

# Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Córdoba

## TP N°5 Moduladores

Alassia Francisco 60861, Lamas Matías 65536, Navarro Facundo 63809, Veron Misael 62628, Amaya Matías 68284

2019

### ***I- Introducción.***

Las señales de transmisión se transportan entre un transmisor y un receptor a través de alguna forma de medio de transmisión. Sin embargo, casi nunca tienen las señales de información una forma adecuada para su transmisión. En consecuencia, se deben transformar a una forma más conveniente. El proceso de imprimir señales de información de baja frecuencia en una señal portadora de alta frecuencia se llama modulación. Un modulador puede definirse como un elemento que modifica las características de una señal (generalmente amplitud, frecuencia o fase) en función de las características de otra. La primera señal mencionada es la portadora mientras que la segunda se conoce como moduladora o banda base y es la información que se desea transmitir por medio de un canal, por lo que como resultado el modulador presentará en su salida una señal que se denomina onda modulada. La modulación forma parte del proceso de transmisión, se emplea un modulador el cual permite trasladar la información presente en la banda base hacia frecuencias mayores dadas por la señal portadora. Se modula porque los medios elegidos para llevar a cabo la comunicación se comportan de manera tal que la transmisión de información en forma de ondas electromagnéticas a estas frecuencias son más realizables que a frecuencias bajas. En el lado del receptor debe realizarse el proceso inverso, es decir, la obtención de la banda base a partir de la señal modulada. Para realizar esta tarea se utilizan demoduladores.

### ***II- Desarrollo***

En el presente trabajo se desarrollan dos modulaciones de los tipos analógica/análogica y analógica/digital. Se presentan los circuitos/esquemas, principio de funcionamiento, desarrollo de las ecuaciones fundamentales, mediciones y/o simulaciones según corresponda

### ***III- Modulación de amplitud (AM).***

La modulación de amplitud es el proceso de cambiar la amplitud de una señal portadora de frecuencia relativamente alta, en proporción con el valor instantáneo de la señal modulante o moduladora (información). La modulación de amplitud es una forma de modulación relativamente poco costosa y de baja calidad, que se usa para emisiones comerciales de señales de audio y de video. Los moduladores de AM son dispositivos no lineales, con dos entradas y una salida. Una entrada es una sola señal portadora de alta frecuencia y amplitud constante, y la segunda está formada por señales de información, de frecuencia relativamente baja, que puede tener una sola frecuencia, o ser una forma compleja de onda, formada a su vez por muchas frecuencias. Las frecuencias que son lo suficientemente altas como para irradiarse en forma eficiente de una antena, y propagarse por el espacio libre se suelen llamar radiofrecuencias, o simplemente RF. En el modulador, la información actúa sobre, o modula, la portadora de RF y produce una forma modulada de onda. La señal de información puede tener una sola frecuencia, o con más probabilidad, puede consistir en un intervalo de frecuencias. Por ejemplo, en un

sistema normal de comunicaciones de voz se usa un intervalo de frecuencias de información de 300 a 3000 Hz. A la forma de onda modulada de salida de un modulador de AM se le llama con frecuencia envolvente de AM.

En la siguiente tabla se resumen los principales tipos de modulación analógicos y digitales. Aunque podemos considerar fácilmente una señal digital se reduce a un caso particular de la señal analógica. Las modulaciones analógicas y modulaciones digitales son tratadas de manera diferente. En los sistemas analógicos estamos interesados en la relación señal a ruido de la señal y (t), y en las modulaciones digitales nos fijamos en la tasa de errores de bits para la señal y (t).

