5$ m. entonces, para transmitir eficientemente una señal de 3KHz a través del espacio, sin usar modulación o portadora, se necesitaría una antena con una apertura de unos 100,000 metros, cosa que, indudablemente, es impracticable.

Ahora, si esta señal de banda base la modulamos sobre una portadora de alta frecuencia. Por ejemplo, 30 GHz, las dimensiones de la antena se hacen mucho más pequeñas. Por supuesto que el tema de modulación y uso de antenas es mucho mas complejo, pero este es el fundamento por el cual se debe modular una señal. Desde luego que hay distintos tipos de antenas y distintos tipos de modulaciones.

Además, la modulación ofrece otra ventaja. Se trata del multiplexado en frecuencia o múltiplex por división de frecuencia, mecanismo mediante el cual se pueden transmitir varias señales provenientes de distintas fuentes y todas por el mismo canal, usando cada fuente una frecuencia portadora distinta.

1.6.- COMO AFECTA EL CANAL A LA SEÑAL

Depende del medio o canal, ya que hay unos mejores que otros, aunque también depende del tipo de modulación y aplicación.

Los principales efectos que sufre la señal al propagarse son:

- Atenuación
- Desvanecimiento
- Ruido Blanco aditivo
- Interferencia externa
- Ruido de fase
- Reflexión de señales
- Refracción
- Difracción
- Dispersión

1.7.- QUE RELACIÓN EXISTE ENTRE LA MODULACIÓN Y EL CANAL

El canal influye fuertemente en la elección del tipo de modulación de un sistema de comunicaciones, principalmente debido al ruido.

- CANAL: Ruido, Distorsión, Interferencia y Atenuación.
- MODULACIÓN: Inmunidad al ruido, Protege la calidad de la información, Evita interferencia.

1.8.-CONVERSIÓN ANALÓGICO-DIGITAL

Qué es *ANALÓGICO* y que es *DIGITAL*

El término *ANALÓGICO* en la industria de las telecomunicaciones y el cómputo significa todo aquel proceso entrada/salida cuyos valores son continuos. Algo continuo es todo aquello que puede tomar una infinidad de valores dentro de un cierto límite, superior e inferior.

El término *DIGITAL* de la misma manera involucra valores de entrada/salida discretos. Algo discreto es algo que puede tomar valores fijos. El caso de las comunicaciones digitales y el cómputo, esos valores son el cero (0) o el uno (1) o Bits (Binary Digits).

La conversión Analógico-Digital consta de varios procesos:

- **Muestreo**
- **Cuantización**
- **Codificación**

1.9.- VENTAJAS DE LA COMUNICACIÓN DIGITAL.

La transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales entre dos puntos, en un sistema de comunicación. La información de la fuente original puede estar ya sea en forma digital o en señales analógicas que deben convertirse en pulsos digitales, antes de su transmisión y convertidas nuevamente a la forma analógica en el lado del receptor.

Algunas de las **VENTAJAS** de la transmisión digital [con respecto a la analógica] son:

1.-La ventaja principal de la transmisión digital es la inmunidad al ruido. Las señales analógicas son más susceptibles que los pulsos digitales a la amplitud, frecuencia y variaciones de fase. Esto se debe a que con la transmisión digital, no se necesita evaluar esos parámetros, con tanta precisión, como en la transmisión analógica. en cambio, los pulsos recibidos se evalúan durante un intervalo de muestreo y se hace una sola determinación si el pulso está arriba (1) o abajo de un umbral específico (0).

2.-Almacenamiento y procesamiento: Las señales digitales se pueden guardarse y procesarse fácilmente que las señales analógicas.

3.- Los sistemas digitales utilizan la regeneración de señales, en vez de la amplificación, por lo tanto producen un sistema más resistente al ruido que su contraparte analógica.

4.- Las señales digitales son más sencillas de medir y evaluar. Por lo tanto es más fácil comparar el rendimiento de los sistemas digitales con diferentes capacidades de señalización e información, que con los sistemas analógicos comparables.

