

# Radio Taller Fourier

## Laboratorio 6

### Modulación I

## 1. Introducción

En esta práctica y la que sigue exploraremos el proceso denominado (de)modulación. Es decir, tomar una señal bandabase y trasladarla en frecuencia de tal manera que quede centrada en una frecuencia mucho más alta, llamada *portadora*. Este proceso se utiliza en sistemas inalámbricos antes de enviar la señal a la antena, pero también en sistemas cableados como la televisión por cable.

Como preparación a la práctica, nos preguntaremos para qué se realiza esta traslación. Es decir, ¿qué se gana con una señal a frecuencias tan altas respecto a la original en bandabase?

1. Busque información sobre antenas sencillas como el dipolo, en particular en cuanto al tamaño de estas antenas a medida que la frecuencia portadora sube. Por otro lado, y quizá negando la ventaja anterior, busque información sobre la atenuación con la distancia recorrida por la señal en función de la frecuencia portadora.
2. Pregúntese también que sucedería si todas las señales se superponen en el espectro. ¿Cómo podría recibirse una transmisión en particular?

## 2. Modulación en Fase

En esta práctica entonces simularemos un sistema de modulación, donde trasladaremos en el espectro la señal bandabase producida por la canción que venimos trabajando hasta ahora. Para ello tendremos que poder trabajar dentro de GNU Radio con frecuencias mucho mayores que el ancho de banda de la canción.

3. Utilice un `Wav File Source` para levantar algún archivo de audio, y procéselo de tal manera que la señal de audio quede en bandabase pero se pueda trabajar dentro de GNU Radio sin problemas hasta aproximadamente los 500 kHz.

Ahora trataremos de trasladar el espectro del audio en frecuencia.

4. Tome la señal generada en la parte anterior y multiplíquela por un tono real, cuya frecuencia se configurará mediante un slider. ¿Qué sucede con el espectro a medida que se varía la frecuencia del tono? Justifíquelo analíticamente.

5. Haga la misma prueba, pero con un tono complejo. Para ello, genere un complejo cuya parte real será la señal generada en la parte 3 y parte imaginaria cero, y luego multiplíquelo por el tono complejo. Justifique analíticamente lo que sucede con el espectro, y en particular las diferencias con la parte anterior.

El sistema anterior, que genera señales complejas, parece un poco irrealista, pero es la base de casi todos los sistemas de transmisión y recepción modernos, como veremos durante esta y la próxima práctica. Ahora bien, está claro que la antena admite únicamente señales reales (como un voltaje o una corriente).

6. Tome la parte real de la señal anterior y observe su espectro. Escriba la expresión analítica resultante y justifique lo que ve.
7. ¿Qué frecuencia debe tener el tono para que las “imágenes” resultantes estén separadas en frecuencia?
8. Tome la señal modulada (i.e. la señal generada en la parte 6) y multiplíquela por la parte real del tono complejo que utilizó en transmisión. Verifique qué sucede con el espectro (tanto en GNU Radio como analíticamente).
9. ¿Cómo puede recuperar la señal de audio? Impleméntelo. Verifique qué sucede si la condición de la parte 7 no se cumple.

### 3. Modulación en fase y cuadratura

Lo realizado en la parte anterior se podría denominar modulación “tradicional”. En este punto debería dibujar un diagrama de bloques del sistema de transmisión/recepción que acaba de implementar, con el fin de terminar de entender el sistema. A pesar de funcionar, este sistema tiene una desventaja muy importante, y tiene que ver con el espectro ocupado por la señal modulada.

10. ¿Cuánto ancho de banda ocupa la señal de audio original bandabase? ¿Y la señal pasabanda modulada?

Existen al menos dos maneras de evitar este desperdicio de espectro. Aquí exploraremos las denominadas componente en fase y cuadratura.

11. En la parte 5 se generó una señal compleja con parte imaginaria nula. Sin embargo, esto fue arbitrario. Haga un cambio menor en su diagrama de transmisión, generando ahora un complejo cuya parte imaginaria sea el audio, y la parte real nula. Vea el espectro de la señal modulada y justifíquelo a partir de la expresión analítica de la señal transmitida.
12. Pruebe el sistema de recepción que armó antes y verifique que no se escucha nada.
13. Justifique esta “falla” escribiendo analíticamente el resultado de multiplicar la señal transmitida por el coseno de recepción.

14. Verifique (tanto analítica como experimentalmente) que utilizando la parte imaginaria del tono de transmisión en recepción (muy similar a lo realizado en la parte 9) se recupera la canción a excepción de una constante multiplicativa.

En resumen, se puede enviar la canción tanto en la parte real como imaginaria del complejo (que luego es modulado) y para recibirlos correctamente hay que multiplicar la señal de entrada por la parte real o imaginaria del tono complejo original respectivamente. Por ejemplo con el último experimento usted está recibiendo el complejo que envió: uno que tiene parte real nula y parte imaginaria la canción enviada. Observe que perfectamente podría enviar dos canciones distintas en el mismo espacio de espectro.

15. Diseñe un sistema de transmisión y recepción que sea capaz que recibir por separado cada una de las canciones, a pesar de que están siendo enviadas al mismo tiempo y en el mismo espectro. Diseñe dos versiones del sistema: (i) una que trabaje exclusivamente con tonos reales (aunque la señal a ser transmitida sea compleja) y (ii) una abstracción donde todas las señales serán complejas. Realice el diagrama con lápiz y papel.
16. Tome dos canciones distintas y ponga una en la parte real y otra en la imaginaria de la señal compleja a ser modulada por los tonos e implemente los sistemas diseñados en la parte anterior. Verifique que, idealmente, ambos sistemas son totalmente equivalentes respecto a la señal recibida.

Por lo tanto, en el punto anterior logró enviar por un canal real una señal compleja. Esto en la literatura muchas veces se denomina *representación compleja banda-base de una señal pasa-banda*, y la componente real se denomina *en fase* y la imaginaria *en cuadratura*. La siguiente pregunta es quizá la más importante del curso y pretende terminar de entender la relación entre ambas.

17. Si  $s(t)$  es la señal pasa-banda y  $s_b(t)$  su representación compleja banda-base, ¿cuál es la relación entre ambas? Brinde una expresión para  $s(t)$  en función de  $s_b(t)$  y viceversa, tanto en el tiempo como en frecuencia.

Veremos ahora que el análisis que hicimos antes no es únicamente un artificio matemático, sino que es muy útil en la práctica. Por ejemplo, observe que cualquiera de los bloques que representan hardware dentro de GNU Radio (como ser el `Soapy RTLSDR Source` o `UHD: USRP Sink`) admiten datos complejos, pues utilizan esta representación para recibir y enviar las muestras en fase y cuadratura.

18. Infiera entonces cómo es el diagrama interno del equipo tanto en transmisión como recepción. En el EVA del curso hay material que puede ayudarlo en esta pregunta.