Portadora $v(t) = A \cos(\omega t + \phi)$	Modulaciones analógicas	Modulaciones digitales
$A$ =Amplitud	DSB, DSB-WC or DSB AM DSB-SC DSB-RC SSB, or SSB-AM SSB-WC SSB-SC VSB, or VSB-AM QAM	ASK M-QAM
$\omega$ =frecuencia	FM	FSK CPFSK MSK GMSK
$\phi$ =fase	PM	PSK DPSK

### III-A. La envolvente de AM

Aunque hay varias clases de modulación de amplitud, la que probablemente se usa con más frecuencia es la AM de portadora de máxima potencia y doble banda lateral (DSBFC, por double sideband full carrier). A este sistema se le llama también AM convencional o simplemente AM. La fig. (1) ilustra la relación entre la portadora, la señal moduladora y la onda modulada en la AM convencional. Allí se ve cómo se produce una forma de onda de AM cuando una señal moduladora de una sola frecuencia actúa sobre una señal portadora de alta frecuencia. La forma de onda de salida contiene todas las frecuencias que forman la señal de AM, y se usa para transportar la información por el sistema. Por consiguiente, la forma de la onda modulada se llama envolvente de AM. Nótese que cuando no hay señal modulante, la forma de onda de salida no es más que la señal de la portadora. Sin embargo, cuando se aplica una señal moduladora, varía la

amplitud de la onda de salida, de acuerdo con la señal moduladora y que la frecuencia de repetición de la envolvente es igual a la frecuencia de la señal moduladora, y que la forma de la envolvente es idéntica a la forma de la señal moduladora.

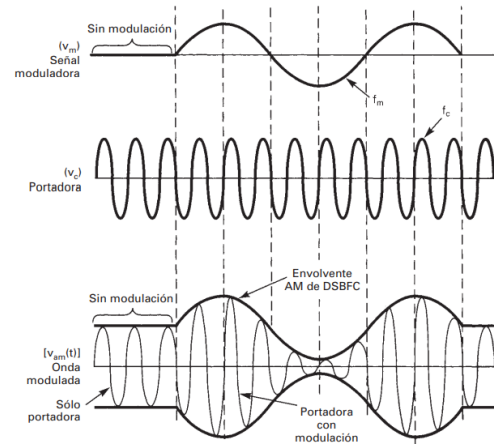


FIGURA (1). Generación AM

### III-B. Espectro de frecuencias y ancho de banda de AM

Un modulador de AM es un dispositivo no lineal. En consecuencia, hay mezclado no lineal, y la envolvente de salida es una onda compleja formada por un voltaje de cd, la frecuencia de la portadora y la suma ( $f_c + f_m$ ) y diferencia ( $f_c - f_m$ ) de las frecuencias, es decir, los productos cruzados. Las frecuencias de suma y diferencia están desplazadas respecto a la frecuencia de la portadora una cantidad igual a la frecuencia de la señal moduladora. Por consiguiente, un espectro de señal de AM contiene los componentes de frecuencia apartados  $f_m$  Hz a ambos lados de la portadora. Sin embargo, se debe hacer notar que la onda modulada no contiene un componente de frecuencia que sea igual a la de la señal moduladora. El efecto de la modulación es trasladar la señal moduladora en el dominio de la frecuencia, de modo que se refleje simétricamente respecto a la frecuencia de la portadora. La fig. (2) muestra el espectro de frecuencias para una onda de AM. Este espectro se extiende desde  $f_c - f_m(\text{máx})$  hasta  $f_c + f_m(\text{máx})$ , siendo  $f_c$  la frecuencia de la portadora y  $f_m(\text{máx})$  la frecuencia máxima de la señal moduladora. La banda de frecuencias entre  $f_c - f_m(\text{máx})$  y  $f_c$  se llama banda lateral inferior (LSB, de lower sideband) y toda frecuencia dentro

Diagrama de un espectro de modulación en AM. El eje vertical es Amplitud y el eje horizontal es Frecuencia. Se muestra una portadora central (Portadora) y dos bandas laterales (Banda lateral inferior y Banda lateral superior). Las frecuencias de los lados inferior y superior están etiquetadas como  $f_c - f_m(\text{máx})$  y  $f_c + f_m(\text{máx})$  respectivamente.