5.- Los sistemas digitales están mejor equipados para evaluar un rendimiento de error (por ejemplo, detección y corrección de errores), que los analógicos.

6.- Los equipos que procesan digitalmente consumen menos potencia y son más pequeños, y muchas veces con más económicos.

Algunas de las **DESVENTAJAS** de la transmisión digital son las siguientes:

1.- La transmisión de las señales analógicas codificadas de manera digital requieren de más ancho de banda para transmitir que la señal analógica.

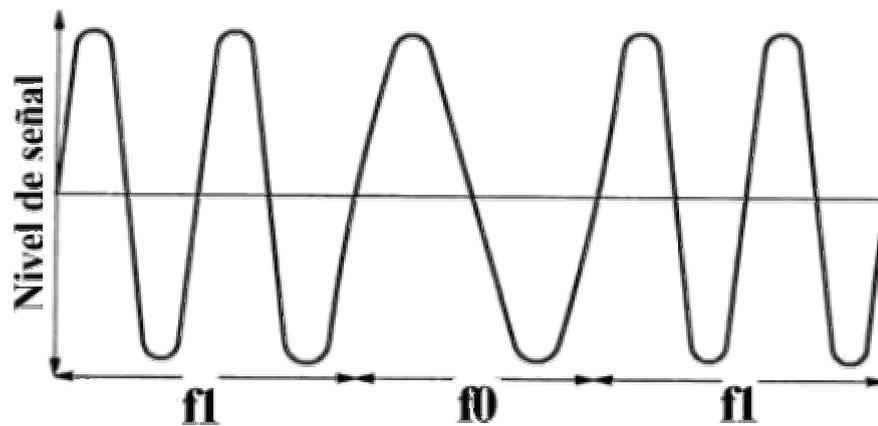
2.- Las señales analógicas deben convertirse en códigos digitales, antes que su transmisión y convertirse nuevamente a analógicas en el receptor.

3.-La transmisión digital requiere de sincronización precisa, de tiempo, entre los relojes del transmisor y receptor.

4.- Los sistemas de transmisión digital son incompatibles con las instalaciones analógicas existentes.

II.- MODULACIÓN FSK M-ARIA.

2.1.- MODULACIÓN FSK.



La modulación FSK se representa de la siguiente manera:

$$S(t) = \cos [(\omega_c \pm d) t + f]$$

donde: $S(t)$ = señal transmitida.

ω_c = frecuencia de portadora.

d = corrimiento de frecuencia.

t = tiempo.

f = defase.

Para un período de baudio t , $S(t)$ tiene una frecuencia $f_1 = (fc + df)$ o $f_0 = (fc - df)$, correspondiendo a la transmisión de un uno o un cero respectivamente, por la duración de un período de baudio.

En algunos casos conviene representarlo como:

$$\omega_1 = \omega_c + \delta\omega$$

$$\omega_0 = \omega_c - \delta\omega$$

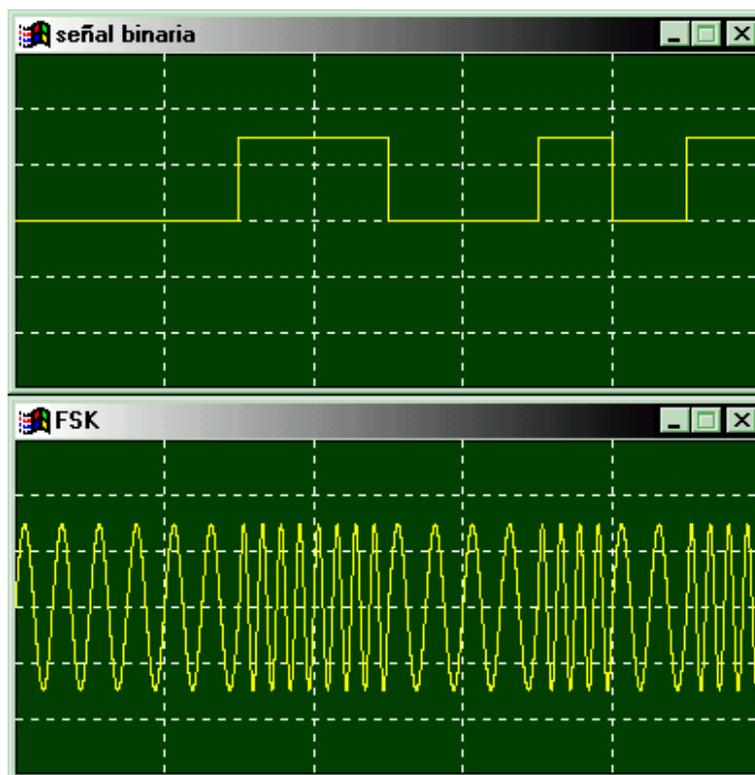
Y también vale lo siguiente:

$$\omega_c = \frac{\omega_1 + \omega_0}{2}$$

$$\delta\omega = \frac{\omega_1 - \omega_0}{2}$$

En el caso de los módems, hay que recordar que como la línea telefónica tiene un ancho de banda limitado a 4KHz, hay que usar esquemas de modulación más eficientes, como por ejemplo PSK y QAM (al aumentar la eficiencia, sin embargo, típicamente aumenta la complejidad de los esquemas de modulación y desmodulación de la señal).

El osciloscopio despliega en pantalla la siguiente forma de onda de la señal FSK generada con estas características:



Esta es la forma de onda de una señal modulada en FSK. Cuando se quiere transmitir un 1 binario se deja pasar la sinusoidal de mayor frecuencia, cuando se quiere transmitir un 0 (cero) binario, se deja pasar la sinusoidal de frecuencia menor.

2.2.- COMUNICACIÓN M-ARIA.

La comunicación digital utiliza solo un número finito de símbolos, siendo el mínimo el número dos (caso binario). Es fácil demostrar que la información transmitida por cada símbolo aumenta con M. por ejemplo, cuando $M=4$ (caso 4-ario o cuaternario), tenemos cuatro símbolos o pulsos, básicos, disponibles para la comunicación. Una sucesión de dos dígitos binarios puede ser transmitida por solo un símbolo 4-ario. Esto se debe a que solo existen cuatro sucesiones posibles de dos dígitos binarios (11, 10, 01, 00). Ya que disponemos de cuatro símbolos distintos, podemos asignar uno de los cuatro símbolos a cada una de estas combinaciones. Esta señalización (señalización de amplitud múltiple) permite transmitir cada par de dígitos binarios mediante un pulso 4-ario. En consecuencia para transmitir cada par de dígitos binarios, solo necesitamos $n/2$ pulsos 4-arios. Esto significa que un símbolo 4-ario puede transmitir la información de dos dígitos binarios. En forma similar un símbolo 8-ario puede transmitir la información de tres dígitos binarios y un símbolo 16-ario podrá transmitir la información de cuatro dígitos binarios.

En general la información I_M que transmite un símbolo M-ario es:

$$I_M = \log_2 M \text{ dígitos binarios o bits.}$$

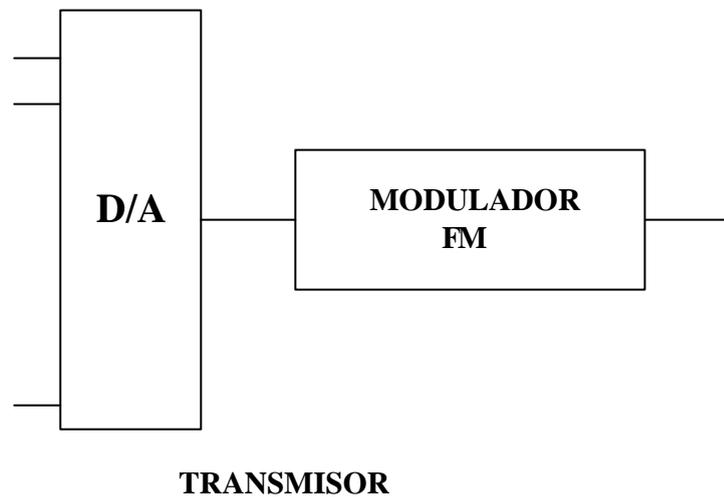
Esto quiere decir que podemos aumentar el índice de transmisión de información aumentando M . Sin embargo, la potencia transmitida aumente según M , ya que para mantener la misma inmunidad al ruido, la separación mínima entre las amplitudes de los pulsos debe ser comparable a la de los pulsos binarios. Por lo tanto, las amplitudes de los pulsos aumentan con M .

Por lo tanto, para incrementar el índice de comunicación por un factor de $\log M$, la potencia requerida se incrementa según M^2 . Ya que el ancho de banda de transmisión depende solo del índice de pulsos y no de las amplitudes de los pulsos, el ancho de banda es independiente de M .

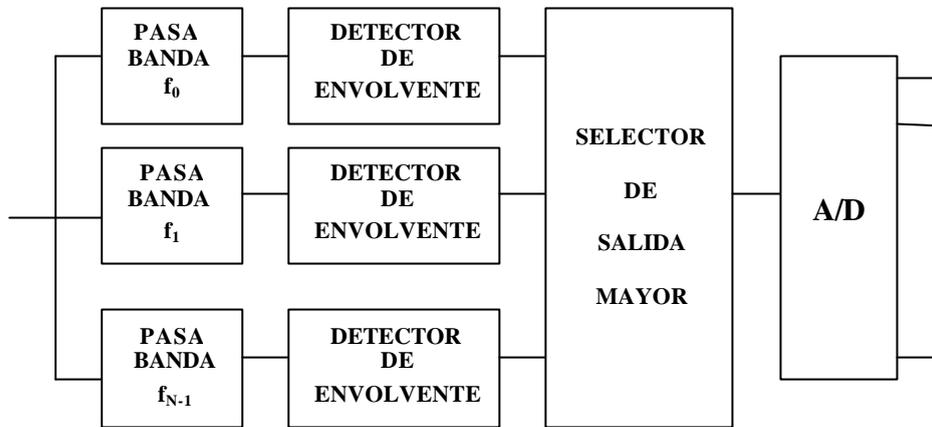
2.2.- FSK M-ARIA .

Es una extensión de FSK, en el transmisor se hace un símbolo de N bits.

En la duración del intervalo T_S se tiene una frecuencia f_0, f_1, \dots, f_{N-1} con $M=2^N$.



En la recepción se usan filtros pasabanda a frecuencias f_0, f_1, \dots, f_{N-1} los detectores de envolventes aplican su salida a un dispositivo que determina cual es el mayor. Finalmente se pasan por un A/D y se recupera el dato.



