

Trabajo opcional tema 3: modulación lineal

Alberto Mateos Checa

I. Telecomunicación

ÍNDICE DE CONTENIDOS:

1. Introducción.-	3
2. Diseño.-	3
<i>2.1. Sistema completo.-</i>	3
<i>2.1. Moduladores.-</i>	3
<i>2.2. Demoduladores.-</i>	5
3. Implementación.-	7
3.1. Elementos de simulación.-	7
<i>3.1.1. Señales de entrada.-</i>	7
3.2. Implementación en Matlab.-	9
4. Resultados.-	10
<i>4.1. Frecuencia portadora 1 mhz.-</i>	10
<i>4.2. Frecuencia portadora 100 khz.-</i>	35
5. Conclusiones.-	59
Bibliografía	59

1. INTRODUCCIÓN.-

Para la realización del estudio se van a transmitir señales senoidales, triple sinc y de pulsos moduladas mediante diferentes tipos de modulación lineal a través de un canal ruidoso. La modulaciones a realizar son DSB, SSB, AM y QAM. Para ello, se va a hacer uso de los códigos de ejemplo que se proporcionan. No obstante, el código utilizado para realizar la modulación SSB es propio ya que el código de Lathi es incorrecto.

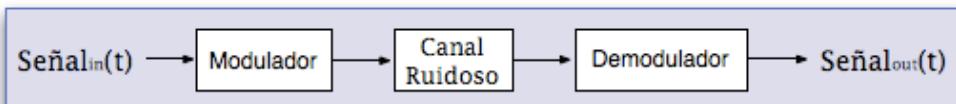
Por otro lado, el canal ruidoso se simula utilizando dos niveles de ruido diferentes, de forma que el canal proporciona dos SNRs: 0 dB y 20 dB.

Por último, se han utilizado dos amplitudes distintas para las señales mensaje (1 y 10) y dos frecuencias portadoras (100 kHz y 1 MHz).

2. DISEÑO.-

2.1. SISTEMA COMPLETO.-

Para la realización del estudio se utiliza el sistema que se muestra a continuación:

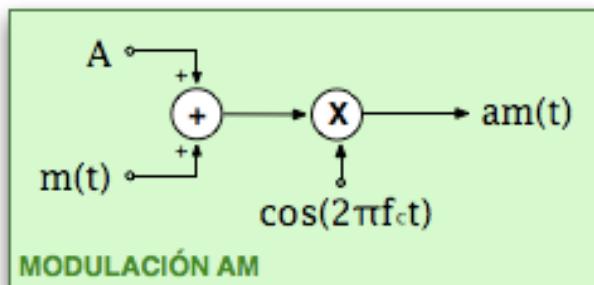


Como puede verse, las señales que se utilizan como entrada son moduladas. Posteriormente, se suma ruido blanco a la señal modulada como consecuencia de su paso por un canal ruidoso. Por último, las señales son demoduladas para poder visualizar el efecto del canal sobre la señal original.

2.1. MODULADORES..-

Para cada tipo de modulación se utiliza un esquema diferente. A continuación se muestran todos ellos:

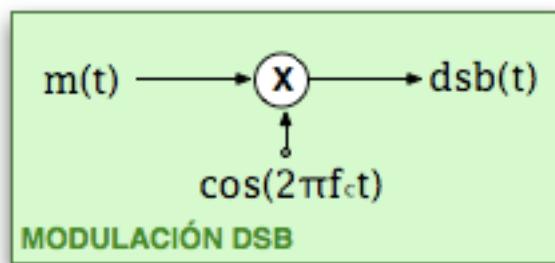
2.1.1. AM.-



El sistema utilizado es bastante simple, se suma la amplitud (A) de la portadora a la señal mensaje (m) y posteriormente se multiplica la señal resultante por un oscilador a la frecuencia de la portadora. En este caso hay que tener la precaución de tomar la amplitud de la portadora, A, de forma que sea mayor o igual que la amplitud de

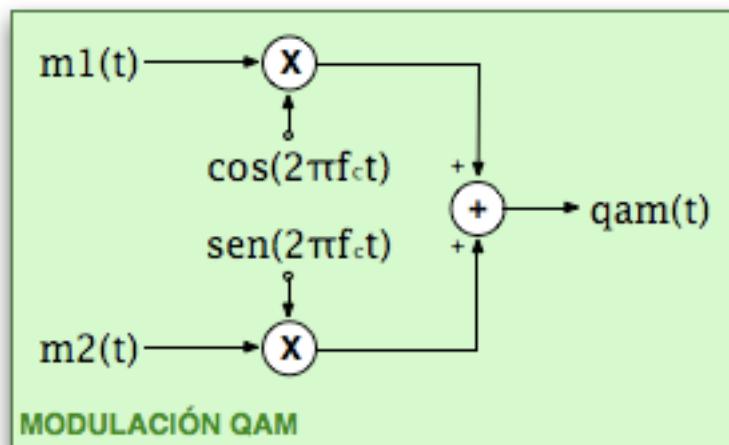
la señal mensaje. En el ejemplo implementado, el valor de la amplitud de la portadora se toma igual que la amplitud máxima de la señal mensaje.

2.1.2. DSB.-



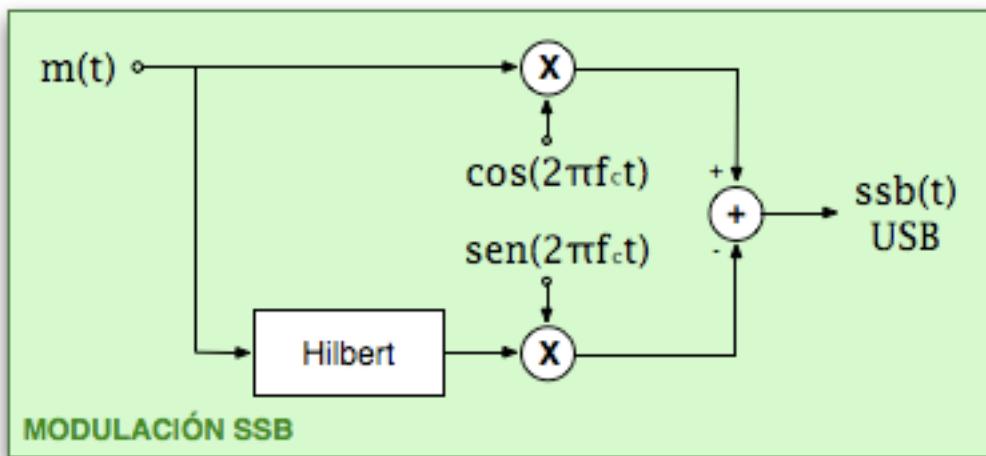
De nuevo el esquema utilizado es muy simple y consiste únicamente en multiplicar la señal mensaje por un oscilador sintonizado a la frecuencia de la portadora.

2.1.3. QAM.-



El esquema es similar al utilizado para DSB con la salvedad de que es capaz de unir en la señal modulada dos señales mensaje. De esta forma, las dos señales mensaje de entrada son multiplicadas por dos osciladores desfasados $\pi/2$ y sintonizados a la frecuencia portadora. Por último, se suman las señales resultantes para conformar la señal QAM.

2.1.4. SSB.-



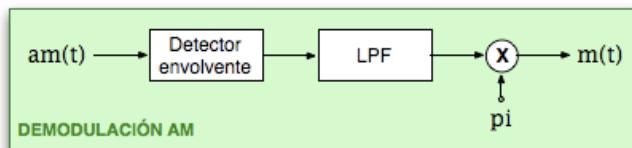
En esta ocasión, **el esquema utilizado es completamente diferente al propuesto por Lathi**. Como se puede ver en el esquema, se obtiene la modulación SSB-USB mediante el uso de la señal analítica. Hay que puntualizar que el comando Hilbert que proporciona Matlab proporciona la señal analítica y no la transformada de la señal.

Por tanto, la señal mensaje y su señal analítica son multiplicadas por osciladores sintonizados a la frecuencia de la portadora y desfasados $\pi/2$. Por último basta con restar o sumar ambas señales resultantes para obtener USB o LSB. En este caso, puesto que el comportamiento de los dos tipos de modulación SSB es similar, se ha optado por realizar únicamente la versión USB.

2.2. DEMODULADORES.-

Para cada tipo de modulación se utiliza un esquema diferente. A continuación se muestran todos ellos:

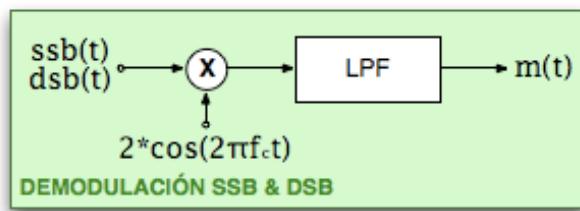
2.2.1. AM.-



El esquema utilizado para demodulación de señales AM comprende el uso de un detector de envolvente y un filtrado paso bajo. Además, se ha incluido un amplificador, de forma que se multiplica la amplitud de la señal en un factor **pi**. Este amplificador **no se incluye en el ejemplo de Lathi** y su inclusión se ve motivada por el hecho de que a la salida del detector se obtiene una atenuación de $1/\pi$.

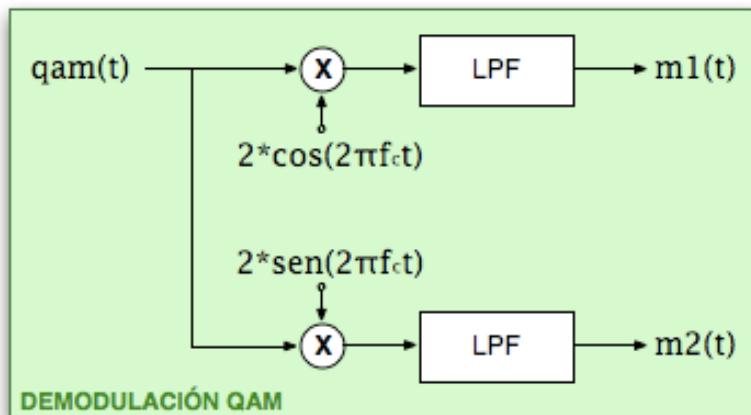
Como puede comprobarse, en el sistema para demodulación AM usado no interviene en ningún momento la señal portadora. Por tanto, el sistema es no-coherente.

2.2.2. DSB & SSB.-



En este caso, el esquema utilizado para la demodulación DSB es exactamente el mismo que el utilizado para SSB. Dicho sistema consiste en multiplicar las señales moduladas por la señal portadora y, posteriormente, realizar un filtrado paso bajo. Por tanto, a diferencia del demodulador AM, el sistema utilizado es coherente.

2.2.3. QAM.-



El esquema es similar al utilizado para DSB con la salvedad de que, puesto que la señal de entrada había sido modulada a partir de dos señales mensaje, a la salida se obtienen dos señales mensaje. Para ello, uno de los osciladores que multiplican a la señal modulada tiene un desfase de $\pi/2$ con respecto al otro.

3. IMPLEMENTACIÓN.-

Para la realización del estudio se han implementado los sistemas anteriores mediante el uso de Matlab. Para ello se ha hecho uso de algunas de las funciones propias de Matlab así como de algunas funciones propias desarrolladas en archivos del tipo m-file, siempre siguiendo el modelo presentado anteriormente.

3.1. ELEMENTOS DE SIMULACIÓN.-

A continuación se van a detallar los principales elementos que intervienen en la simulación.

3.1.1. SEÑALES DE ENTRADA.-

El programa desarrollado contempla seis señales diferentes a transmitir a través del canal. La generación de todas las señales se produce mediante la llamada a la función **generacion.m**. Las formas de onda utilizadas son tres: senoidal, pulsos y triple sinc. La última de ellas, es una suma de tres señales sinc y supone una señal limitada paso baja, tal y como se apunta en los ejemplos de Lathi. Las señales senoidales y de pulsos tienen una frecuencia de 100 Hz.

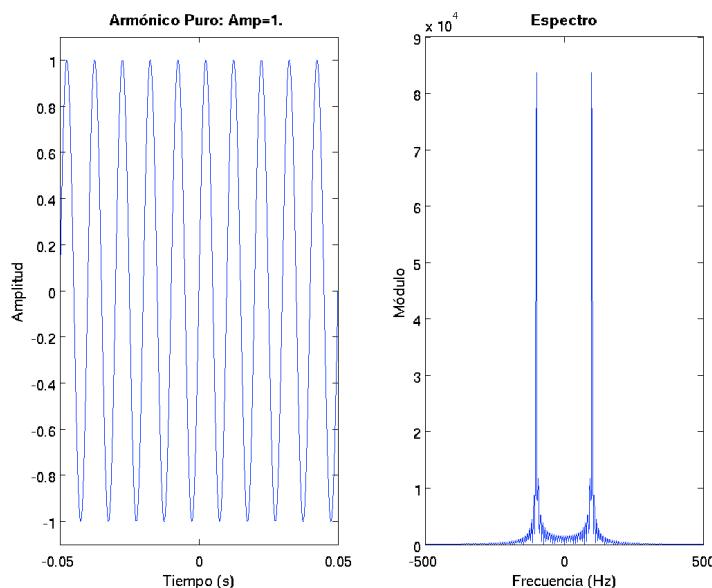
Por otro lado, se han utilizado dos niveles de amplitud diferentes para cada una de las señales. Estos niveles son 1 y 10.

Por último, es importante resaltar que, debido a que Matlab trata las señales de forma digital, para obtener unas formas de onda que sean cercanas a las de una señal analógica, la frecuencia de muestreo debe ser muy alta. En este caso se ha elegido una frecuencia de muestreo de 15 MHz. Es por ello que el tratamiento de dichas señales puede ser costoso computacionalmente.

Las señales de entrada al sistema analizadas son las siguientes (sólo se muestran las que tienen amplitud 1, puesto que las que tienen amplitud 10 son similares):

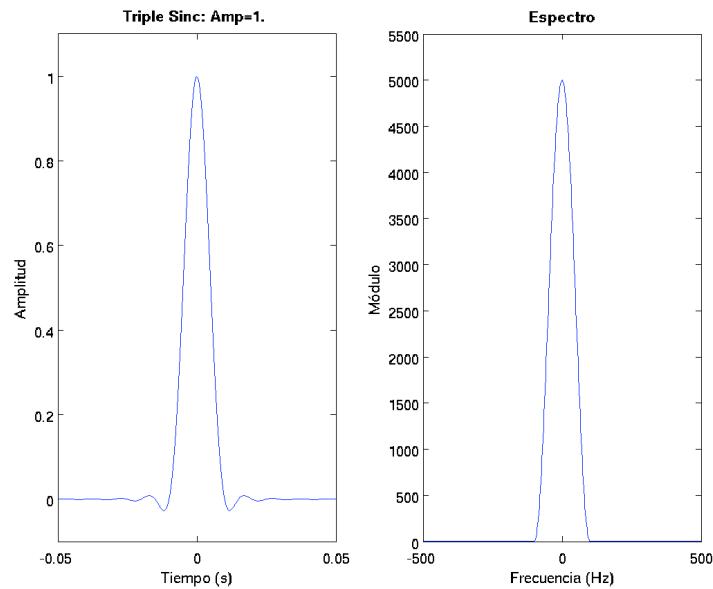
a. Armónico puro.

Se trata de una señal senoidal de frecuencia 100 Hz y desfase nulo. A continuación se muestran tanto su forma de onda como su espectro:



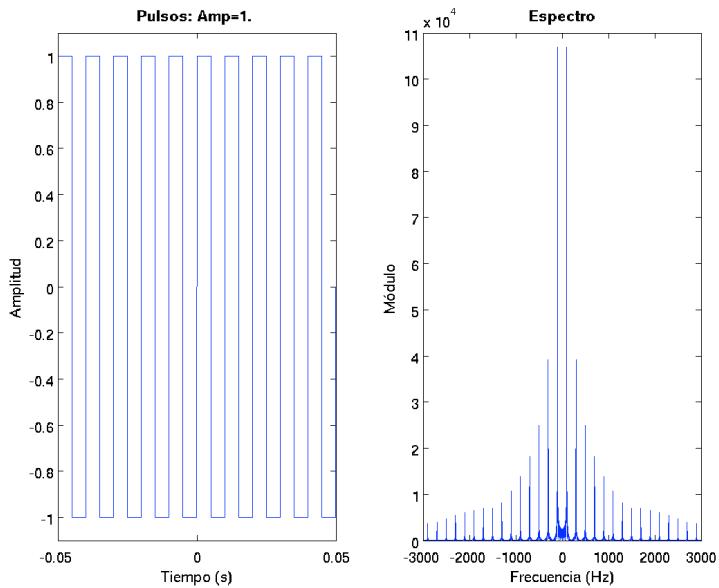
b. **Triple sinc.**

Se trata de una señal resultado de sumar tres señales sinc. A continuación se muestran tanto su forma de onda como su espectro:



c. **Pulsos.**

Se trata de una señal de pulsos cuadrados de frecuencia 100 Hz y desfase nulo. A continuación se muestran tanto su forma de onda como su espectro:



3.2. IMPLEMENTACIÓN EN MATLAB.-

La implementación de la simulación ha sido realizada mediante m-files. El archivo a ejecutar principal que realiza todas las operaciones es el **simulacion.m**, obteniéndose los resultados de la simulación en las matrices *signalsRecuperadasXXX*, donde XXX indica el tipo de modulación utilizada. A continuación se va a explicar qué operaciones realiza dicha m-file, que es el eje del programa desarrollado sin entrar en detalles del código (el código se adjunta claramente comentado).

Lo primero que se hace en este archivo es, tras declarar las variables de frecuencia de muestreo (*fs*), frecuencia de las señales (*fc*), frecuencia de las señales senoidales y de pulsos (*f*) y eje de tiempos (*t*), generar las señales que se van a utilizar como entrada del sistema. Para ello, se realiza una llamada a la función **generacion.m**. Esta función devuelve en la matriz *signals* las muestras de las señales por filas, es decir, cada fila de la matriz se corresponde con una señal.

Una vez que se han generado las señales, se definen los dos valores de SNR que proporciona el canal (0 y 20 dB).

Posteriormente se procede a la simulación de la transmisión a través del canal ruidoso de las señales moduladas con cada uno de los tipos de modulación que se expusieron anteriormente. Para cada tipo de modulación, la simulación se produce de forma similar.

La modulación de cada una de las señales se produce mediante la llamada a la función *modXXX*, donde XXX se corresponde con el tipo de modulación a utilizar. Dichas funciones *modXXX* han sido implementadas siguiendo los esquemas de modulación que se han mostrado anteriormente.

A continuación se lleva a cabo la simulación del canal. Para ello se hace uso de la función *canalRuidoso*, que no es más que una llamada a la función de Matlab *awgn*. AWGN simula el efecto de un canal ruidoso aditivo a partir de una SNR dada. Las señales resultado tras el paso por el canal son almacenadas en la matriz *signalsCanal*.

Por último, se realiza la demodulación de todas las señales que han pasado a través del canal mediante la llamada a la función *demodXXX*. El resultado se obtiene en la matriz *signalsRecuperadasXXX*.