### III-C. Modulación DSB

$$m(t) = B \cos \omega_1 t$$

$$n(t) = A \cos \omega t$$

$$v(t) = (A + B \cos \omega_1 t) \cos \omega t$$

$$v(t) = A(1 + m_A \cos \omega_1 t) \cos \omega t$$

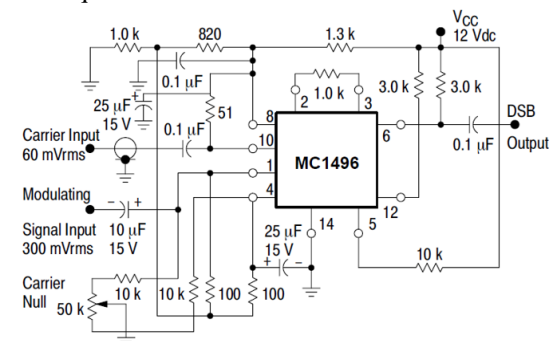
$$m_A = \frac{B}{A}$$
$$v(t) = A \cos \omega t + A \frac{m_A}{2} \cos(\omega + \omega_1)t + A \frac{m_A}{2} \cos(\omega - \omega_1)t$$
$$v(t)_{\min} = D = A - B$$

$$v(t)_{\max} = C = A + B$$

$$m_A = \frac{C - D}{C + D}$$

Cuando  $B=A$ ,  $m_A = 1$ , la modulación es máxima.

Para la modulación en amplitud se utilizó el circuito integrado MC 1496, el cual es un modulador balanceado. Esto significa que puede ser usado como modulador de AM convencional, y como modulador de AM con portadora suprimida. El circuito implementado es el propuesto por el fabricante que se muestra a continuación.



Se aplicó una portadora de 100 KHz, dentro del rango AM comercial 520 KHz - 1600 KHz, con una señal modulante de 10 KHz. La supresión de la señal portadora se obtiene mediante el ajuste del potenciómetro Carrier Null.

A continuación se adjuntan las imágenes obtenidas de las simulaciones de la señal modulada en amplitud en el dominio del tiempo y de la frecuencia realizada en ORCAD Pspice.

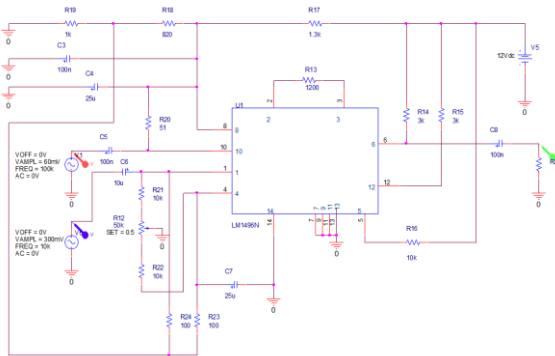


FIGURA (3) Circuito esquemático

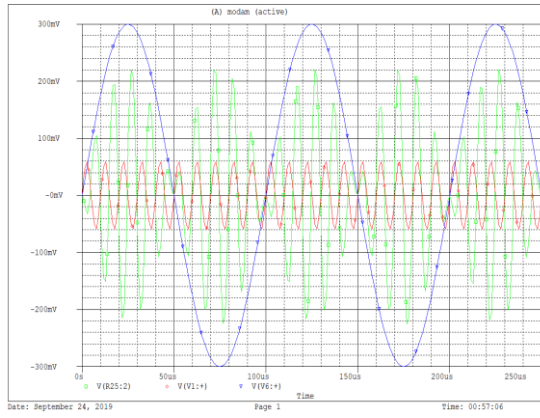


FIGURA (4) Simulación dominio de tiempo.

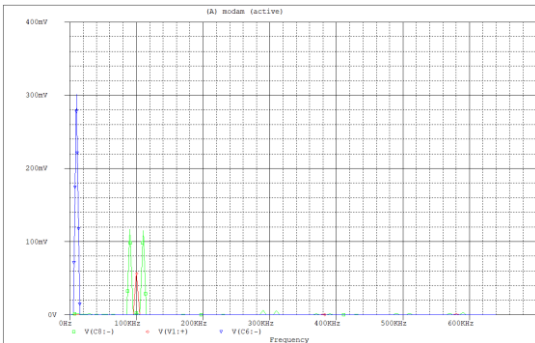


FIGURA (5) Simulación FFT.