RECEPTOR

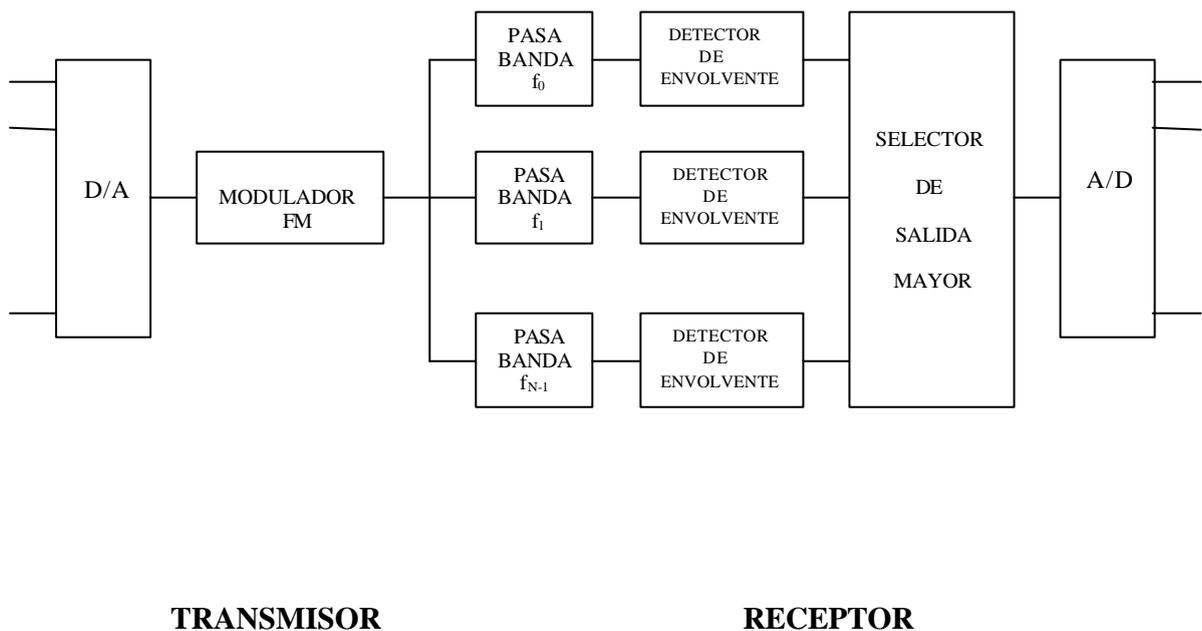
Las frecuencias se seleccionan de forma que sean ortogonales. Una de ellas es seleccionar una frecuencia de portadora y armónicos pares sucesivos de la frecuencia de símbolo.

$$f_s = \frac{1}{T} \text{ por ejemplo.}$$

$$f_0 = kf_s; f_1 = (k+1)f_s; f_2 = (k+4)f_s; \text{ etc.}$$

2.3.- DIAGRAMA A BLOQUES DE LA TRANSMISIÓN Y LA RECEPCIÓN.

En el siguiente diagrama se muestra el enfoque general de la transmisión y la recepción en un modulador digital FSK M-aria, que es utilizado en gran parte de los equipos de comunicaciones que manejan este tipo de modulación.



III.- CIRCUITO ELECTRÓNICO.

3.1.- DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO.

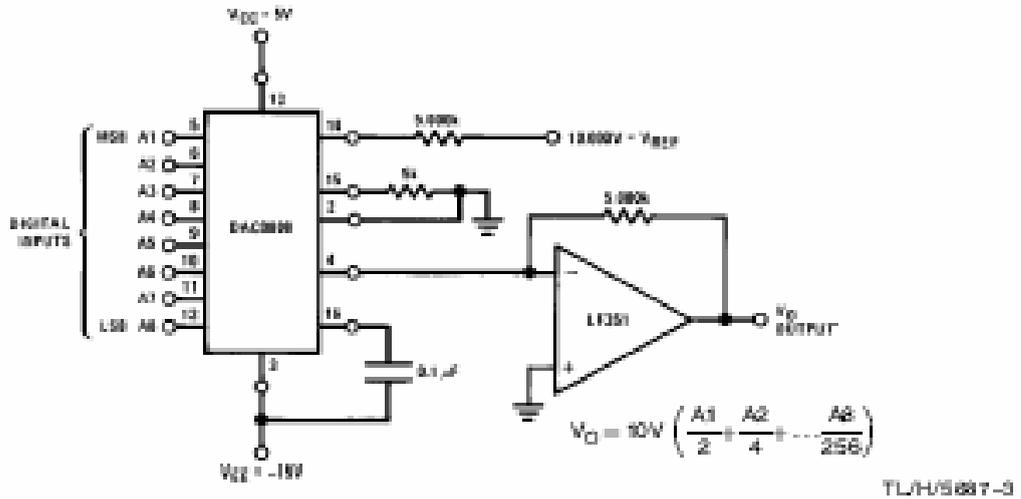
Para la primera etapa de la transmisión se utilizó un DAC 0808, que es un convertidor digital-analógico de 8 bits, alimentado por una onda cuadrada de 300Hz de frecuencia y una amplitud de 5 volts en el bit más significativo, los restantes bits fueron puestos a tierra. La señal la obtuvimos directamente del generador de ondas.