4. RESULTADOS.-

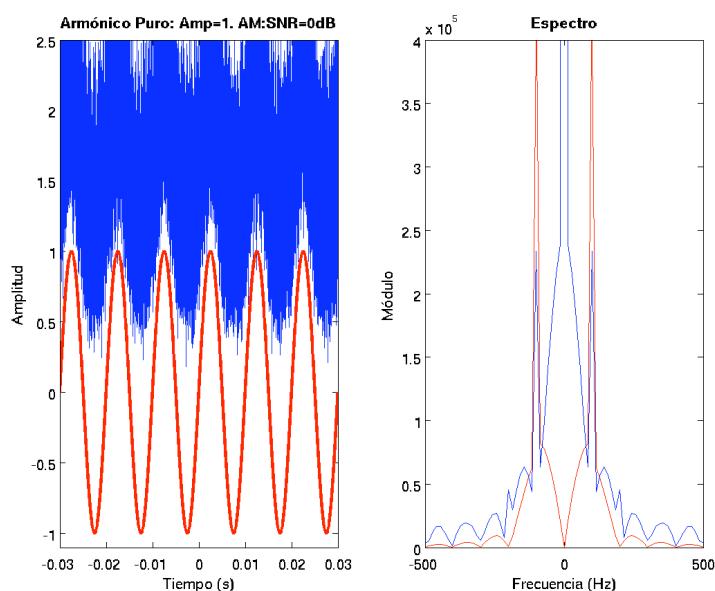
En este apartado se van a mostrar las formas de onda y espectros resultado de la transmisión de las señales a través del canal. Posteriormente, en el apartado de conclusiones se analizarán los resultados obtenidos.

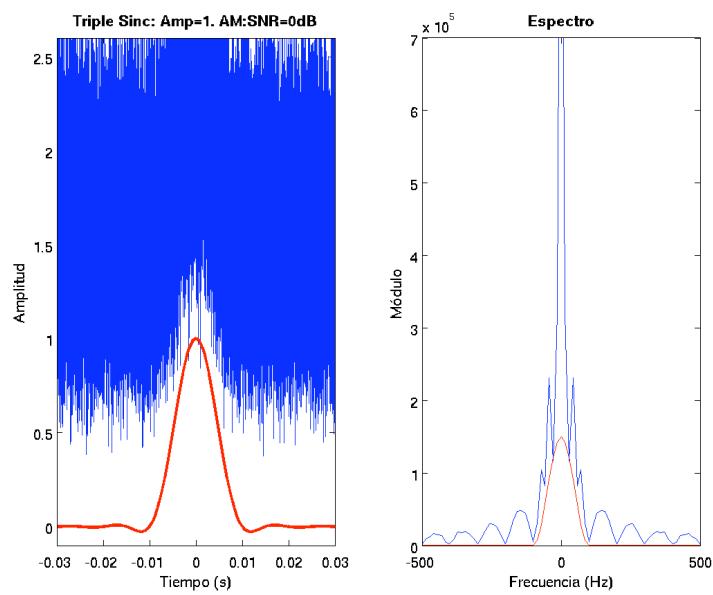
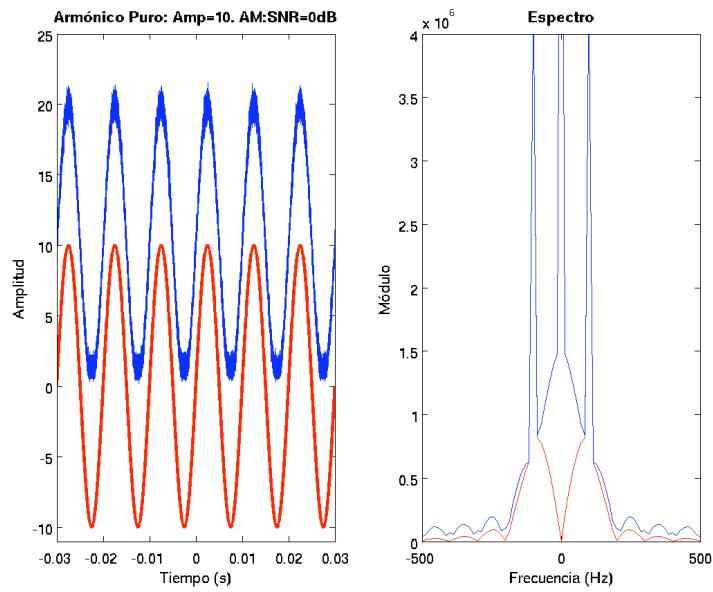
En todas las gráficas, las curvas en **azul** representan la señal obtenida a la salida del sistema, mientras que las curvas en **rojo** representan la señal original. Además, en el caso de QAM, se incluye una representación adicional en **verde** que hace referencia a la **segunda señal mensaje recuperada**. No obstante, las gráficas en azul y verde se superponen en este caso, puesto que las dos señales mensaje moduladas mediante QAM son la misma.

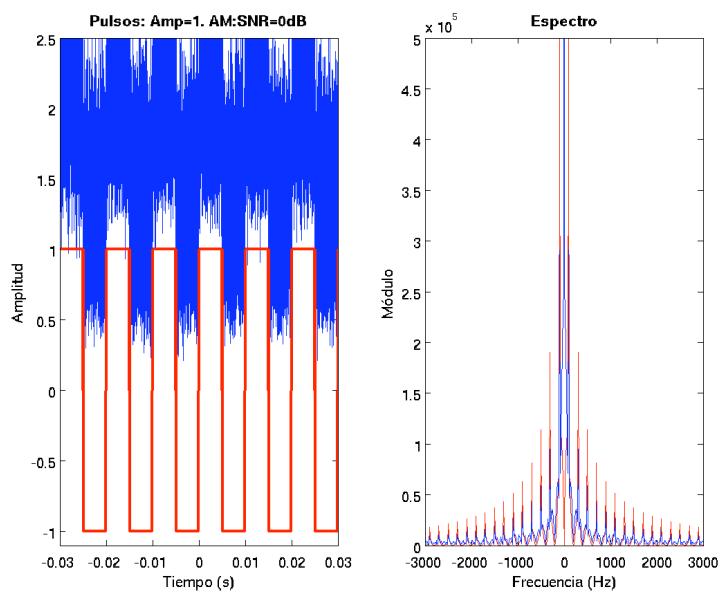
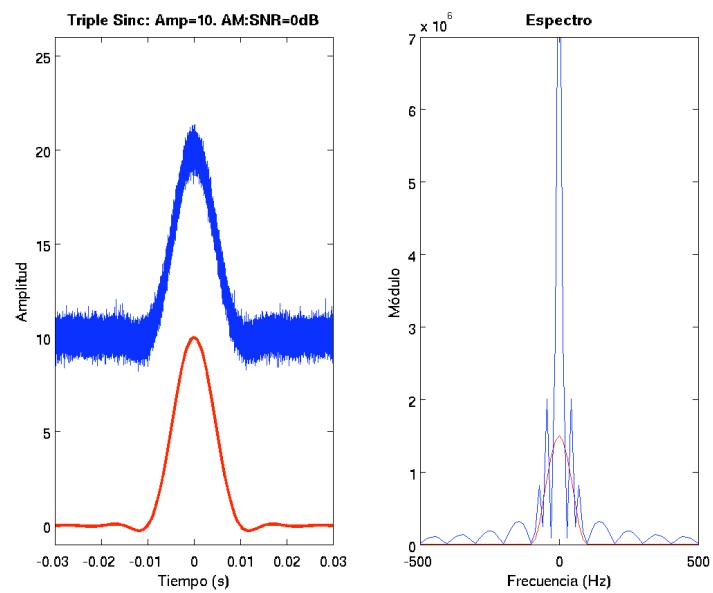
4.1. FRECUENCIA PORTADORA 1 MHZ.-

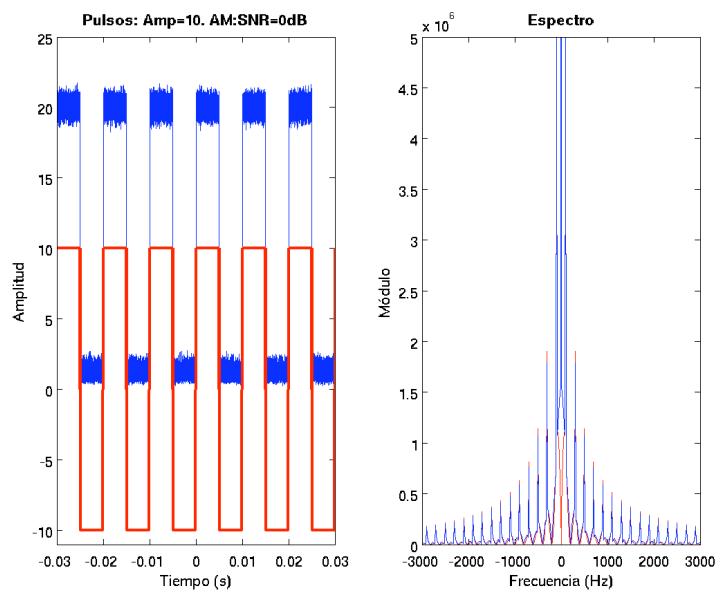
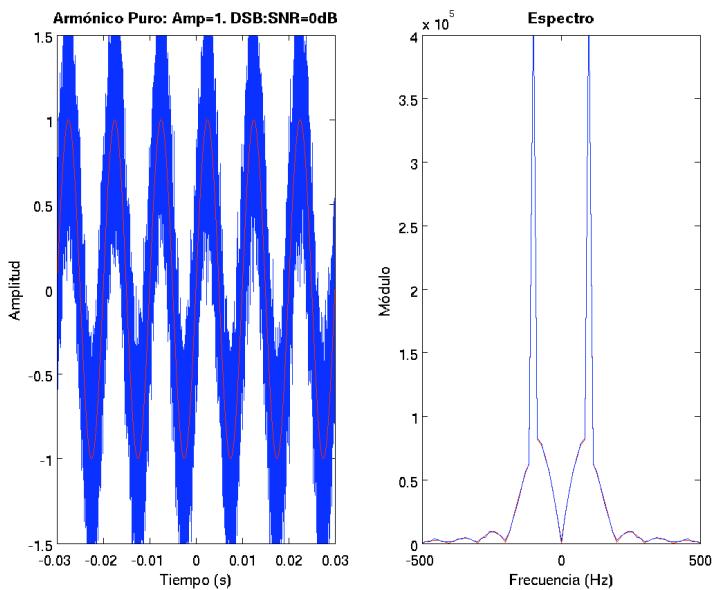
4.1.1. CANAL ALTO RUIDO (SNR 0 dB)

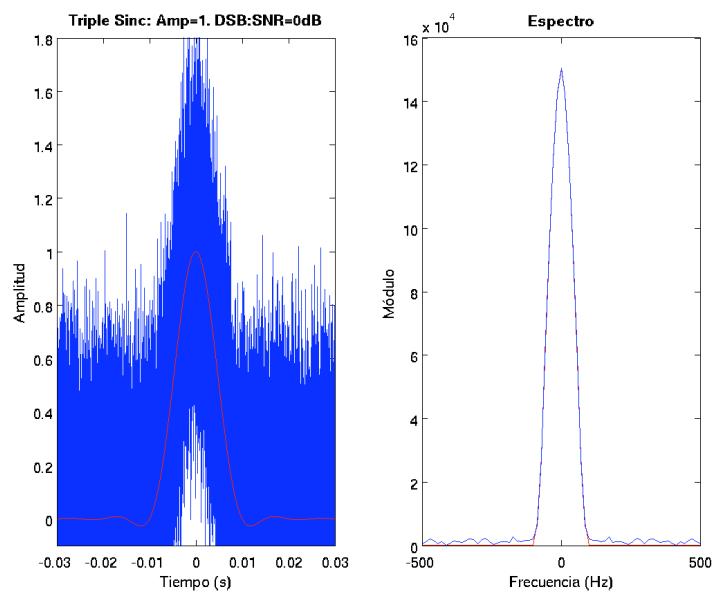
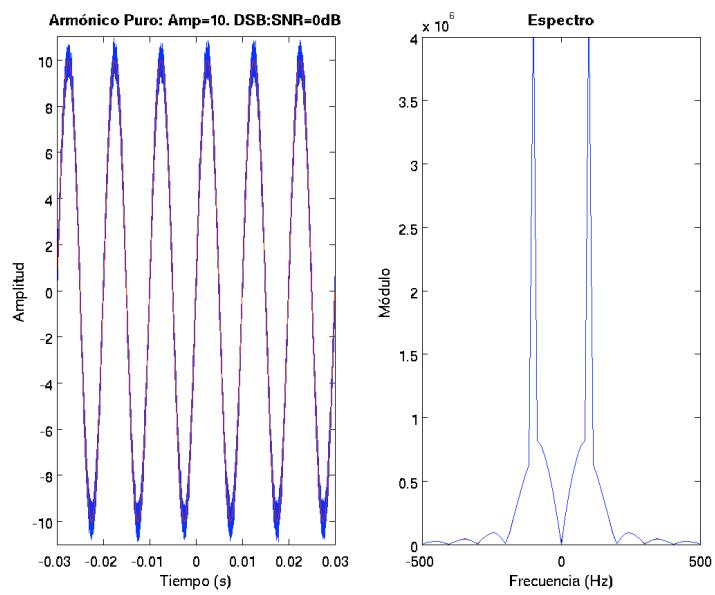
a. Modulación AM.

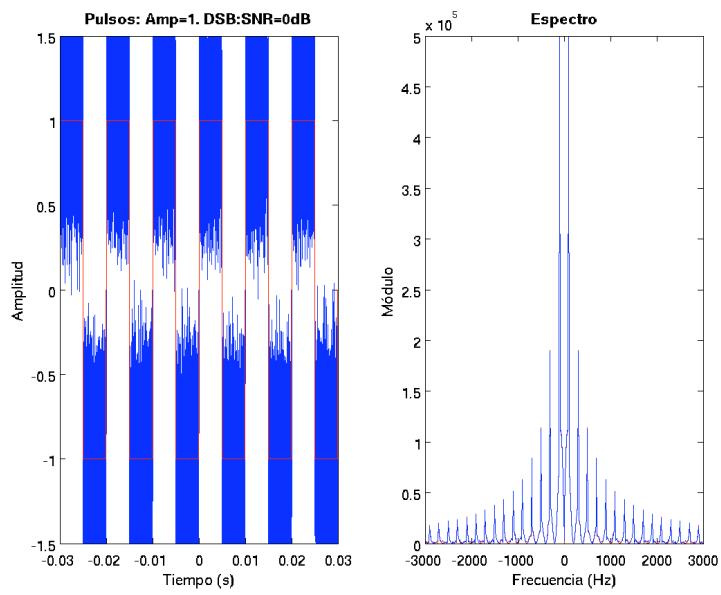
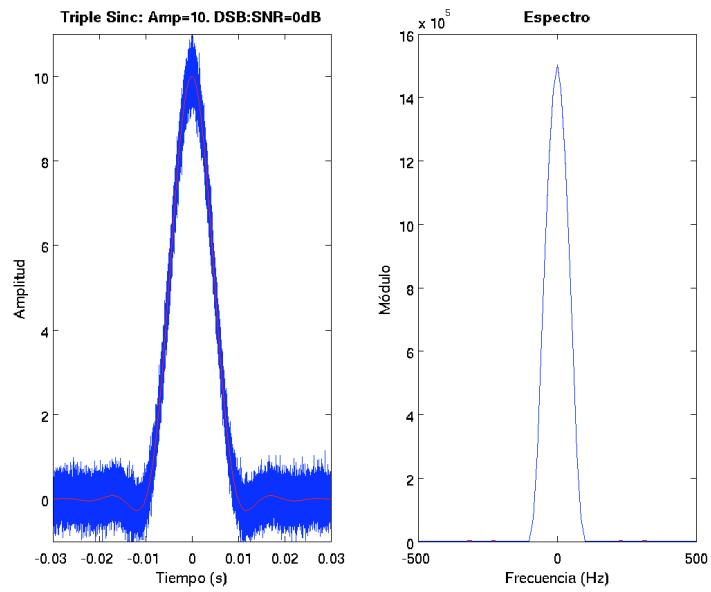


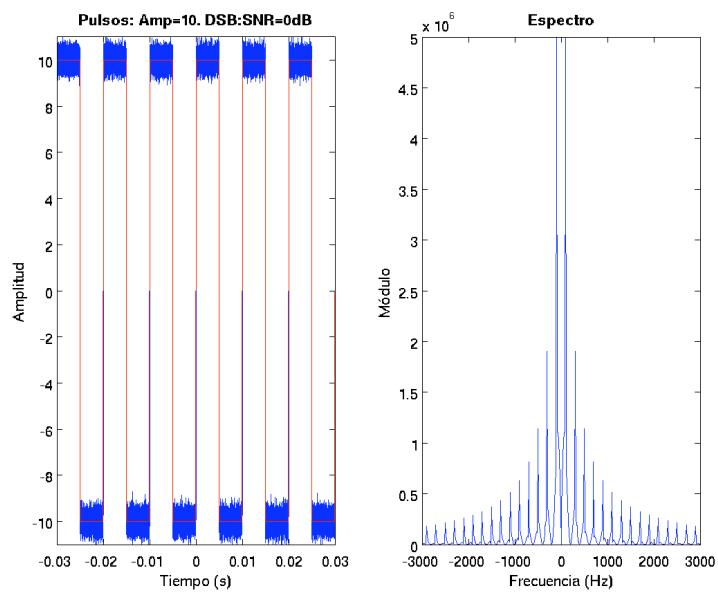




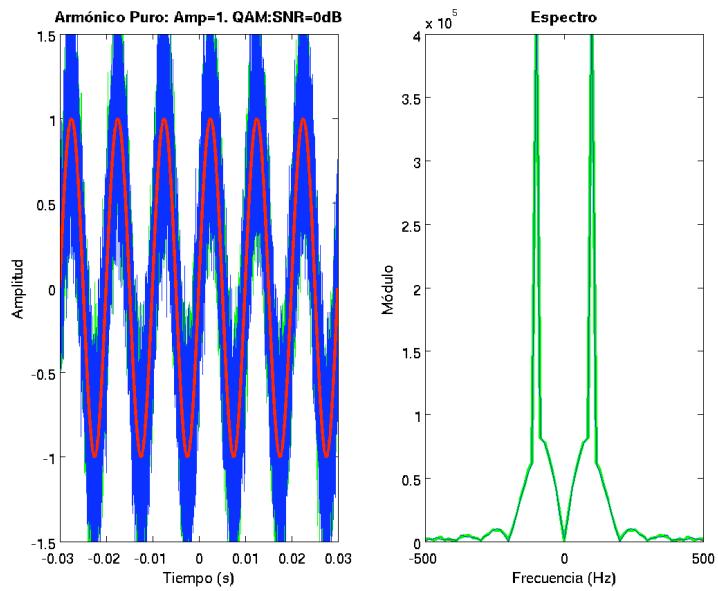
**b. Modulación DSB**

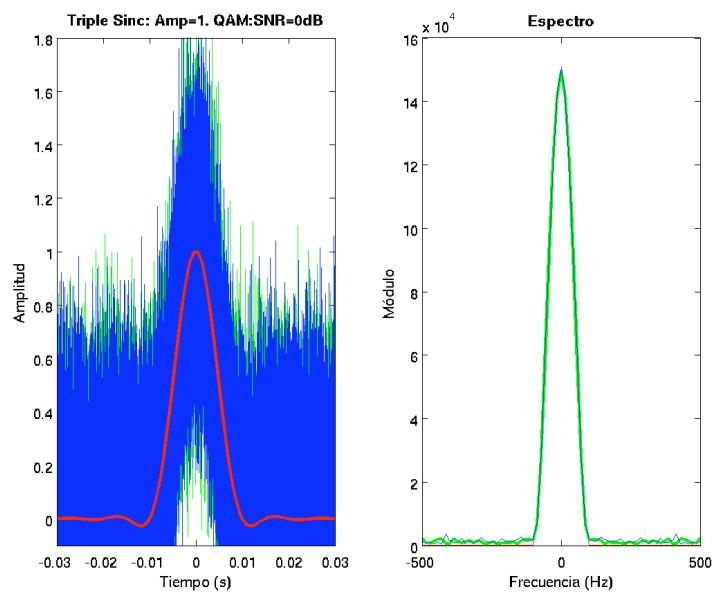
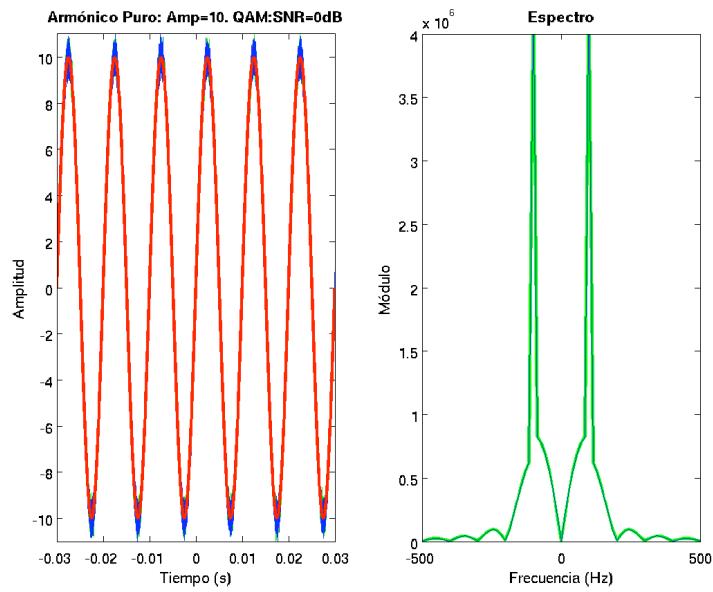