#### IV-Modulación de frecuencia (FM)

En este tipo de modulación la frecuencia de la portadora varía en función de la señal moduladora, esta técnica es una forma de modulación angular debido a que el argumento (ángulo o fase)  $\theta(t)$  de la señal portadora está en función de la moduladora  $x(t)$ :

$$\phi_{FM} = A_C \cos(\theta(t))$$

$$\theta(t) = \omega_C t + f(x(t))$$

En este caso  $A_C$  es una constante. Resulta útil recordar que la frecuencia de la portadora  $\omega(t)$  es la derivada de la fase ( $\omega(t) = d\theta(t)/dt$ ). Existen una gran cantidad de formas de hacer variar la frecuencia en función de la señal  $x(t)$ , pero pueden diferenciarse dos formas principales de producir la señal  $\phi_{FM}$ .

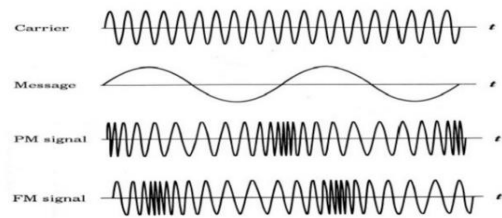
- Si la frecuencia depende linealmente de la señal moduladora se denomina FM directa. Es decir:

$$\omega(t) = \omega_C + k_f x(t) \Rightarrow \theta(t) = \omega_C t + k_f \int_0^t x(t') dt' + \theta_0$$

- Si la fase depende linealmente de la modulante se denomina FM indirecta o modulación de fase (PM), o sea:

$$\theta(t) = \omega_C t + k_p x(t) + \theta_0 \Rightarrow \omega(t) = \omega_C + k_p \frac{dx(t)}{dt}$$

Donde  $k_f$ ,  $k_p$ ,  $\theta_0$  son constantes. Como puede verse hay una estrecha relación entre las modulaciones de frecuencia y fase. En el primer caso la frecuencia varía de forma lineal con la moduladora y la fase cambia con la integral de la modulante. En el segundo caso la frecuencia varía con la derivada de la banda base, esto quiere decir que se puede obtener la  $\phi_{FM}$  si se integra  $x(t)$  y luego se modula en fase una portadora senoidal, de este procedimiento surge el término “indirecto”. En la figura 6 puede apreciarse estas relaciones para una banda base senoidal. En la misma se aprecia que las ondas de FM y PM en principio tienen la misma forma pero desplazada en el tiempo, esta característica viene dada por la relación (de integral o derivada) entre ambas.

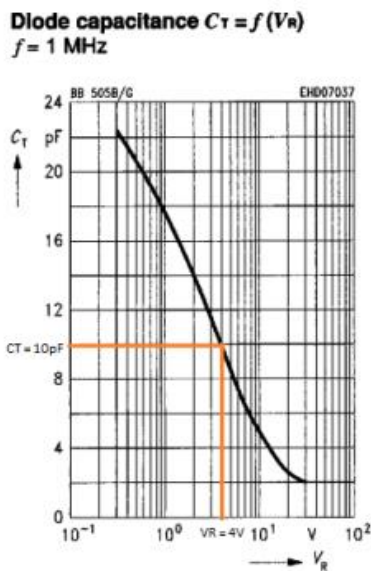


FIGURA(6) Modulación FM

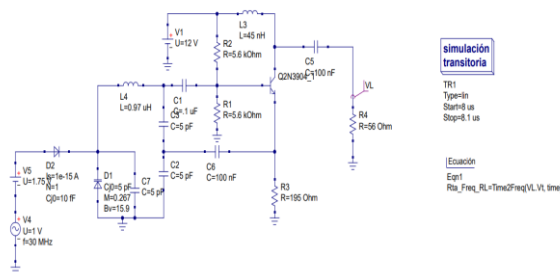
#### IV-A. Circuito Modulador

Para la implementación se eligió un circuito que realiza la modulación directa de frecuencia evitando el uso de circuitos integradores. El esquema circuital se muestra en la figura 7 donde se utiliza