Para la segunda etapa de la transmisión se utilizó un XR-2206 que es un VCO (voltaje controlled oscillator) en este VCO la frecuencia de oscilación varía linealmente en función del voltaje de control y también genera la modulación FSK a la salida.

La conexión entre estos dos chips es la siguiente:

En la etapa de recuperación de la señal se utilizarán filtros pasabanda llamados decodificador de tonos LM567, estos filtros son alimentados por la señal modulada que proviene del VCO, al ser filtrada esta señal se pasará por un convertidor analógico-digital para la recuperación de la señal original.

El siguiente circuito muestra el convertidor digital-analógico



A continuación tenemos el circuito del VCO que es el que realiza la modulación FSK.

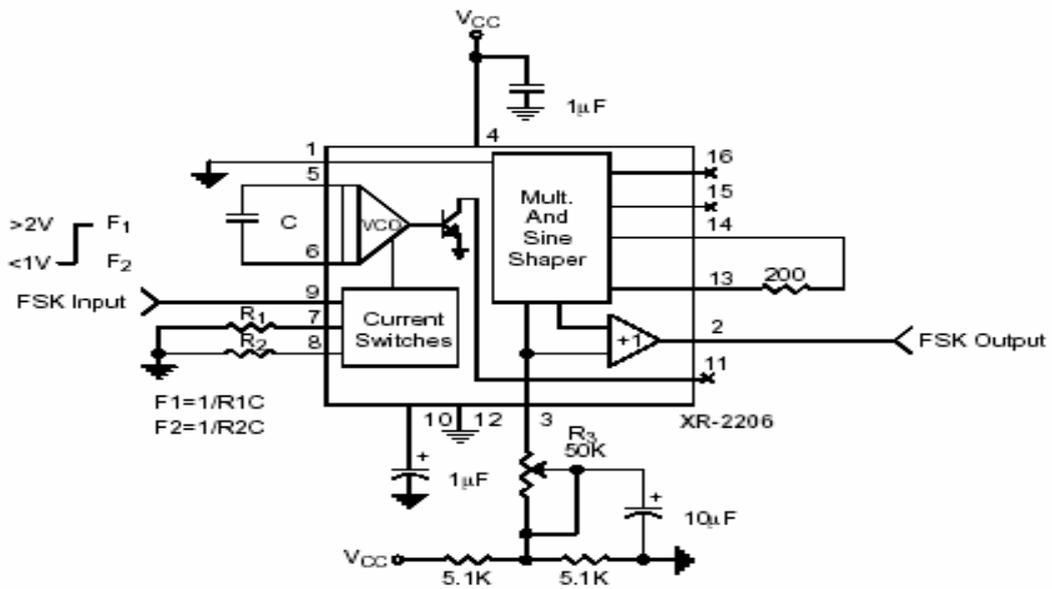


Figure 13. Sinusoidal FSK Generator

3.2.- PRUEBAS DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO.

Una vez armados los circuitos del DAC0808 y del XR-2206 como se muestran en las figuras anteriores se realizaron las siguientes pruebas.