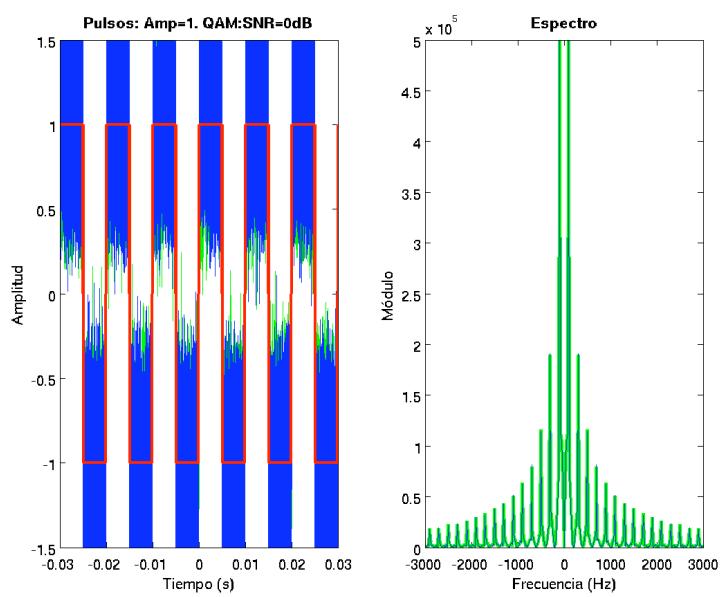
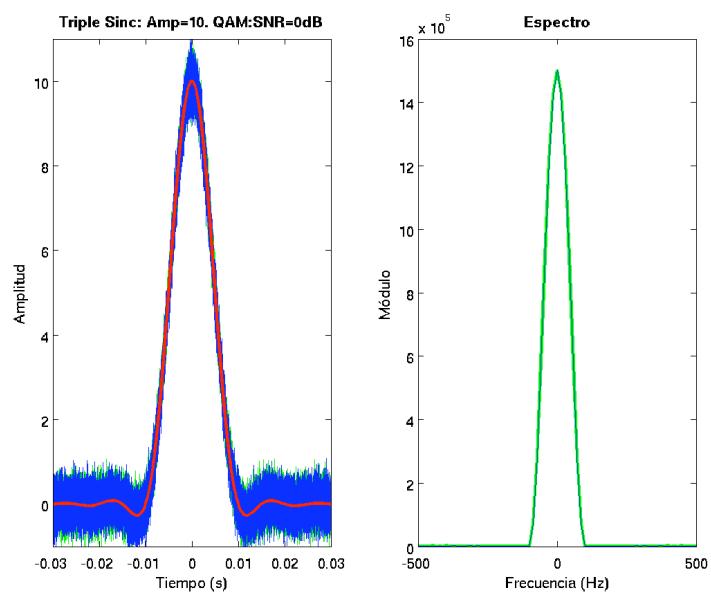


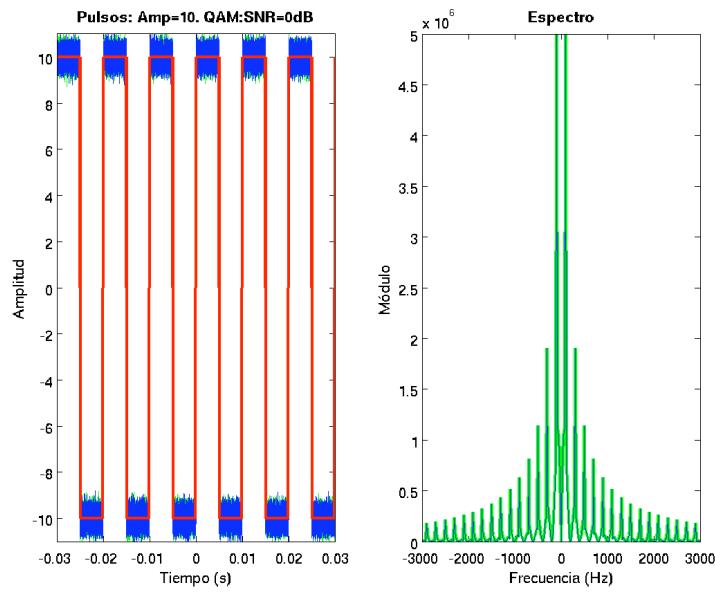


C. Modulación QAM.

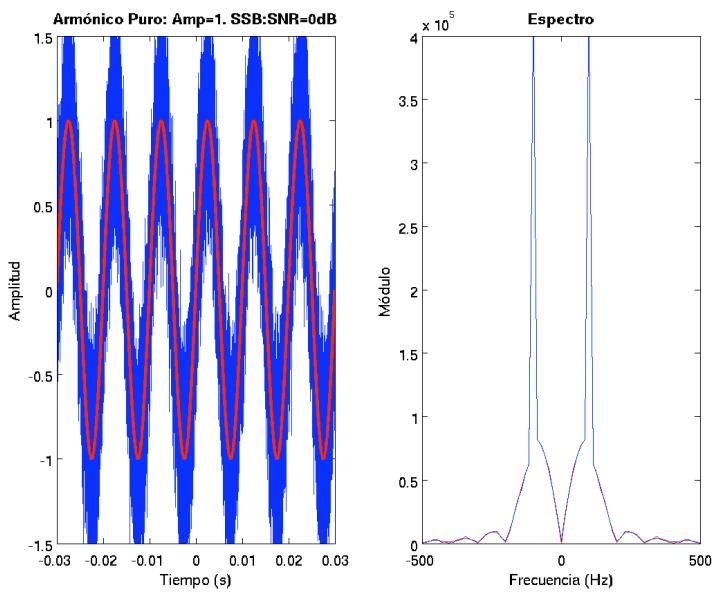


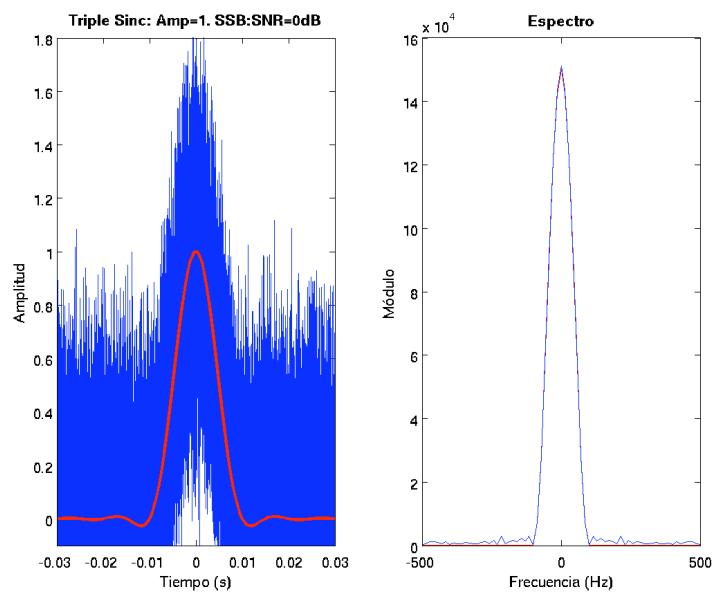
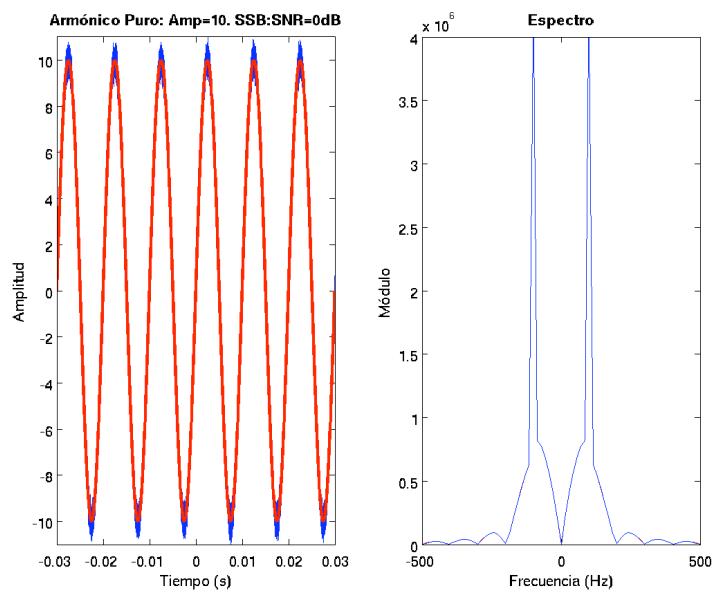


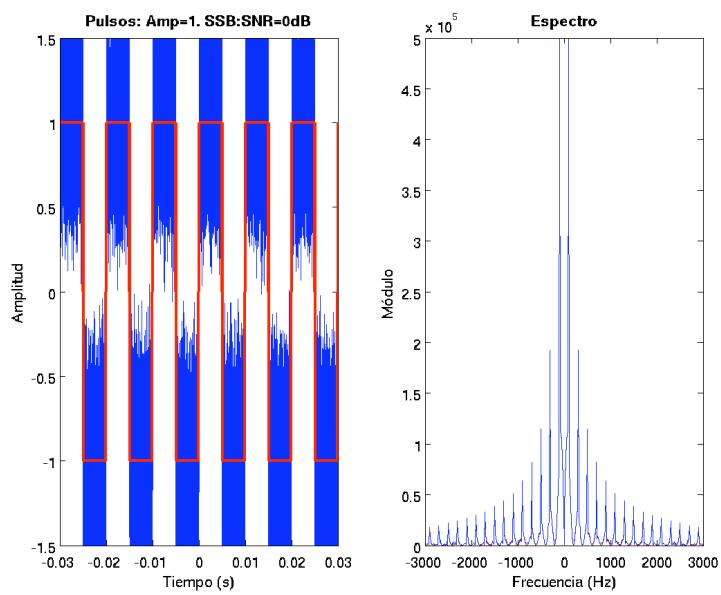
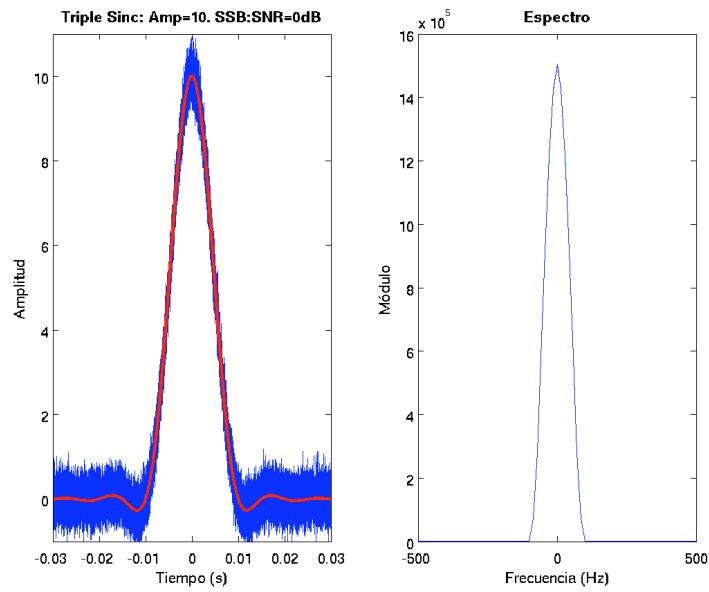


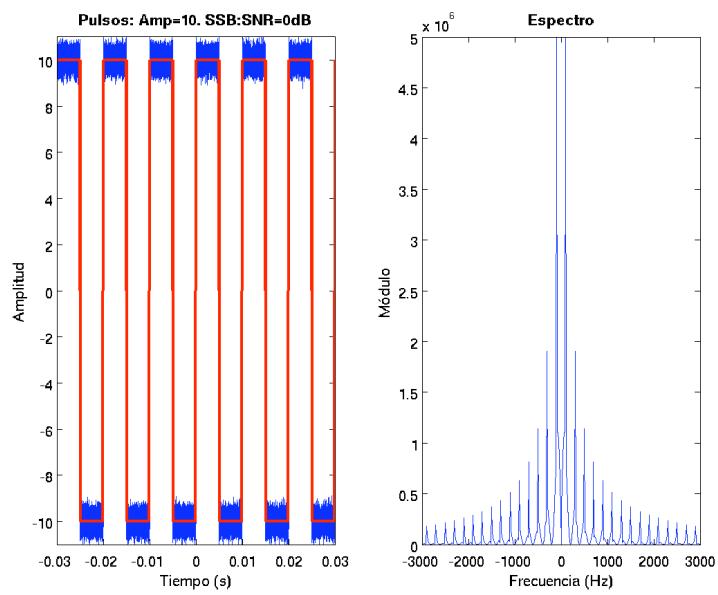


d. Modulación SSB.



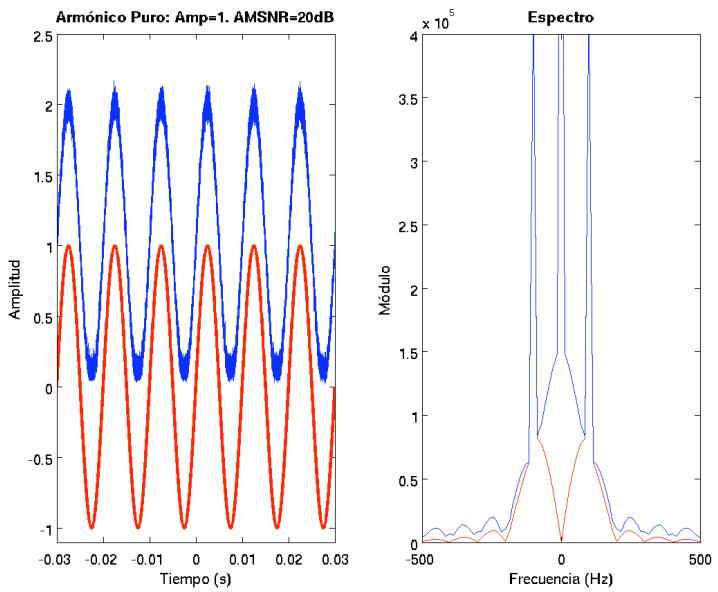


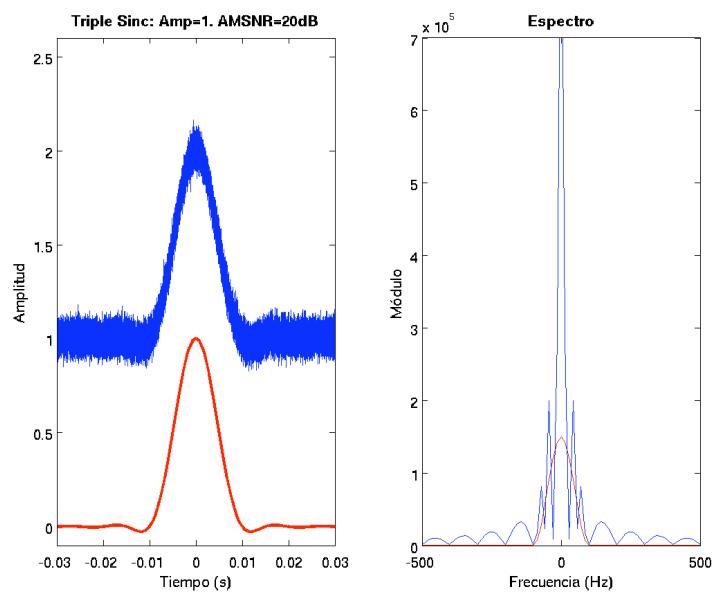
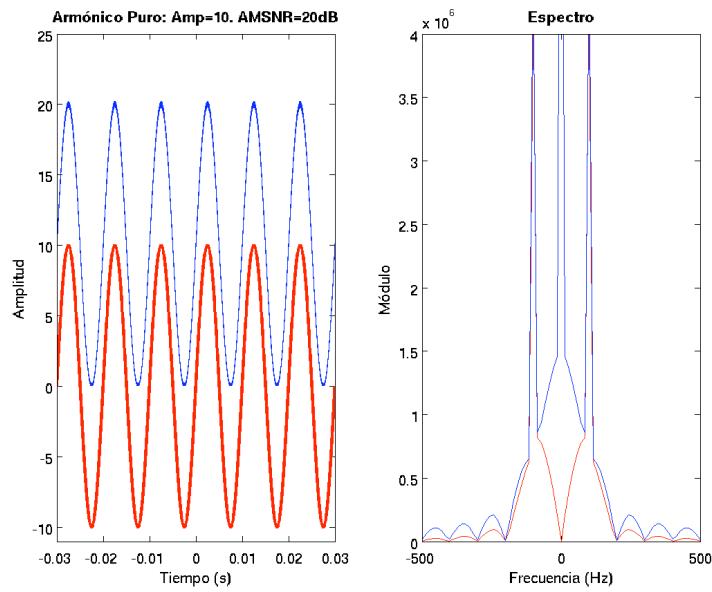


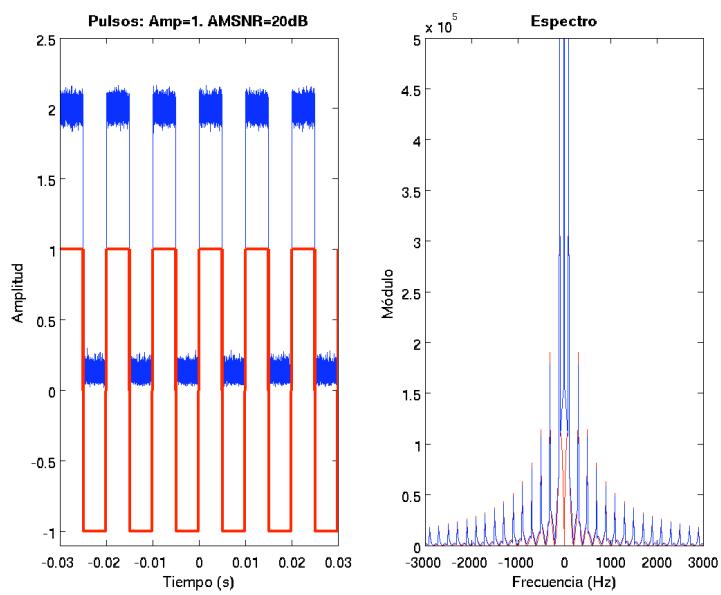
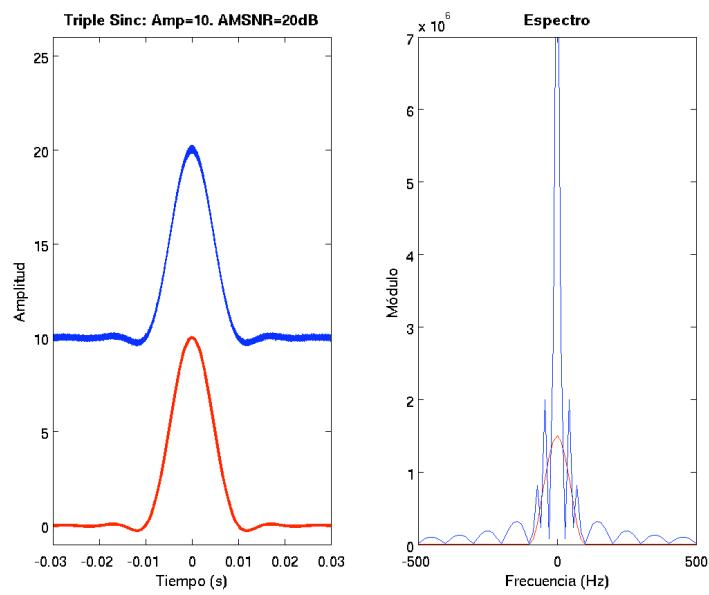


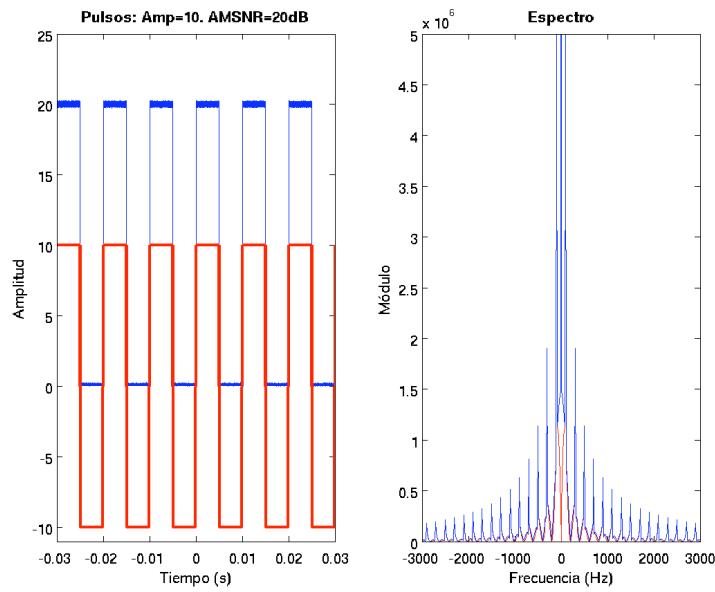
4.1.2. CANAL BAJO RUIDO (SNR 20 dB)

a. Modulación AM.