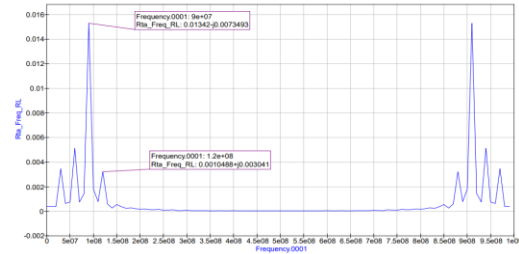
un diodo varicap BB505, el cual responde a una variación de capacitad tal como se muestra en la siguiente figura.



FIGURA(7) Variación de capacidad BB505  
Este sirve para variar la frecuencia de oscilación de acuerdo a la tensión que se introduzca a bornes del mismo.  
A continuación se emplea el software de simulación QUCS para observar el comportamiento de las diferentes partes del modulador y realizar los cambios que sean necesarios para implementar el circuito.



FIGURA(8) Circuito esquemático (FM)



FIGURA(9) Espectro en frecuencias

## V-Simulación de modulaciones digitales

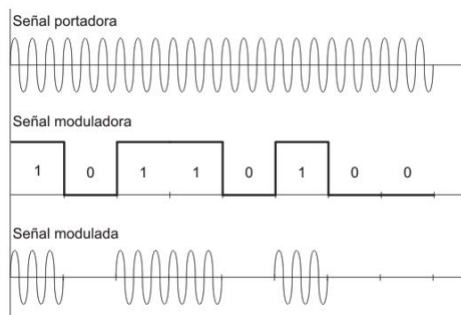
En esta etapa del trabajo practico se dispone del simulador QUCS para ensayar diferentes sistemas de modulación/demodulación (MODEM).

### V-A. Amplitude Shift Keying (ASK)

La modulación por desplazamiento de amplitud está contenida en el conjunto de técnicas de modulación donde la portadora es analógica y la banda base es digital. Básicamente la modulación se logra asignando un nivel de amplitud en Voltios a los estados lógicos 0 y 1 o a un conjunto de estos (agrupando M bits se obtiene la técnica multinivel M-ASK). En el presente practico se asignan las amplitudes 0V y 1V para los estados 0 y 1 respectivamente, en particular este tipo de modulación se denomina on-off keying, OOK. Matemáticamente la señal modulada  $\phi_{ASK}$  puede expresarse como:

$$\phi_{ASK} = \begin{cases} \sin(\omega t) & \text{si } x(t) = 1 \\ 0 & \text{si } x(t) = 0 \end{cases}$$

donde  $x(t)$  es la banda base. El esquema del sistema de modulación/demodulación se muestra en la figura (9) con sus respectivas formas de ondas. Claramente se observa la presencia de la portadora cuando en la banda base hay un 1 y no hay señal cuando la banda base presenta un 0.