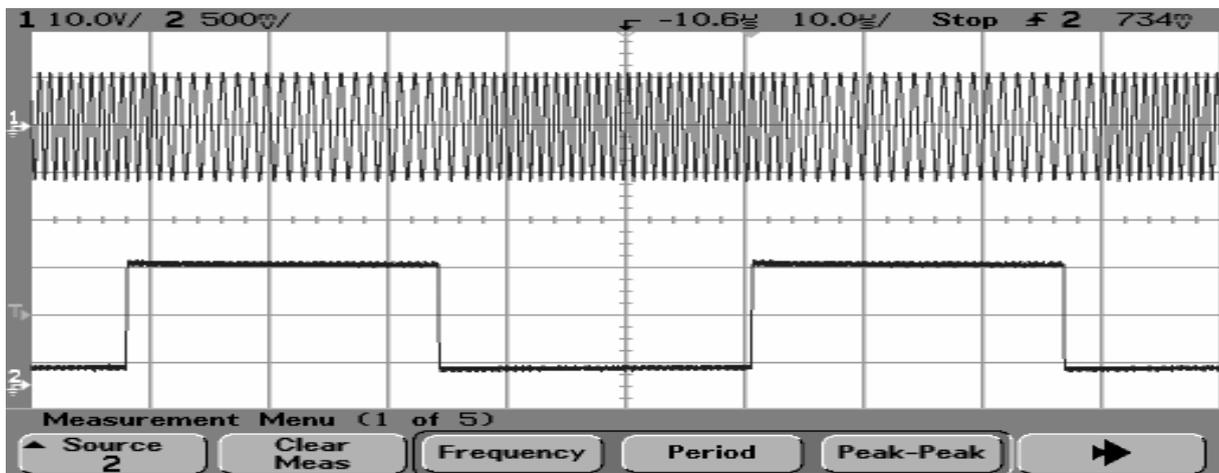
1.-Se conecto la salida del DAC-0808 (línea 4) a la entrada del amplificador operacional LF 351.

2.-Se conecto la salida del amplificador operacional LF 351 (línea 6) a la entrada del VCO XR 2206 (línea 2)

3.-Se alimento el DAC-0808 con una señal TTL de 300 Hz de frecuencia en la línea 5 que pertenece al bit más significativo, los restantes 7 bits fueron puestos a tierra.

4.- Se realizo la prueba estática alimentando con 5 volts el bit mas significativo y los restantes 7 bits fueron puestos a tierra, se obtuvo una señal distorsionada la cual no pude interpretar.

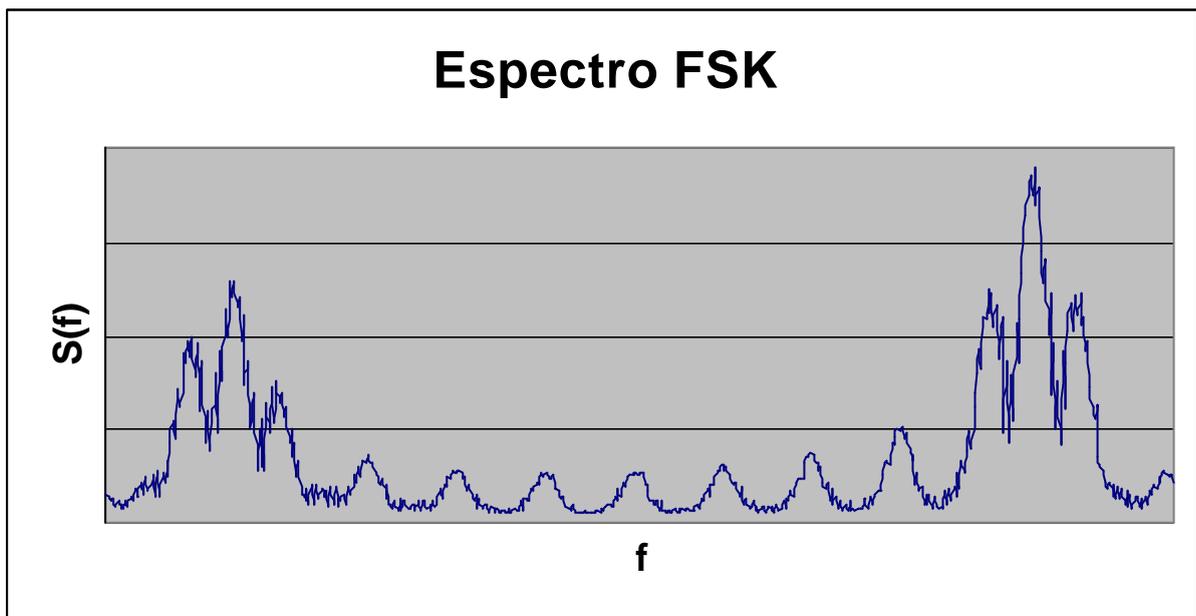
5.- A la salida del XR-2206 (línea 2) se obtuvo la modulación FSK que oscilaba entre 1 y 2 KHz de frecuencia, como se muestra en la siguiente grafica que obtuvimos del osciloscopio.