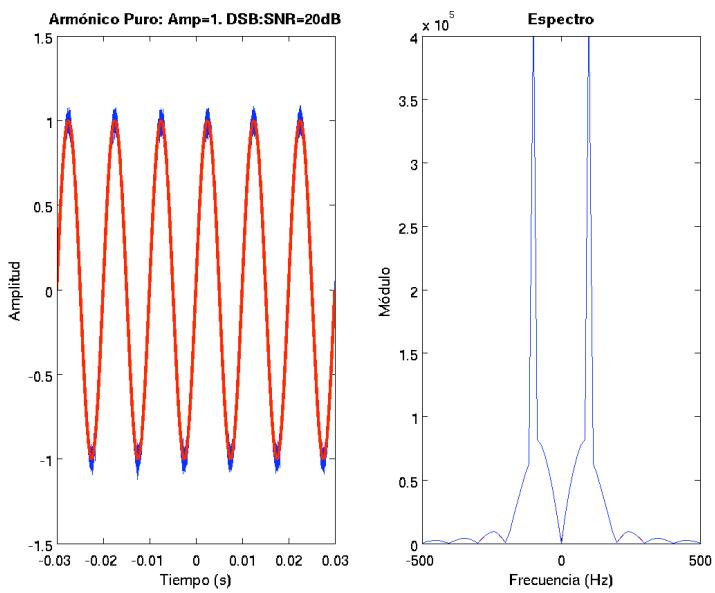


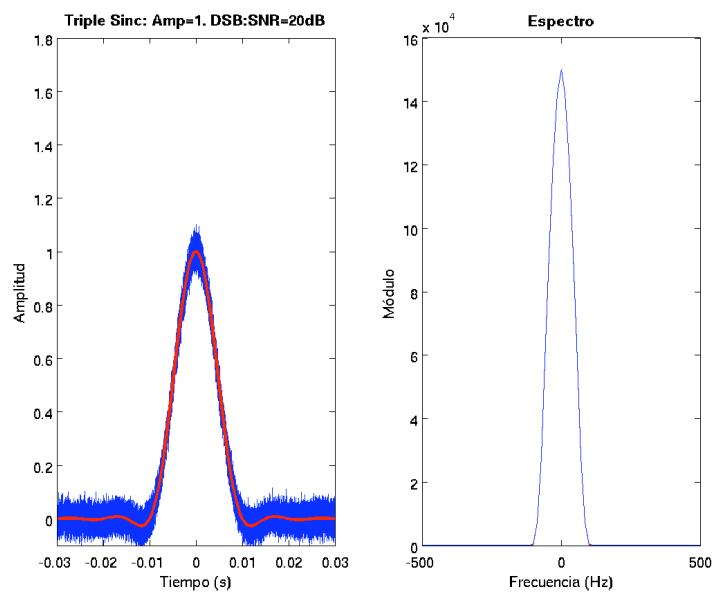
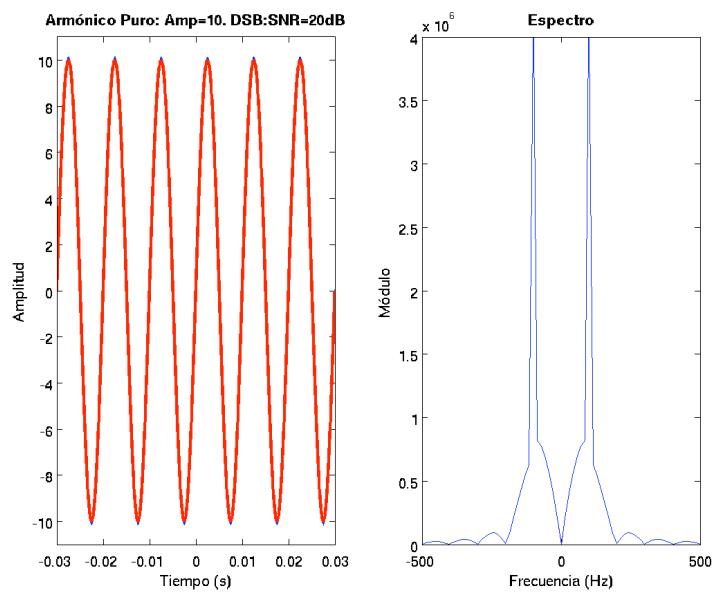


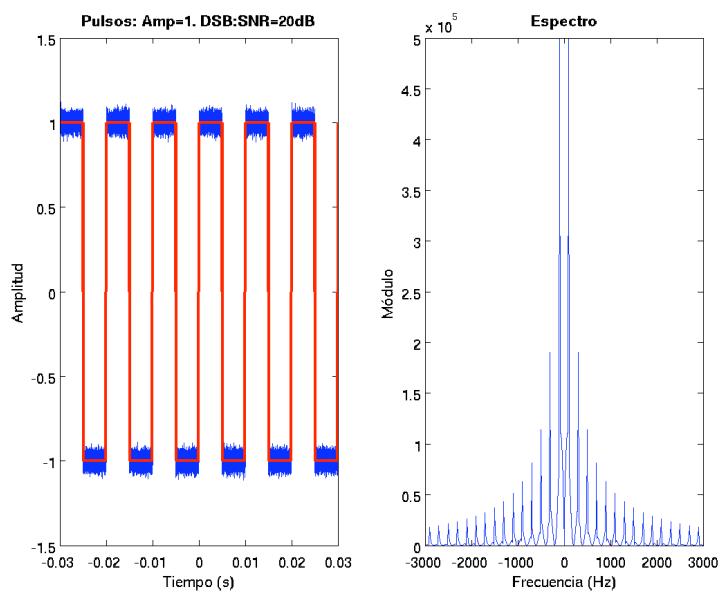
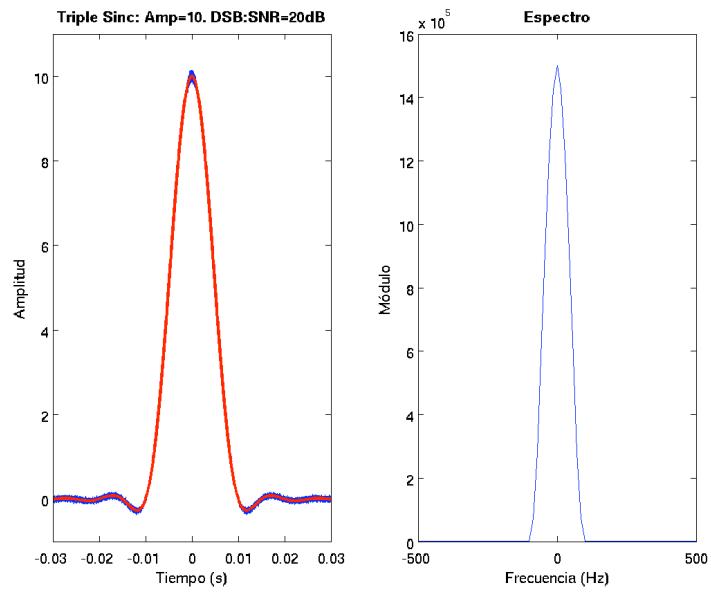


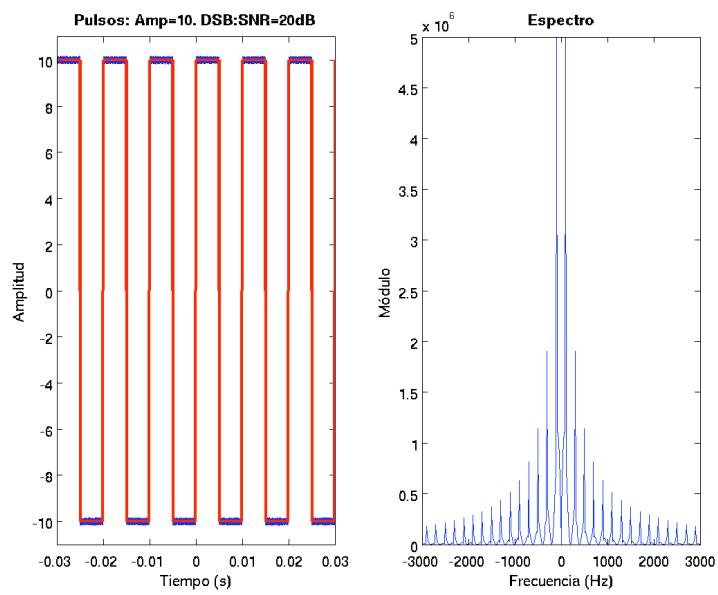


b. Modulación DSB

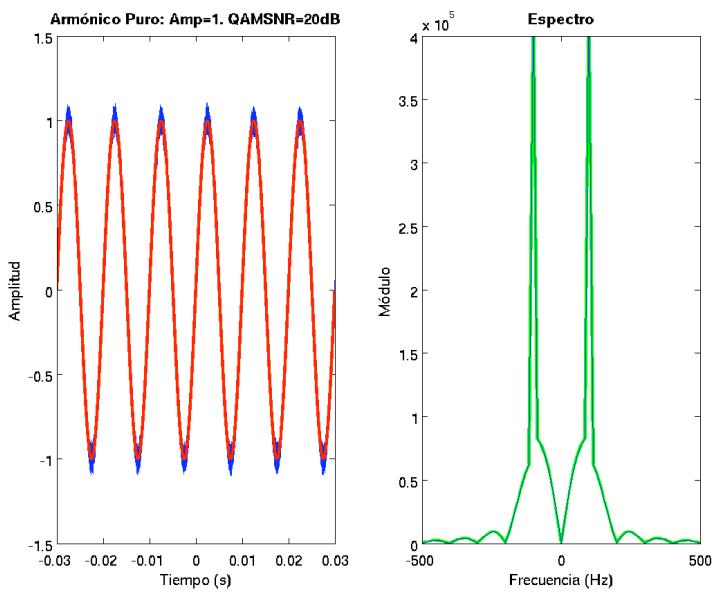


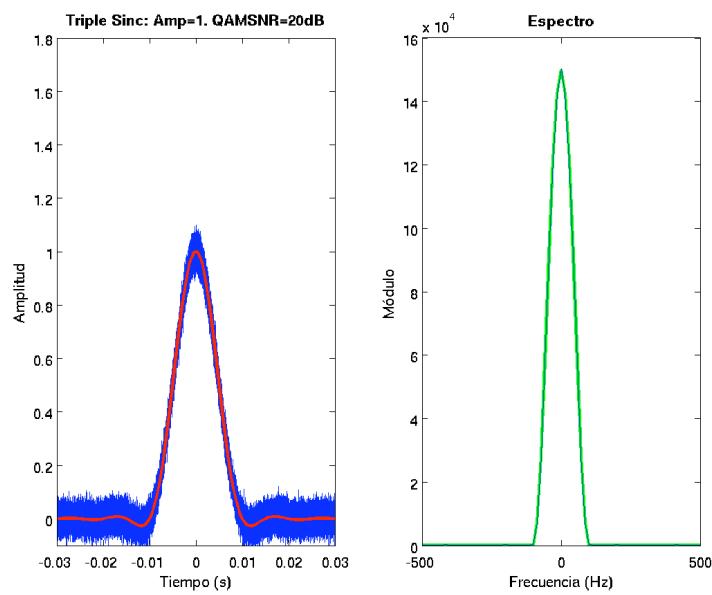
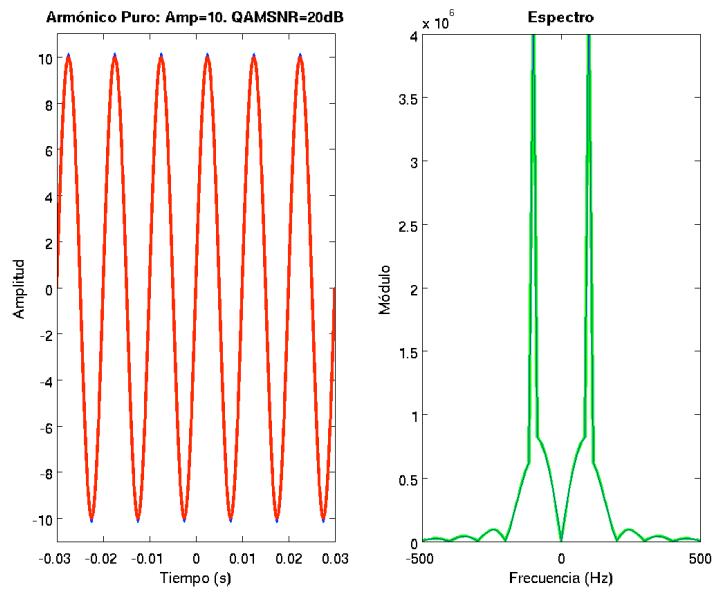


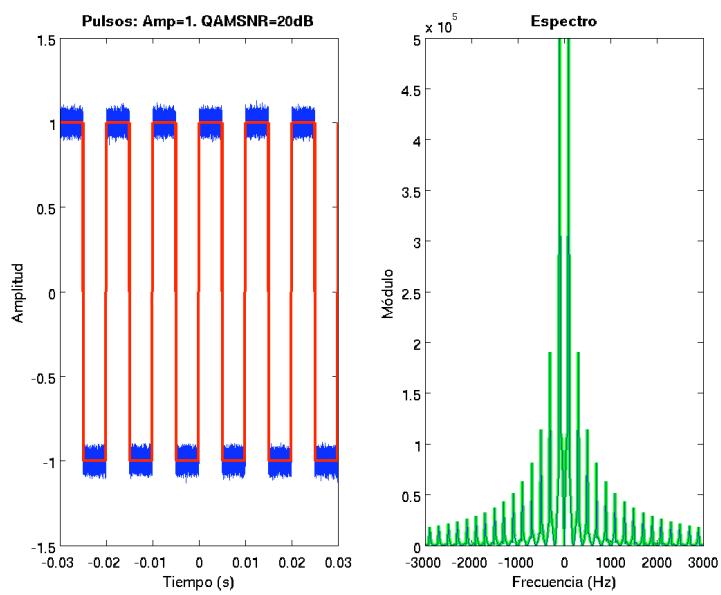
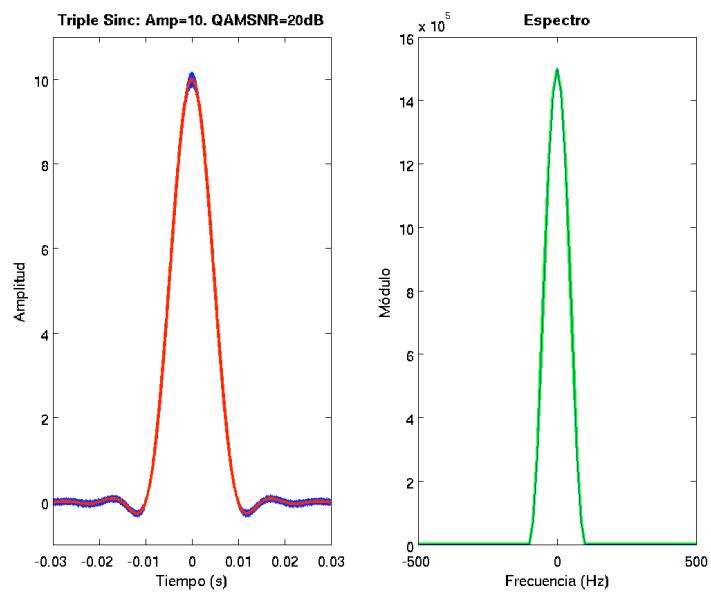