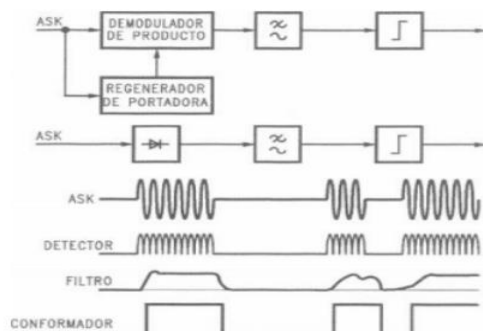


FIGURA(10) Modulacion ASK

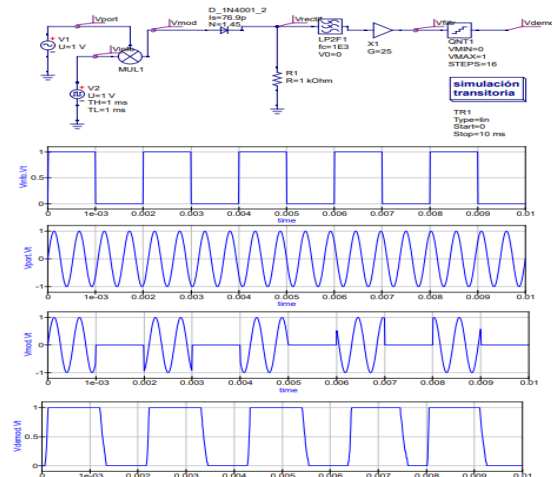
El modulador se compone de los generadores de portadora y banda base, para obtener la señal de ASK se multiplican directamente empleando un circuito apropiado, en el esquema se emplea el símbolo de multiplicador analógico, en la práctica a partir de este punto se emplean amplificadores para aumentar la potencia de la señal y circuitos de adaptación para realizar la conexión apropiadas entre etapas y hacia la antena.

La demodulación se realiza de forma sincrónica (por reinyección de portadora), es decir se multiplica la señal de ASK por un tono de igual frecuencia y fase que la portadora. Para lograr esto se usan circuitos de recuperación de portadora empleando PLL o circuitos similares.

La demodulación de la señal, puede ser coherente o no coherente. La demodulación coherente puede resultar más complejo su diseño, pero tiene mejores características contra los efectos del ruido, un demodulador de producto multiplica la señal ASK por la portadora generada localmente. En el segundo caso, la envolvente de la señal ASK se detecta a través de un diodo. En ambos casos el detector sigue un filtro pasa bajos que elimina las componentes residuales de la portadora.



FIGURA(11) Demodulación ASK

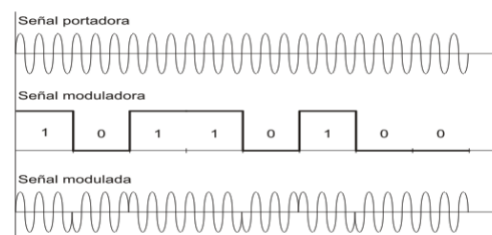


FIGURA(12) Simulaciones ASK

## VI-Modulación PSK (PHASE SHIFT KEYING)

La modulación PSK, desplazamiento de fase, al igual que en ASK, es una técnica de modulación donde la señal moduladora es digital. Existen dos tipos de modulación PSK:

- \*Convencional. Se tienen en cuenta los desplazamientos de fase.
- \*Diferencial. Se consideran las transiciones de fase.



FIGURA(13) Modulación PSK

El valor de la señal moduladora está dado por:

$$V_m(t) = \begin{cases} 1 & \text{para "1" binario} \\ -1 & \text{para "0" binario} \end{cases}$$

La señal portadora es:

$$V_p(t) = V_p \cos(2\pi f_p t)$$

Esta técnica está caracterizada por:

$$V(t) = V_p(t) V_m(t)$$

Es decir,

$$V(t) = V_p V_m \cos(2\pi f_p t)$$

Para  $V_m = 1$

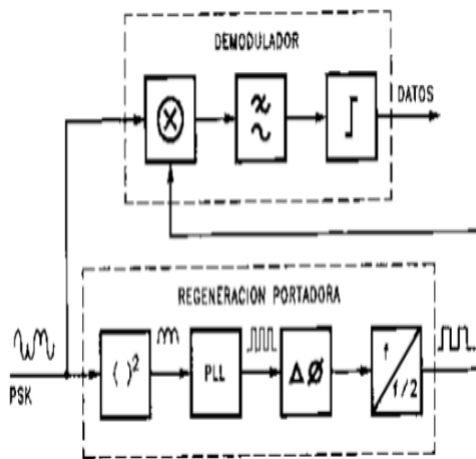
$$V(t) = V_p \cos(2\pi f_p t)$$

Luego para  $V_m = -1$

$$V(t) = -V_p \cos(2\pi f_p t) = V_p \cos(2\pi f_p t + \pi)$$

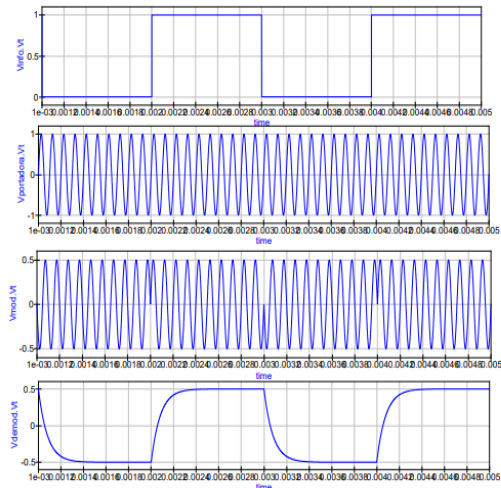
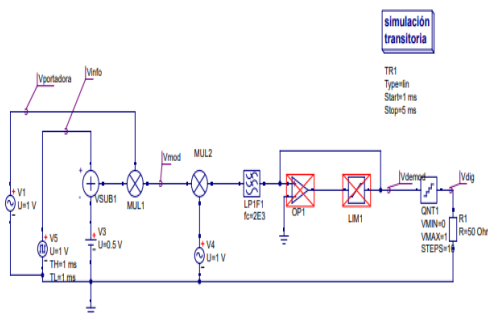


Observando las dos últimas expresiones existe una diferencia de fase de  $180^\circ$ , la señal varía entre dos fases, es por esto que se denomina 2PSK. Para la modulación PSK convencional es necesario tener una portadora en el receptor para sincronización, o bien utilizar un código autosincronizante, es por esta razón que surge la necesidad de un sistema PSK diferencial. Lleva este nombre debido a que la información no está contenido en la fase absoluta, sino en las transiciones. La referencia de fase se toma en el intervalo inmediato anterior, con lo que el detector decodifica la información digital basándose en diferencias relativas de fase. La demodulación se lleva a cabo a través de un demodulador de producto, al cual llegan la señal PSK y una portadora regenerada localmente, la cual debe tener la misma frecuencia y fase que la señal utilizada en el transmisor, es decir que debe ser coherente con la señal recibida, y se extrae de la señal PSK.



FIGURA(14) Demodulación PSK

## VI-A. Simulaciones



FIGURA(15) Simulaciones PSK

## VII-Conclusiones

En este práctico profundizamos sobre los principios de la transmisión analógica, implementando circuitos de modulación tanto en AM como en FM y realizando la simulación de sistemas de comunicaciones digitales básicos. Al desarrollar la implementación, se comprendió mucho más acerca del modo de comportamiento, sobre todo cuando se varía el índice de modulación, y los efectos que tiene sobre la señal de salida.

Se entiende entonces la importancia de controlar el índice de modulación adecuadamente para una óptima comunicación entre dispositivos que empleen AM debido a que si el mismo supera la unidad se produce distorsión, evitando así la regeneración de la banda.

Referido al modulador de FM pudimos ver que es factible la implementación de un modulador en frecuencias con un diodo varicap, el cual al variar su capacidad conforme a la tensión aplicada en sus bornes y a las características de diseño, varía la capacidad de sintonización y es posible convertir un oscilador en un modulador. Luego comprobando los resultados de laboratorio y las simulaciones podemos observar alguna discrepancia entre estos que son propios de la implementación práctica.

Se diseñaron también dos moduladores digitales, ASK y PSK. En estos solo se realizaron las simulaciones. En la técnica de modulación ASK, tal

como se explicó en su sección y se ilustra en la figura 15, este caso es similar a la modulación en amplitud para señales analógicas, y el ancho de banda para esta modulación es mayor que el requerido para AM. Esta técnica es sensible a los cambios repentinos de ganancia. Por último podemos concluir que un sistema digital posee ciertas ventajas respecto a uno analógico, como ser mayor inmunidad al ruido, menor consumo energético y menor costo. Es por esto que se suele pensar en técnicas de modulación digital cuando se trata de trabajos con grandes cantidades de información.