6.- Para poder visualizar correctamente las frecuencias que representan los símbolos se tuvo que variar la frecuencia del mensaje, que fue entre 500Hz Y 1KHz, donde el 1 (uno) corresponde a la sinusoidal de mayor frecuencia y el 0 (cero) a la sinusoidal de menor frecuencia.

7.- Se alimentaron los dos bits más significativos (líneas 5 y 6) con una señal TTL de 300 Hz de frecuencia obteniendo a la salida una señal distorsionada, por lo que solo se realizó la prueba tomando solo el bit más significativo.

8.-El siguiente paso dentro de las pruebas fue observar el espectro de la señal modulada. La gráfica obtenida es la siguiente.



El ancho de banda de esta señal es bastante grande pero que tuvimos que hacerlo así para poder visualizar las frecuencias que representan a los símbolos transmitidos.

9.- Electrónicamente la modulación FSK M-aria es sencilla, aunque hay que pagar el precio en el ancho de banda, al modular con esta técnica se tienen que tomar en cuenta dos aspectos:

- a) Si se toman frecuencias muy cercanas para representar a los símbolos se reduce el ancho de banda, pero se toma el riesgo de que los espectros se traslapen y su detección sea complicada.

- b) Si se toman frecuencias muy alejadas la detección será sencilla, aunque el ancho de banda se incrementará y esta variante en la transmisión de información es decisiva.

VI.- CONCLUSIONES.

El desarrollo de nuevas modulaciones digitales está dirigido a la optimización de los recursos que actualmente se tienen en el campo de las comunicaciones, y por supuesto a la agilización de la transmisión de los datos.

Las pruebas realizadas a la primera parte del proyecto demuestran que se pudo transmitir exitosamente una señal digital con la técnica de modulación FSK M-aria, por lo que puedo concluir que los resultados fueron los esperados.

Es importante mencionar que en este proyecto he puesto en práctica todos los conocimientos adquiridos a lo largo de mi estancia en la universidad, en especial todo lo relacionado a el área de comunicaciones, ya que, las técnicas de modulación analógica y digital son utilizadas a diario en todos los campos de la comunicaron, y gracias a ella tenemos a nuestro alcance medios como lo son la radio, la televisión, el Internet, etc.

V.-BIBLIOGRAFIA

Carlson, A. Bruce. **“COMMUNICATIONS SYSTEMS; AN INTRODUCTION TO SIGNALS AND NOISE IN ELECTRICAL COMMUNICATION”**, Segunda Edición, Ed. Mc Graw-hill, México 1975.

Haykin, Simon S. **“DIGITAL COMMUNICATIONS”**, Tercera Edición, Ed. J. Wiley, New York 1988.

Stremmer, Ferrel. **“SISTEMAS DE COMUNICACIÓN”**, Segunda Edición, Ed. Fondo educativo interamericano, México 1985.

Lathi, Bhagwanclas, **“SISTEMAS DE COMUNICACIÓN”**, Segunda Edición, Ed. Nueva editorial mexicana, México 1986.