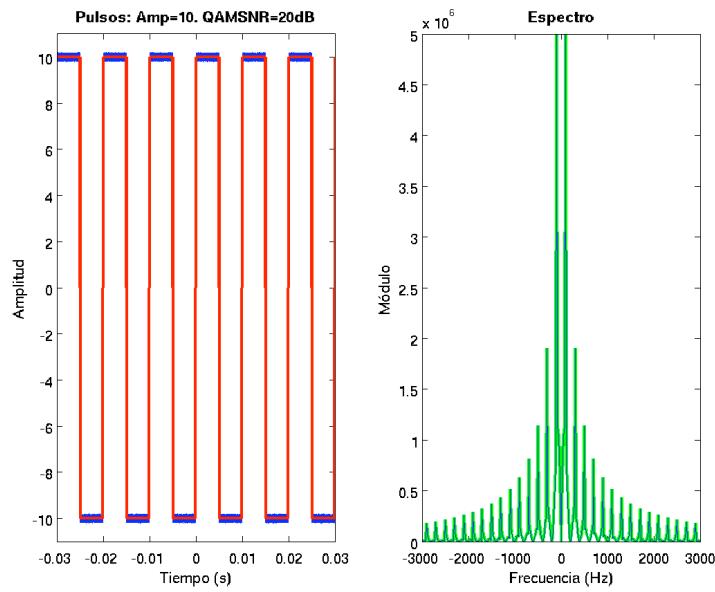


C. Modulación QAM.

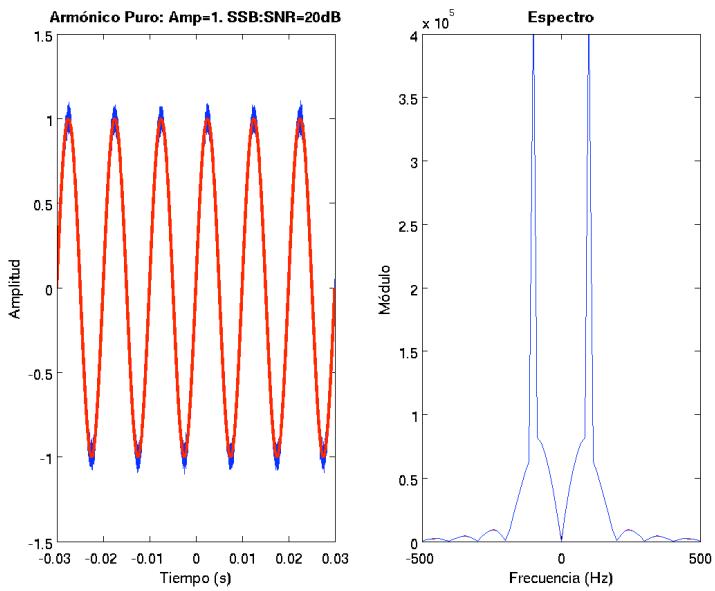


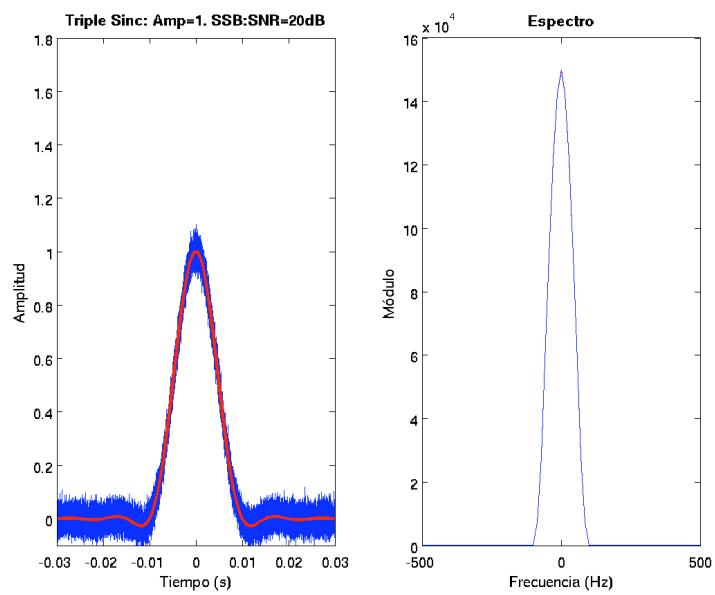
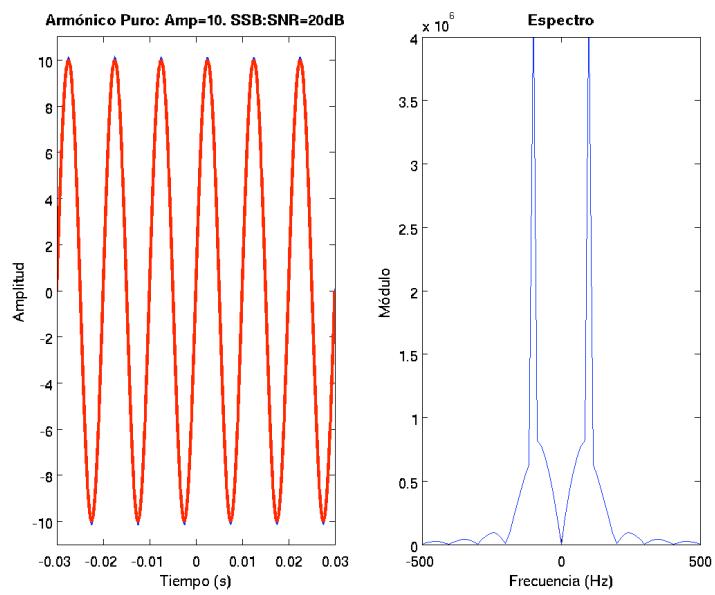


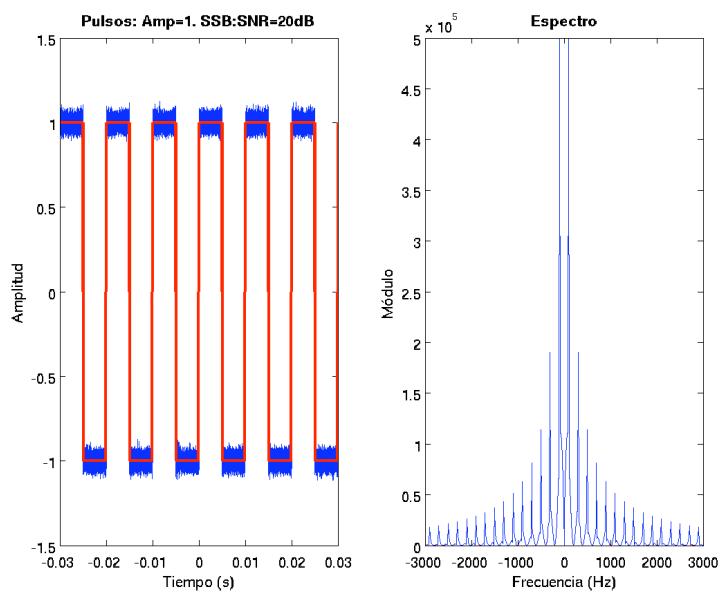
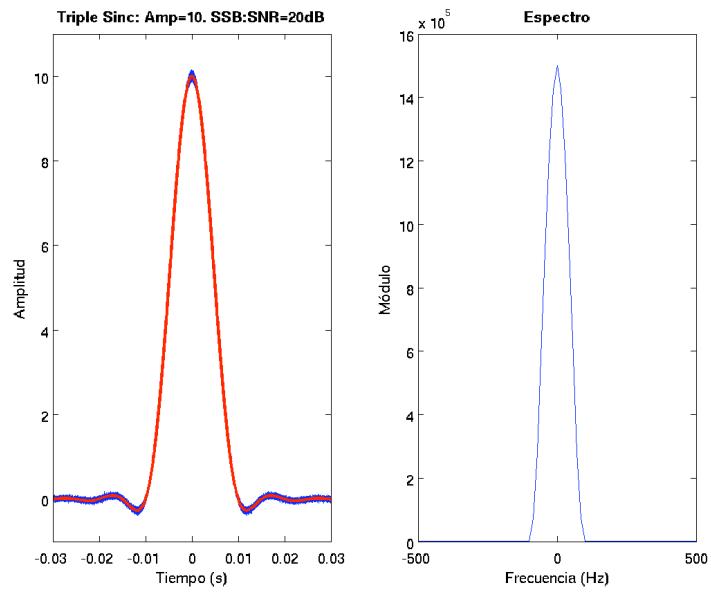


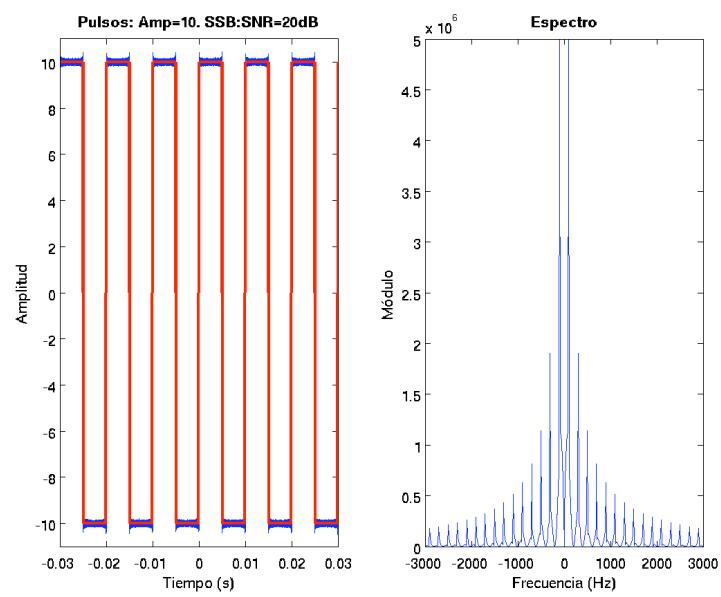


d. Modulación SSB.





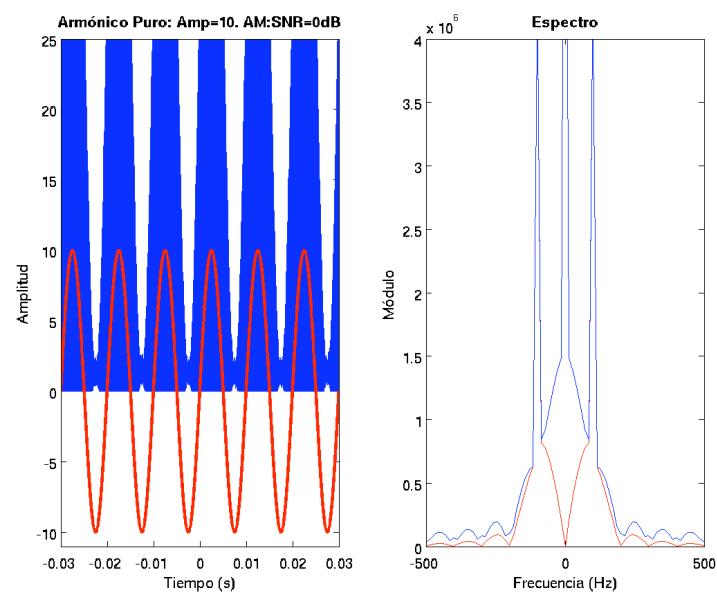
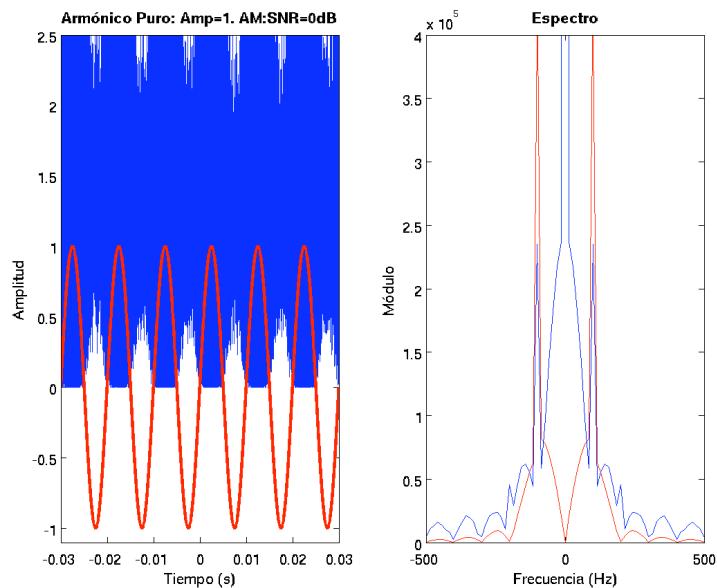


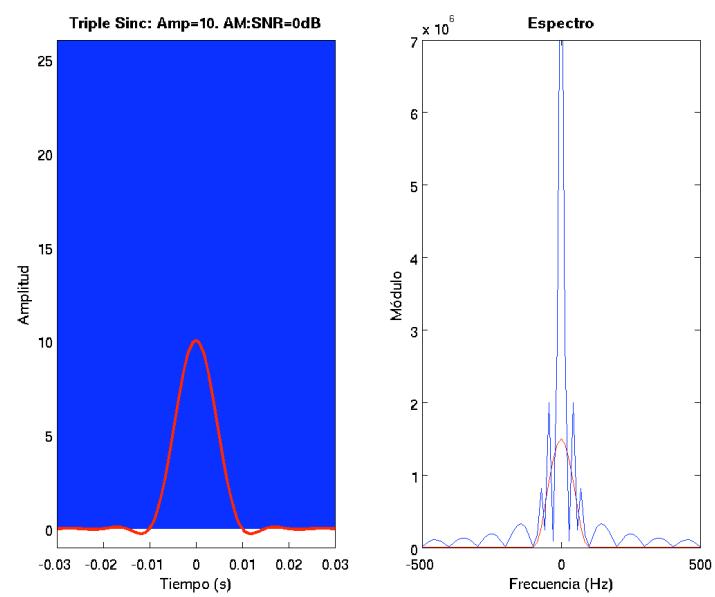
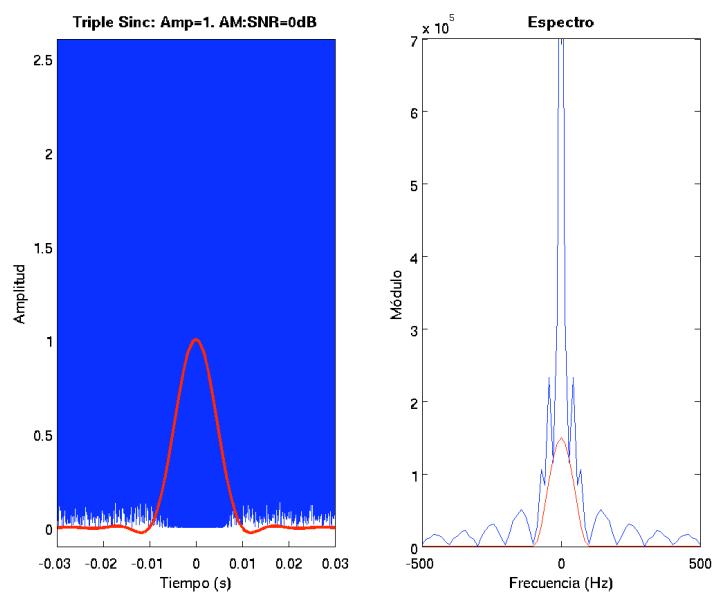


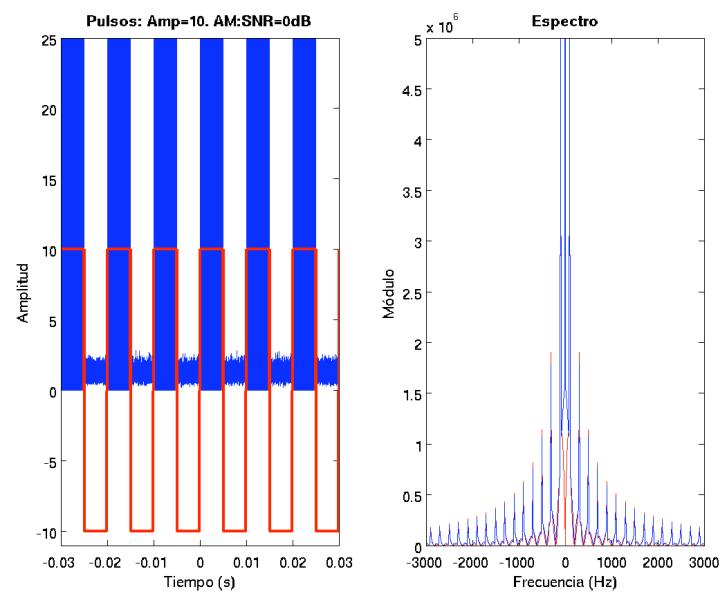
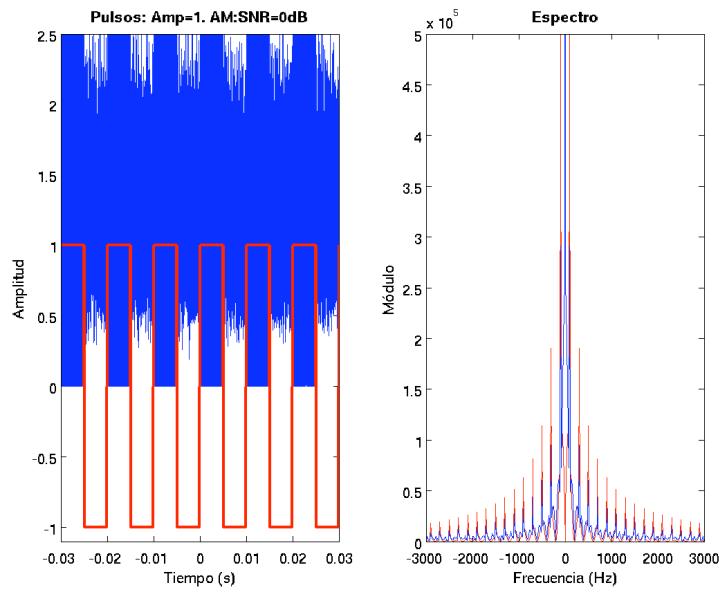
4.2. FRECUENCIA PORTADORA 100 KHZ.-

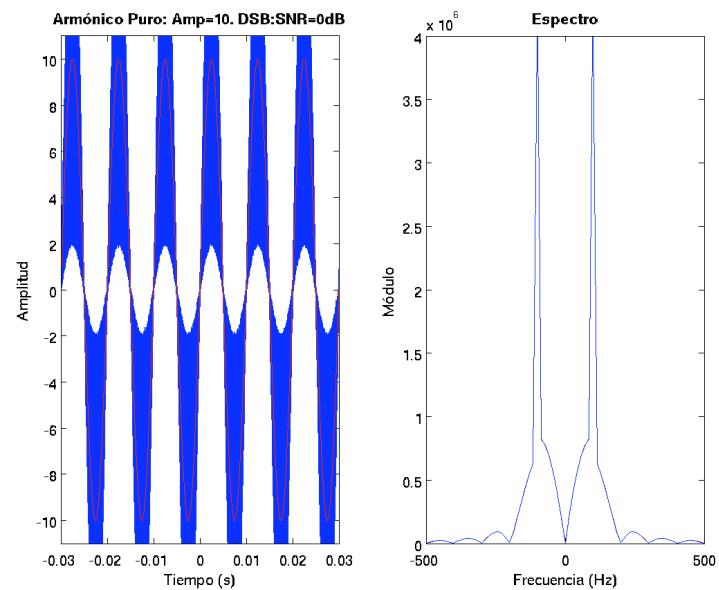
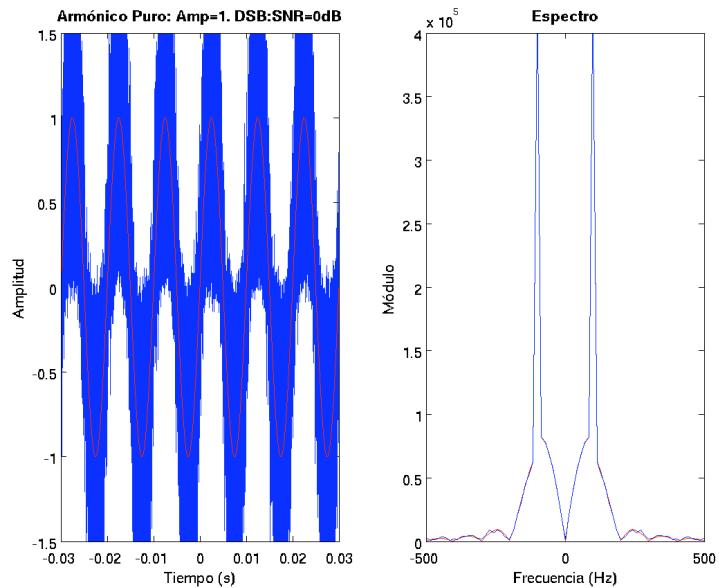
4.2.1. CANAL ALTO RUIDO (SNR 0 dB)

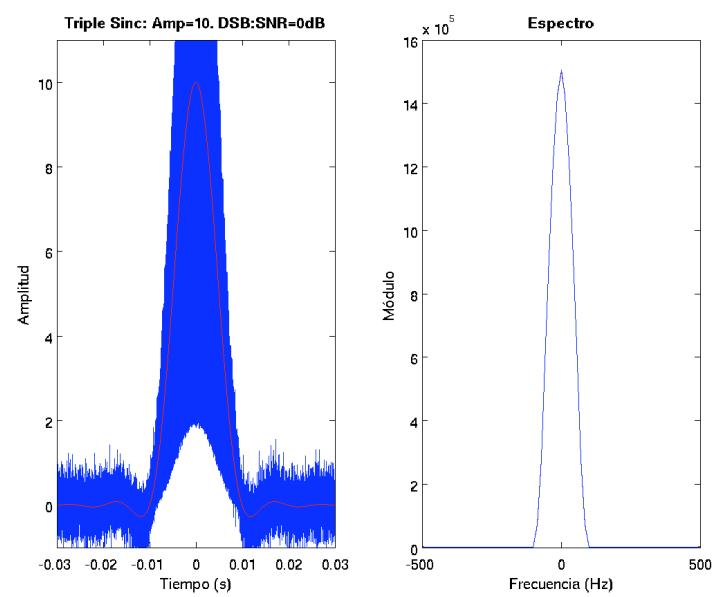
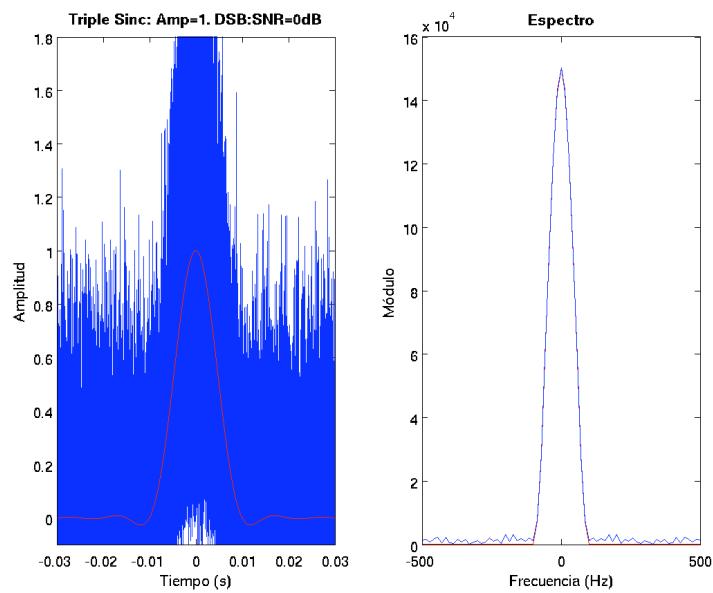
a. Modulación AM.

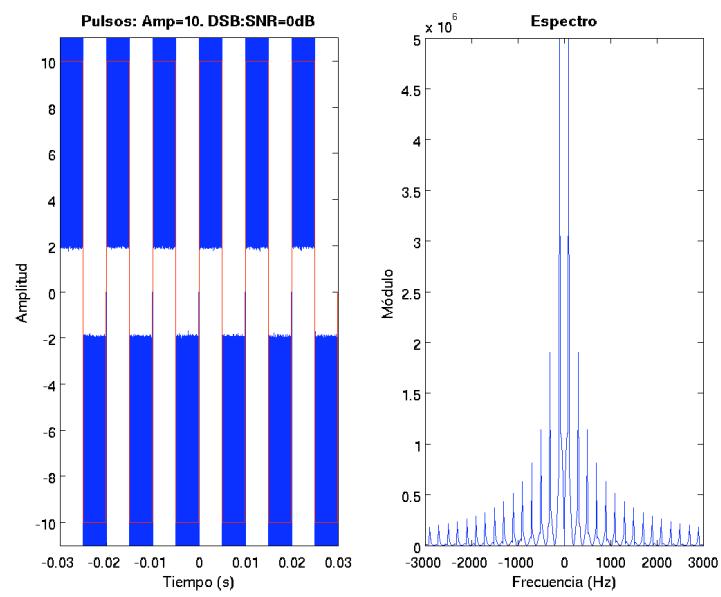
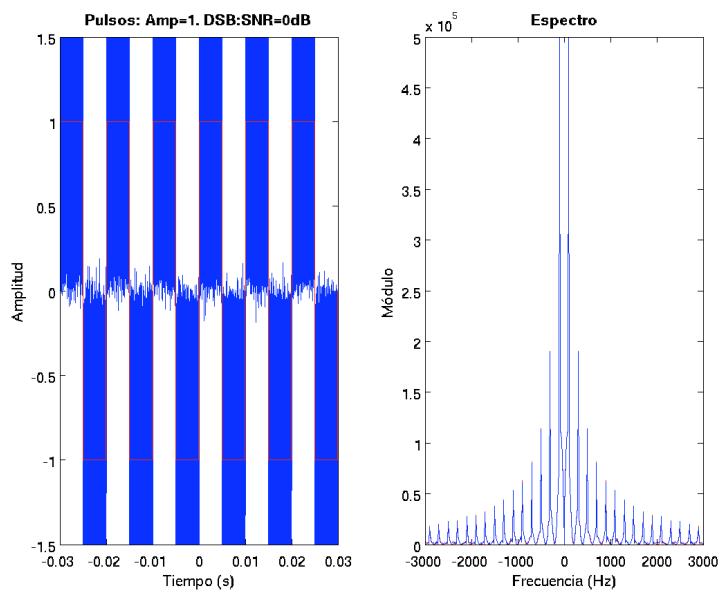




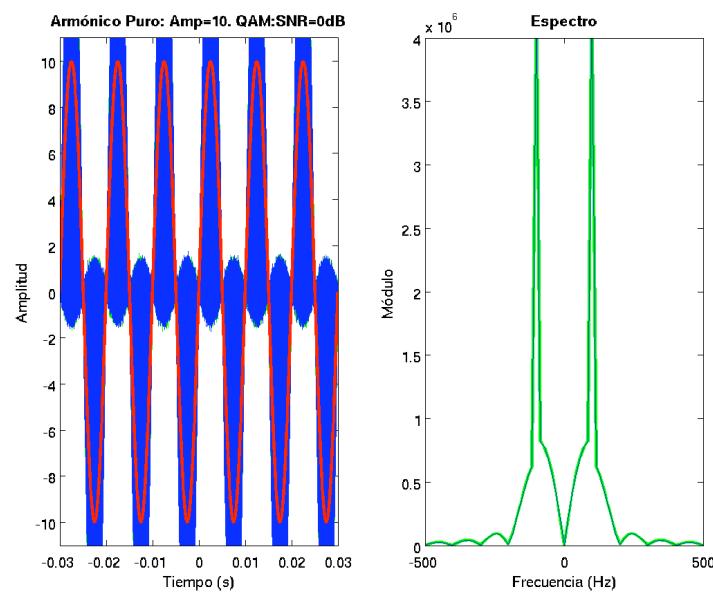
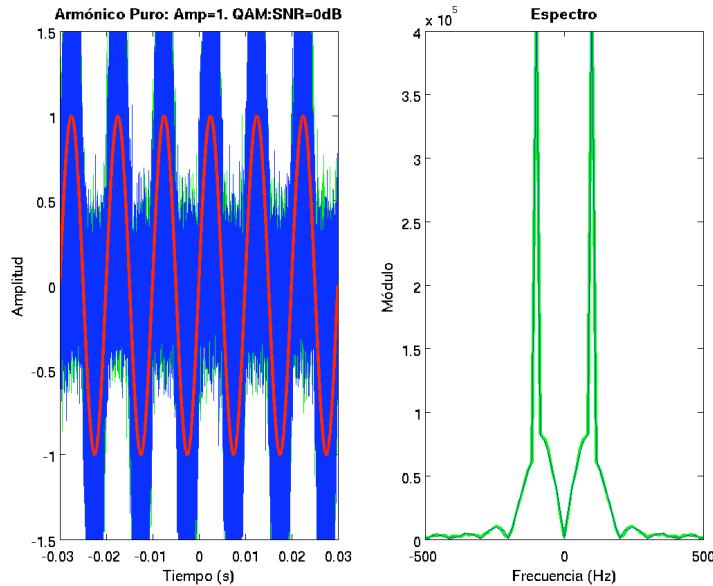


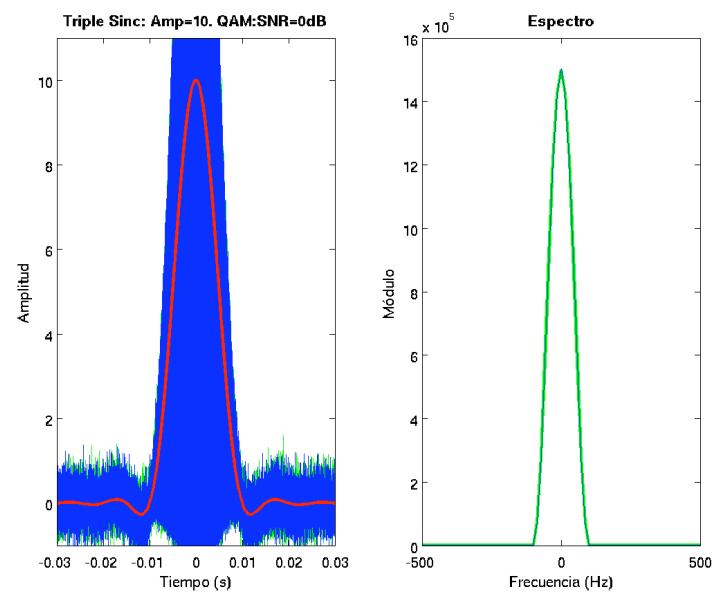
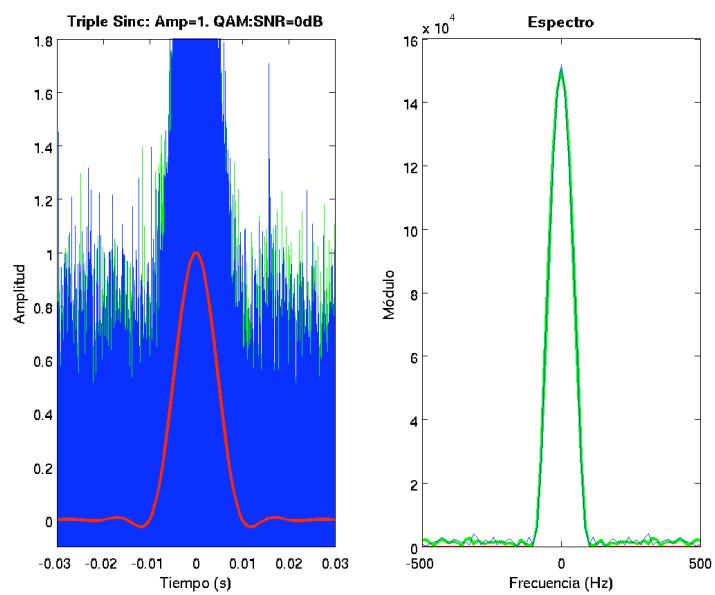
b. Modulación DSB

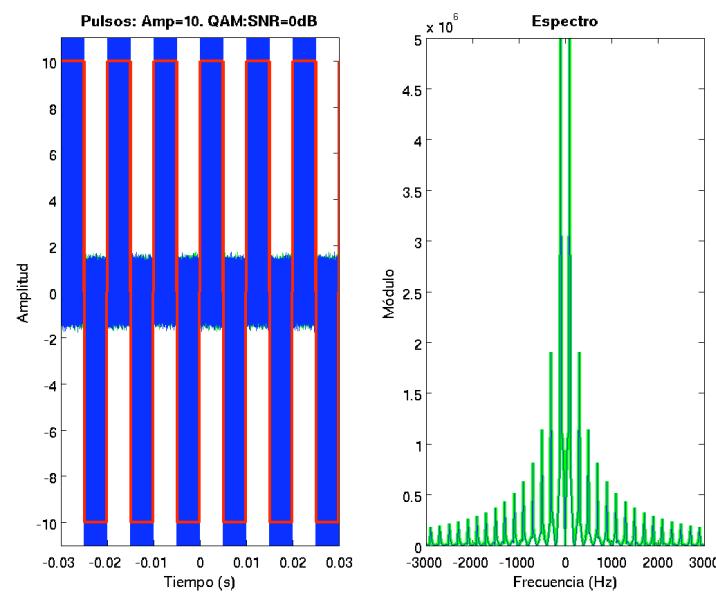
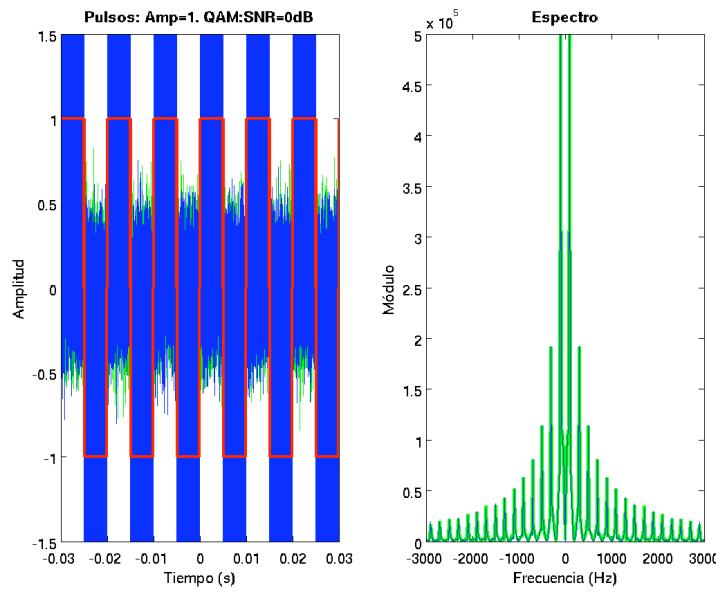




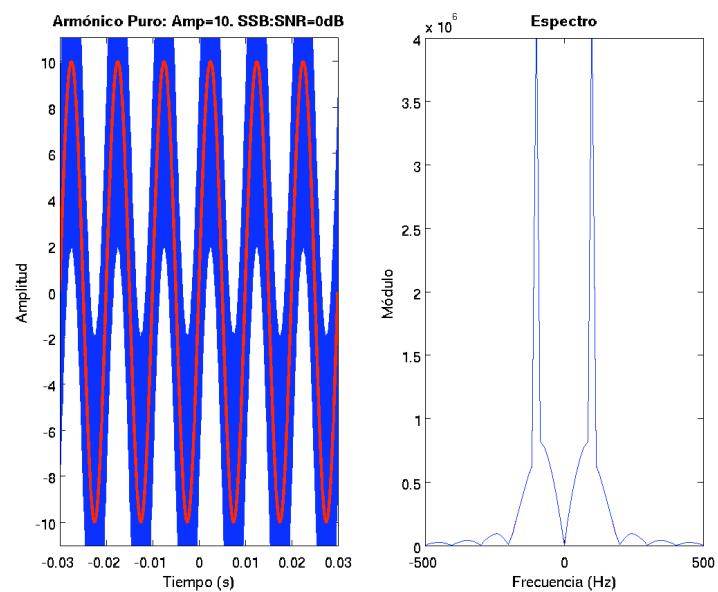
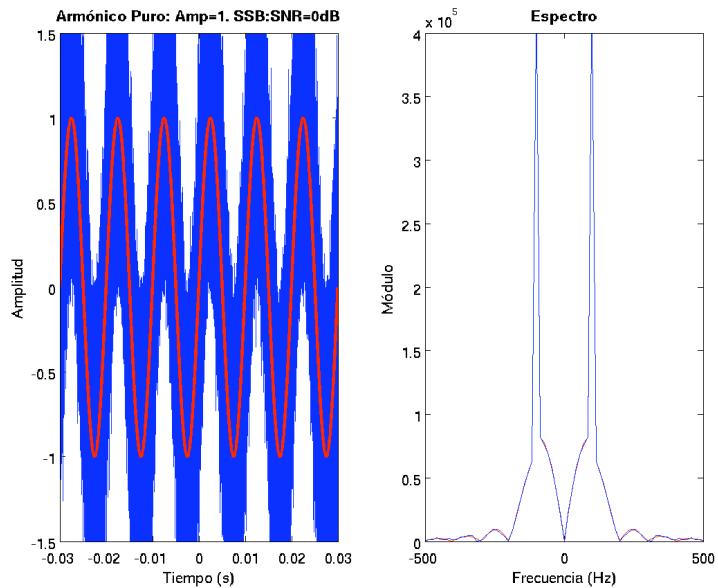
c. Modulación QAM.

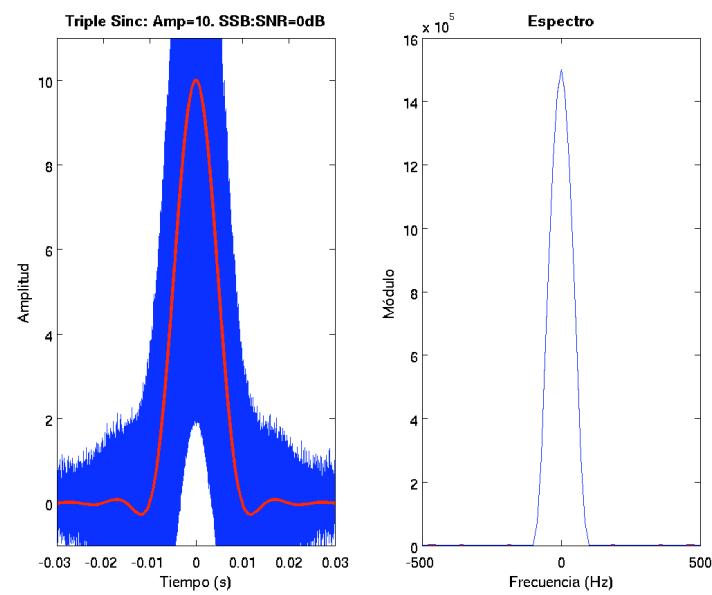
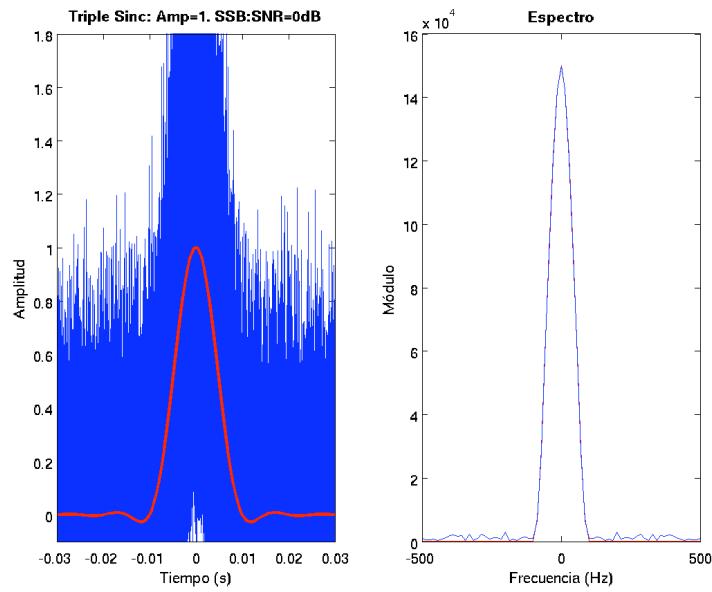


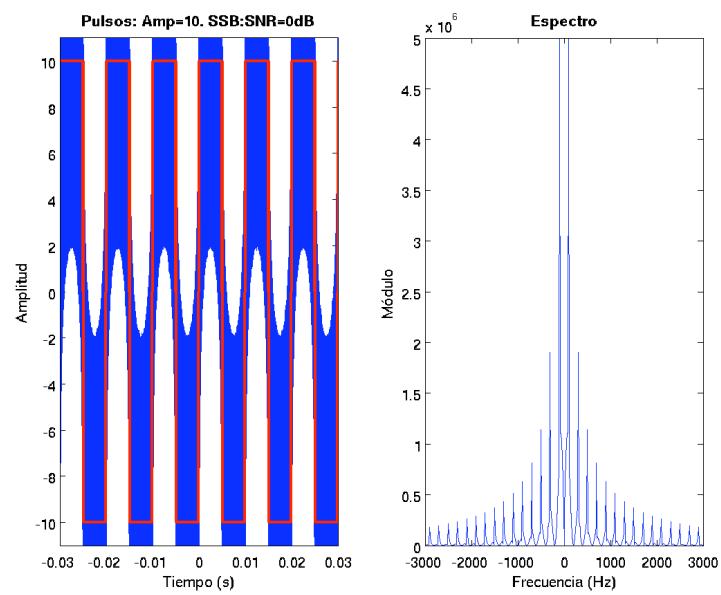
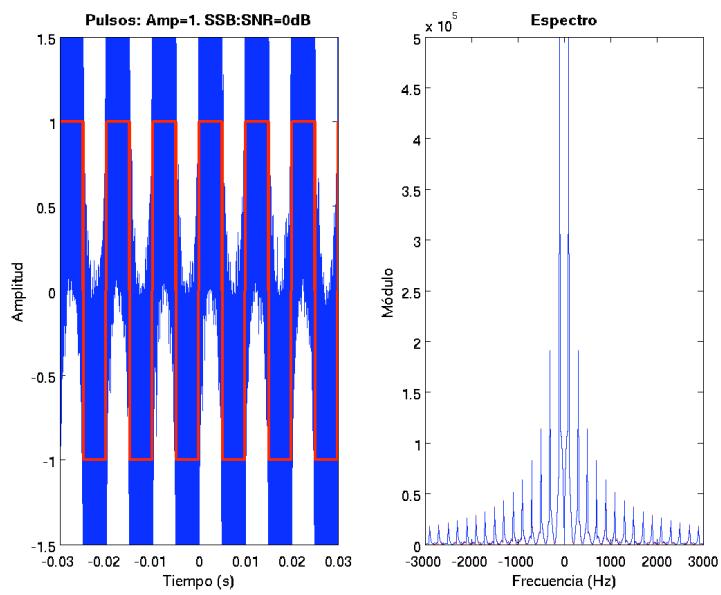




d. Modulación SSB.

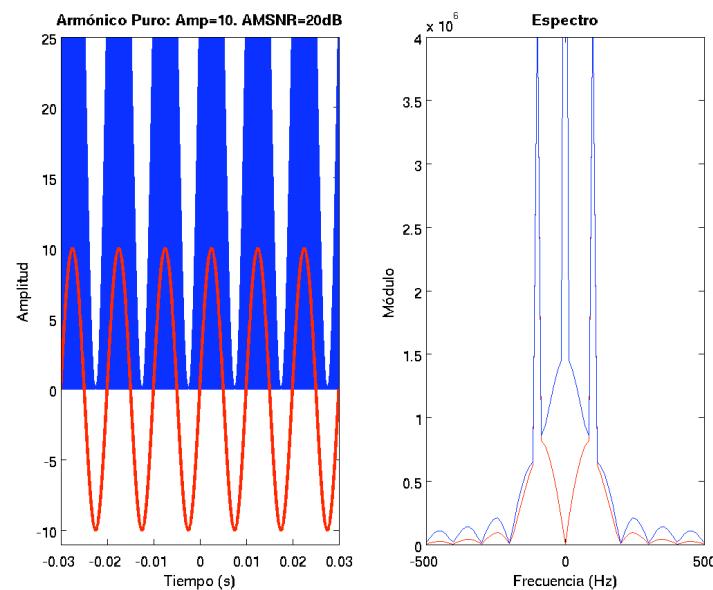
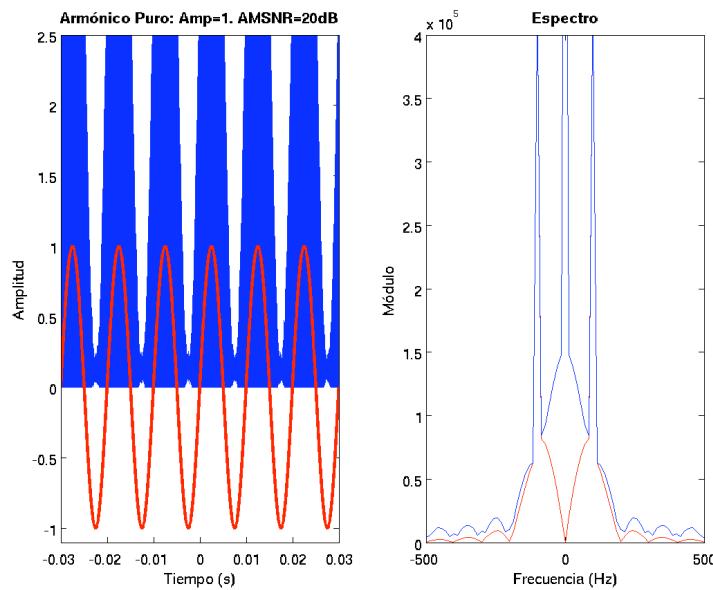


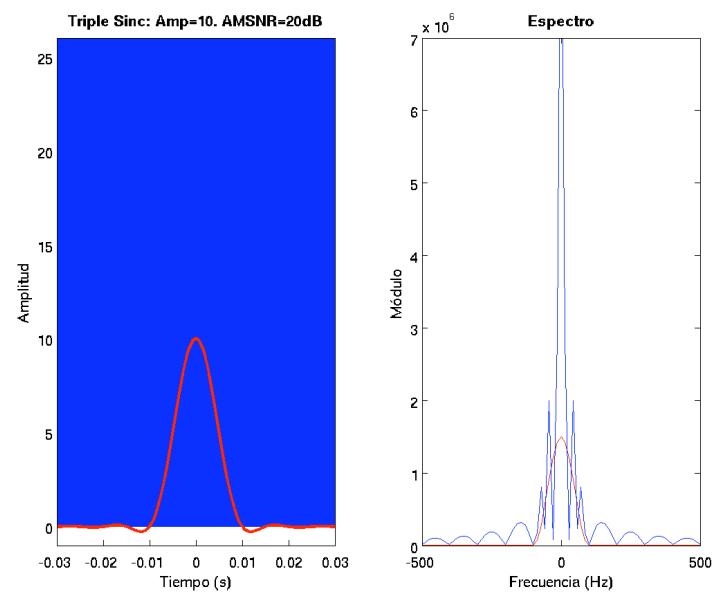
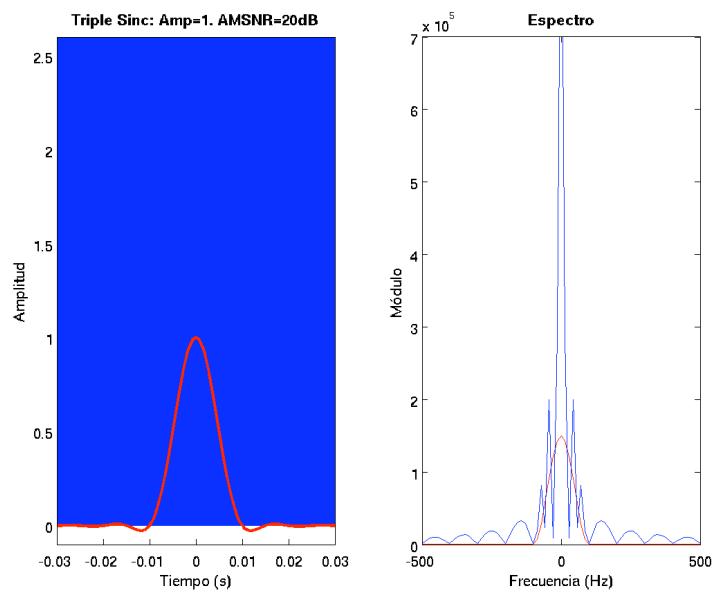


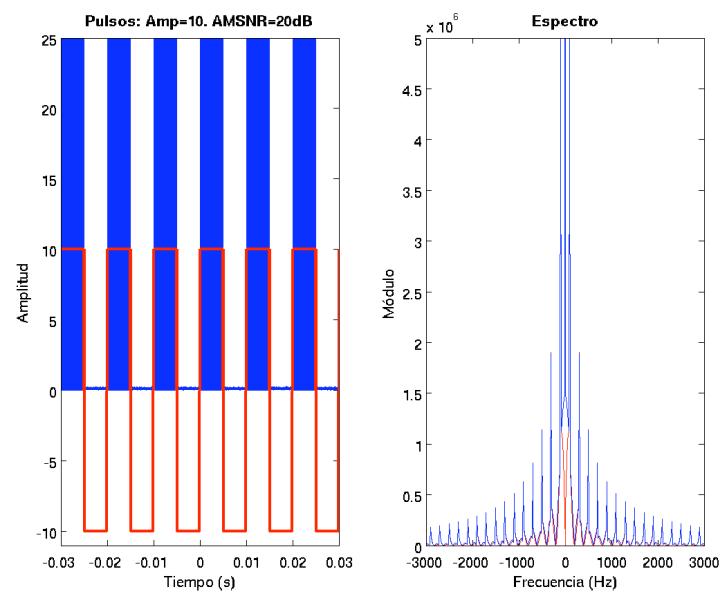
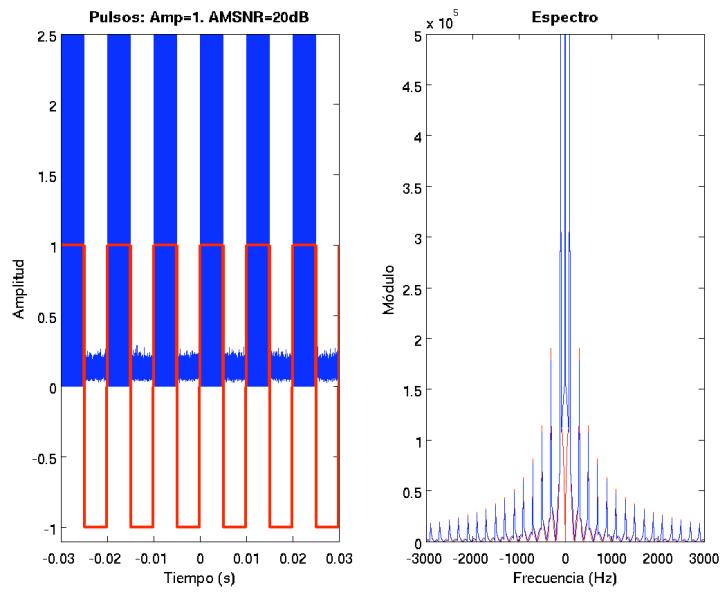


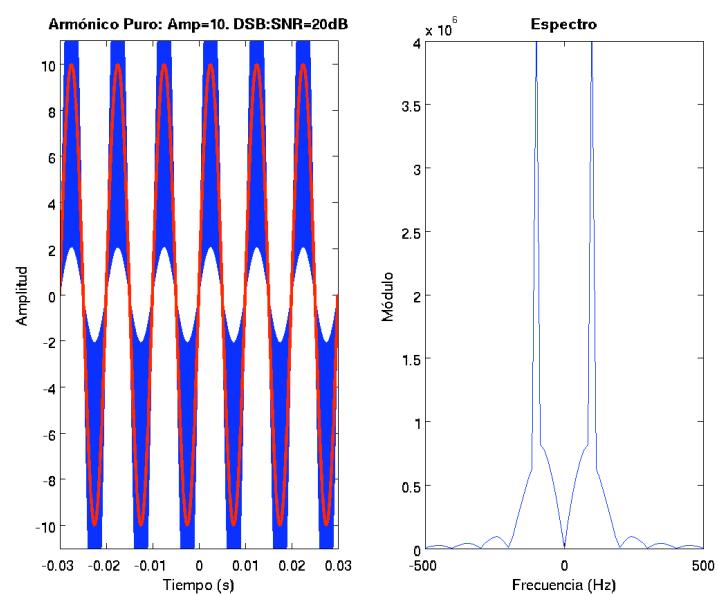
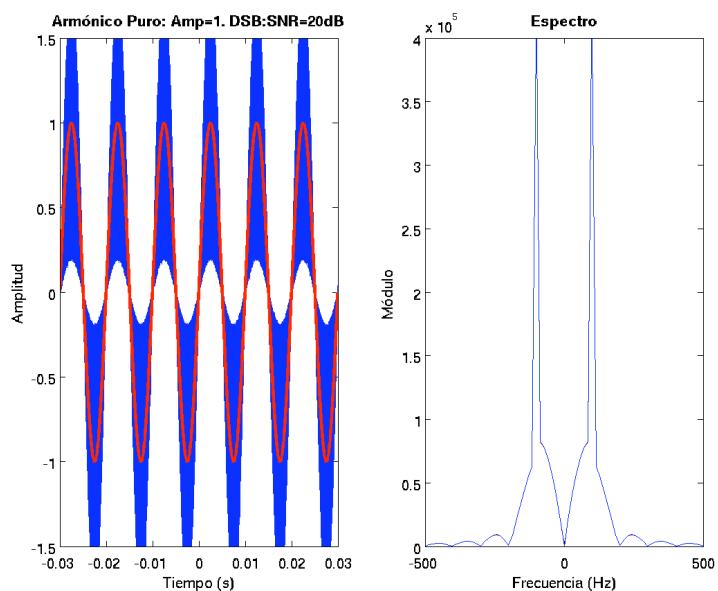
4.2.2. CANAL BAJO RUIDO (SNR 20 dB)

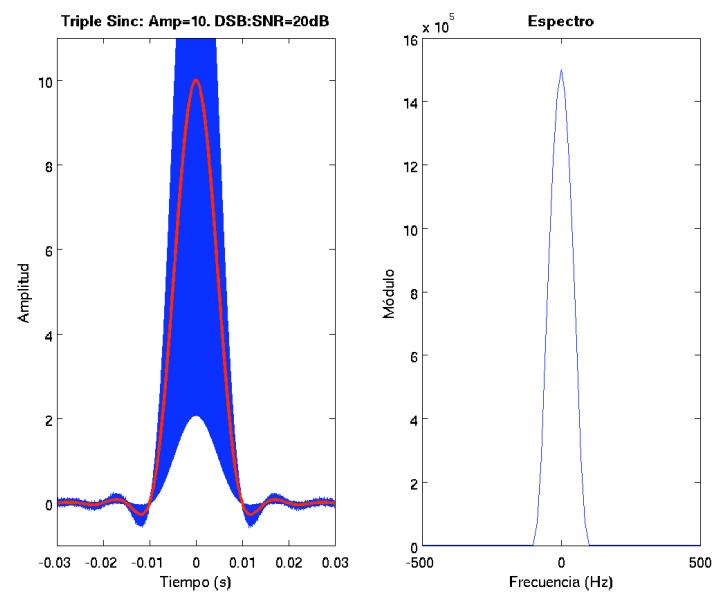
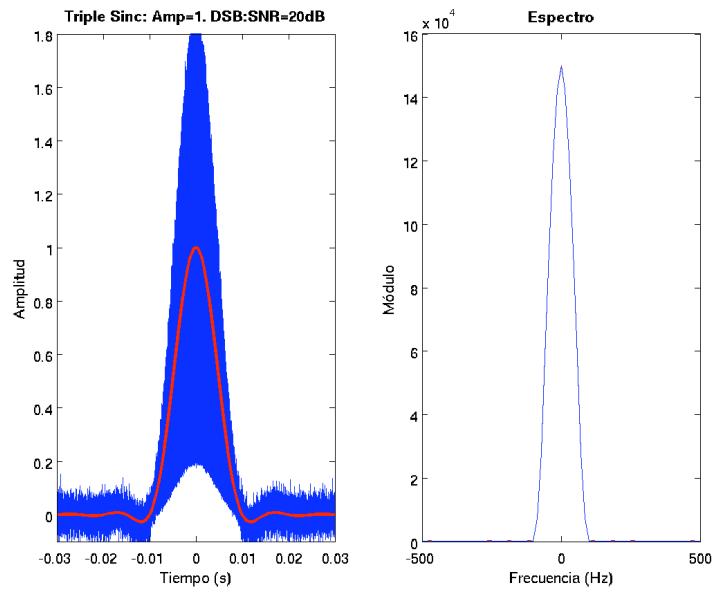
a. Modulación AM.

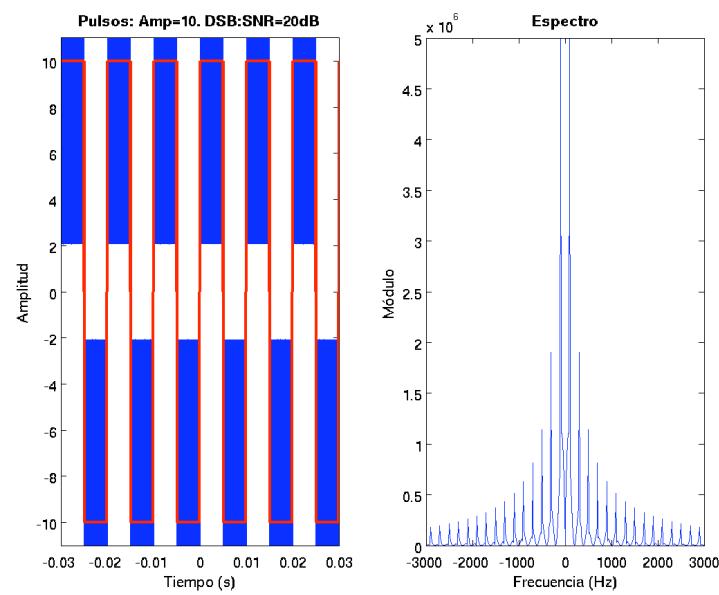
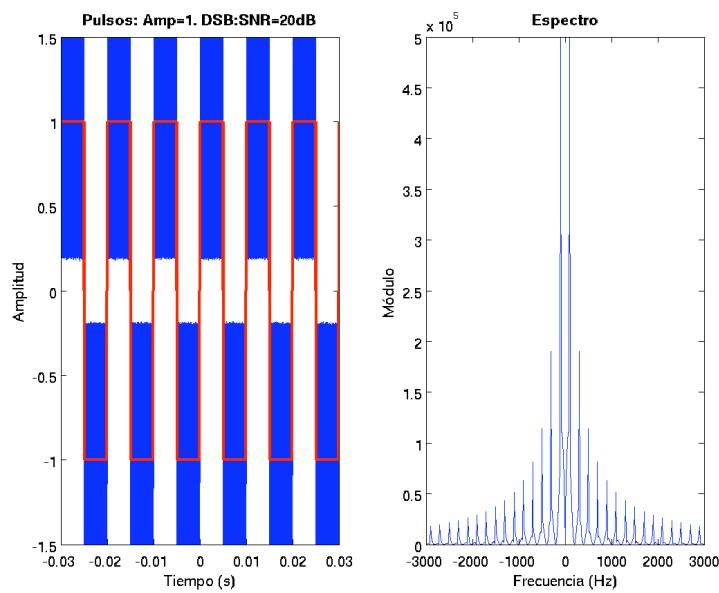


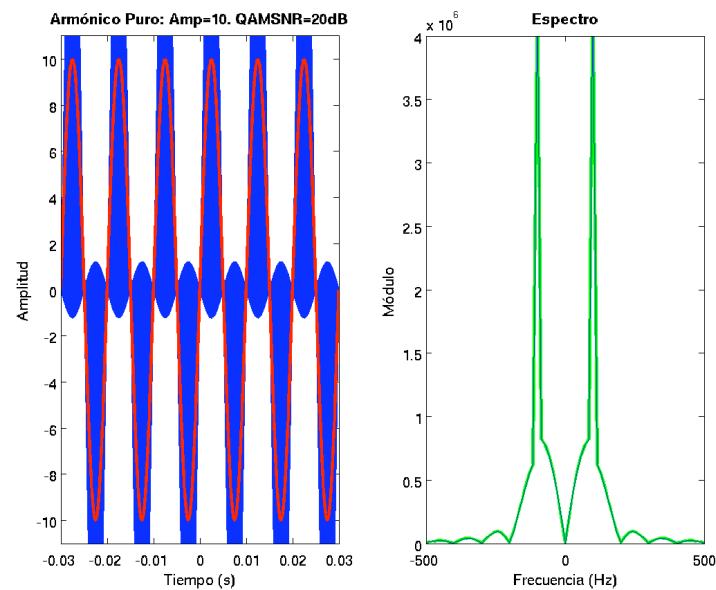
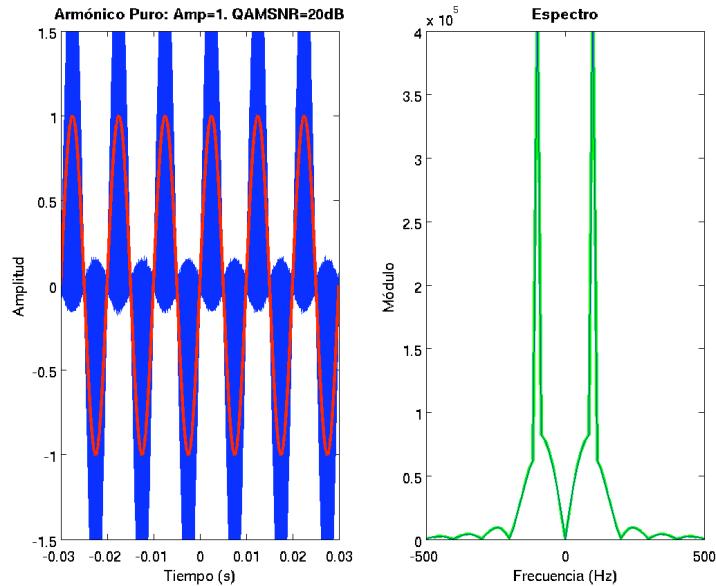


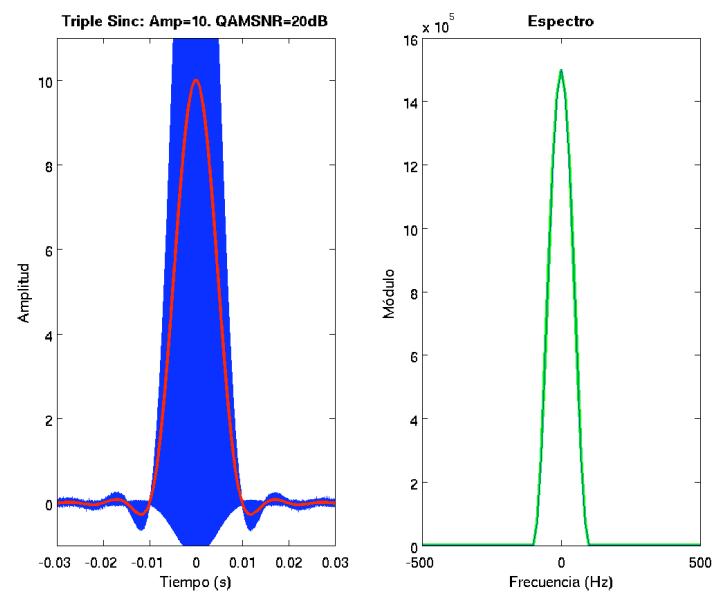
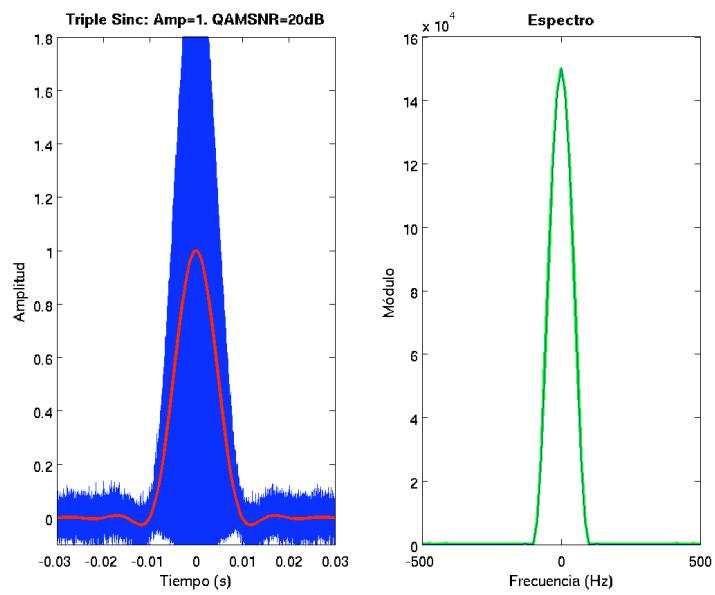


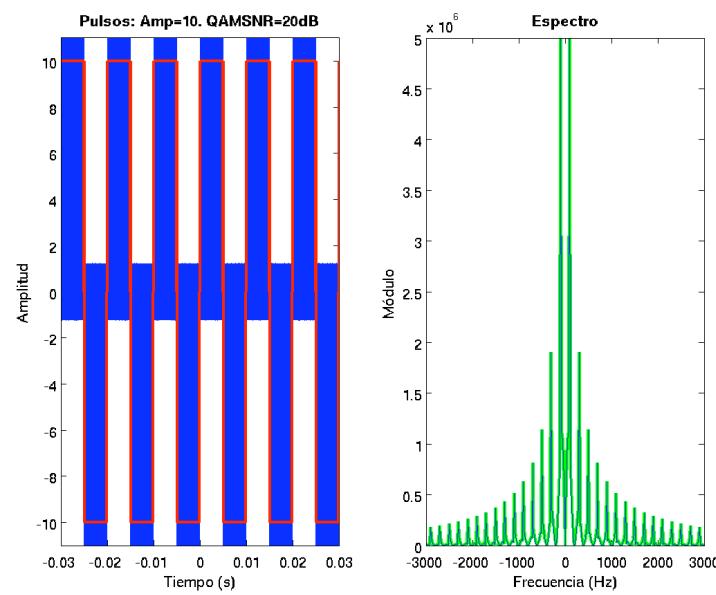
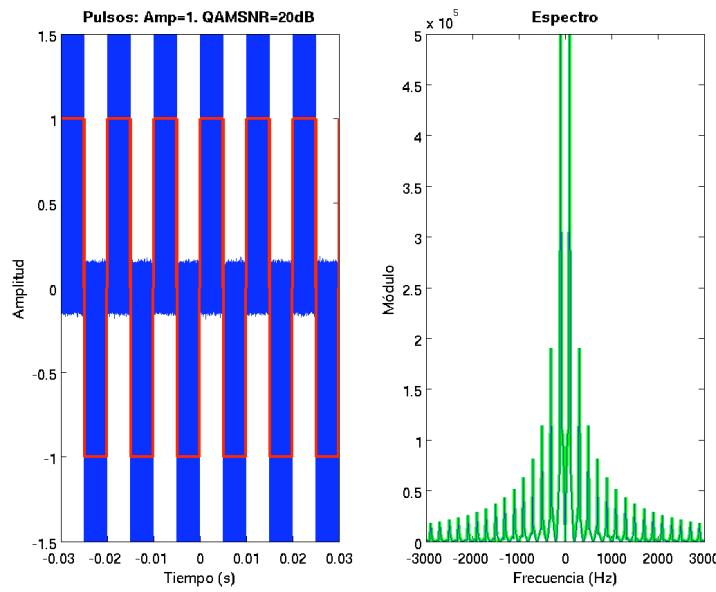
b. Modulación DSB



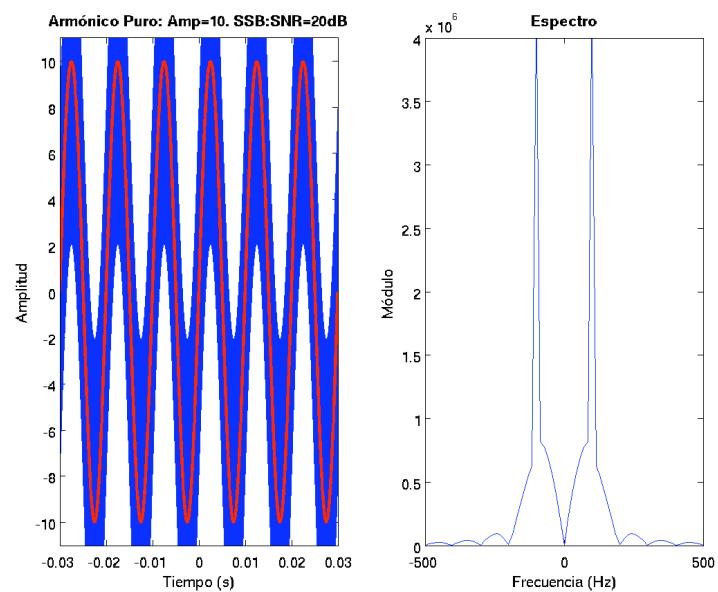
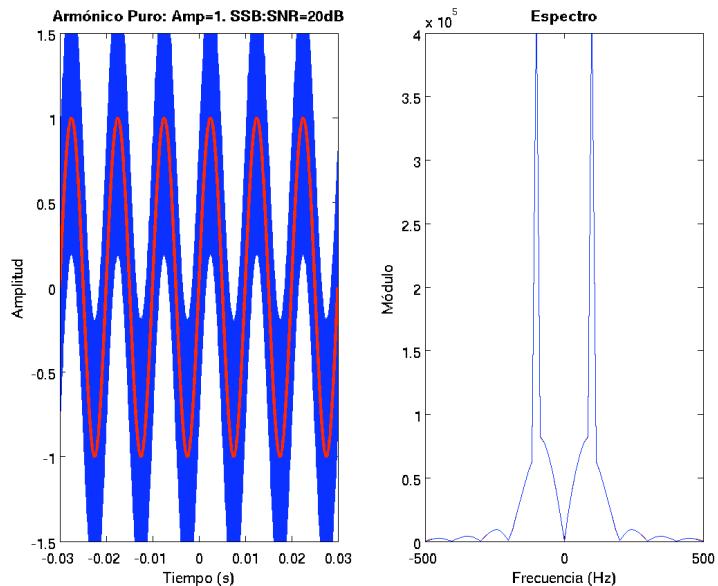


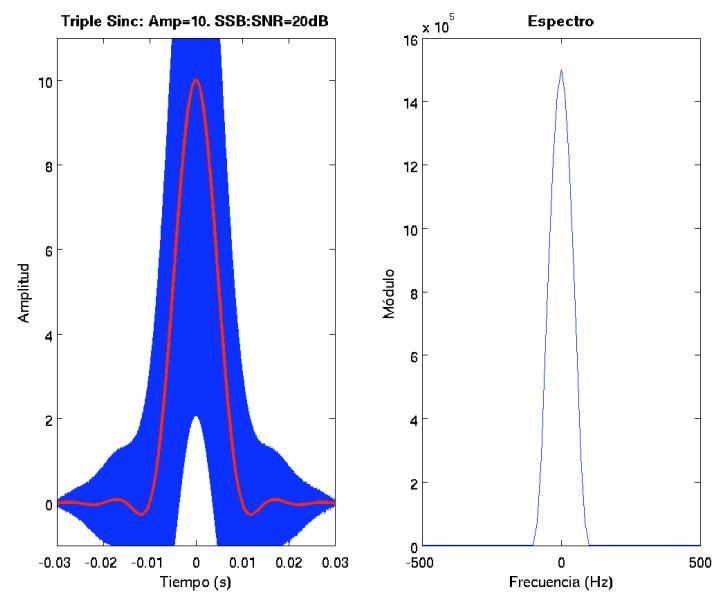
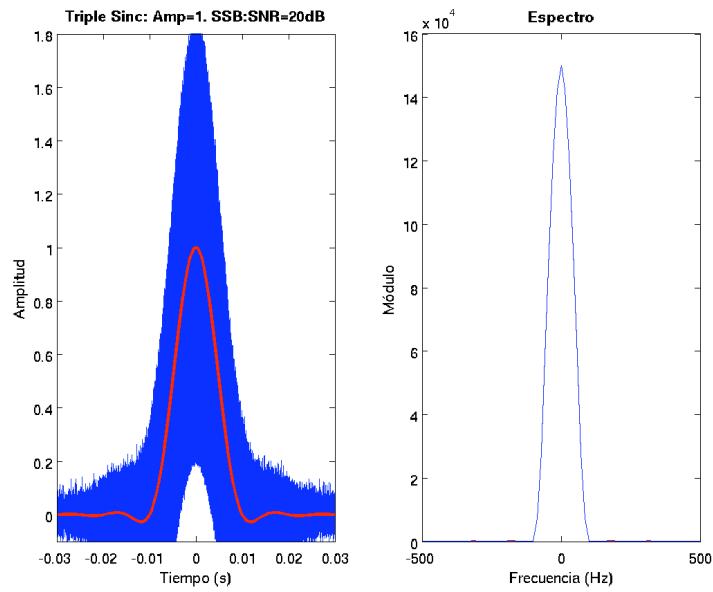
c. Modulación QAM.

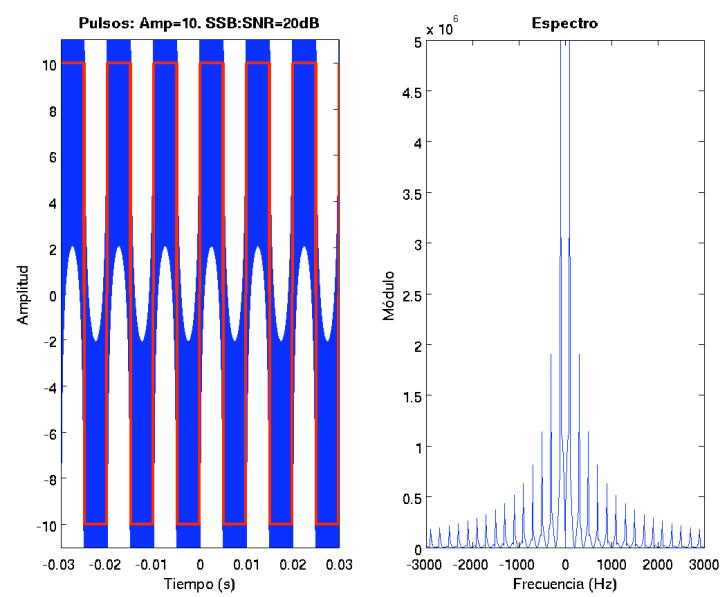
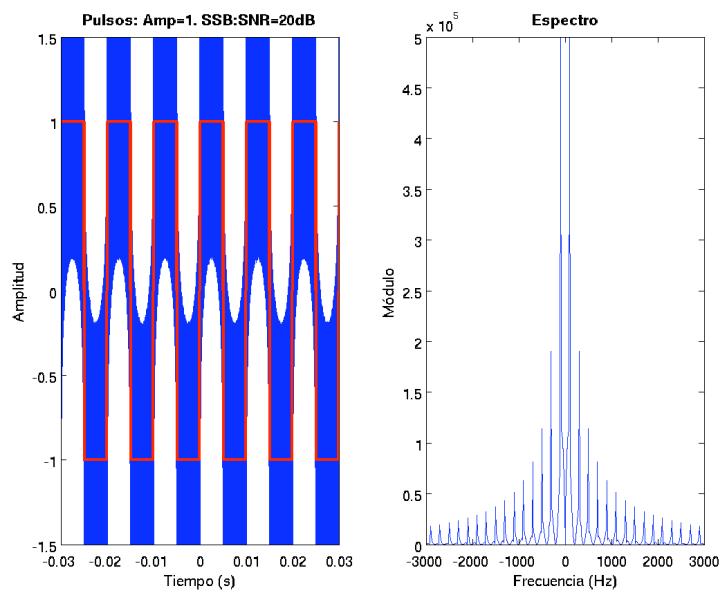




d. Modulación SSB.







5. CONCLUSIONES.-

En base a las representaciones que ilustran los resultados obtenidos tras la simulación propuesta, se pueden establecer las siguientes conclusiones en relación a las siguientes propiedades o características.

En primer lugar, según sea la señal mensaje, la transmisión se verá afectada de diferentes maneras. Cuanto mayor sea la amplitud de la señal mensaje, mayor será la potencia que se envía y, en consecuencia, el ruido que introduce el canal afectará en menor medida a la transmisión, pudiéndose obtener mejores recuperaciones de la señal cuanto mayor sea la amplitud de la señal enviada. En cuanto al ancho de banda de la señal mensaje, es posible afirmar que cuanto mayor sea dicho ancho de banda, mayor será el efecto del ruido sobre la señal, puesto que el ruido afecta a todas las frecuencias por igual. En consecuencia, las señales de tipo senoidal son las que mejor son recuperadas tras la demodulación. No obstante, aunque la señal de pulsos es la que tiene un ancho de banda mayor, en muchos casos se recupera su espectro mejor que el de la señal triple sinc, cuyo ancho de banda está limitado a 150 Hz. Este efecto es debido a que aunque la forma de onda no se recupere con exactitud, las características de ésta hacen que el espectro se recupere bastante bien.

En lo que se refiere al canal, queda claro que cuanto mayor sea el nivel de ruido que se introduce, más difícil será obtener una señal a la salida que guarde parecido con la señal mensaje que se transmite. A pesar de ello, en muchos de los casos, bajo condiciones de alto nivel de ruido ($SNR = 0 \text{ dB}$) las modulaciones propician que la señal recuperada sea válida, cosa que no ocurriría en caso de no realizar modulación alguna.

En referencia a las características de las modulaciones, queda constatado que cuanto mayor sea la frecuencia de la señal que se utiliza como portadora más eficiente será la modulación y más inmune será la misma al efecto del ruido. De esta forma, cuanto mayor sera dicha frecuencia, mayor parecido guardará la señal recuperada con la señal mensaje.

Por último, hay que decir que, a pesar de que la modulación SSB es más compleja en cuanto a diseño, SSB ofrece los mejores resultados, puesto que ofrece un ancho de banda más reducido que el de las demás modulaciones y, por tanto, una mayor inmunidad al ruido. Le sigue muy de cerca QAM, puesto que aunque el efecto del ruido es ligeramente superior que en SSB, ofrece un ancho de banda equivalente al de SSB (incluye dos señales mensaje en el doble de ancho de banda) y el diseño de los sistemas de modulación y demodulación es de menor complejidad. Además, hay que decir que AM es la peor de las modulaciones estudiadas ya que pierde gran cantidad de potencia, aunque en el estudio no lo parece porque se ha introducido un amplificador a la salida de la demodulación como se comentó anteriormente, necesita un ancho de banda mayor y, además, la salida ofrece un nivel de componente continua. No obstante, su esquema de demodulación es realmente simple y es capaz de realizar la demodulación de manera no coherente, es decir, no es necesario tener una copia de la señal portadora para proceder a la demodulación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Lathi, *Modern Digital And Analog Communication Systems*

[2] Matlab, *Ayuda general de Matlab*.