

### 3.1. Simulación

Previamente al diseño y construcción del sistema de espectro expandido (transmisor y receptor) se realizaron simulaciones con MATLAB – *Simulink*.

La simulación consta de 3 etapas:

- Transmisor
- Canal
- Receptor

El objetivo de la misma es apreciar el espectro de las distintas señales en las diferentes etapas, para luego contrastarlas con las obtenidas en el sistema implementado. Cada etapa se compone de subsistemas, pudiendo apreciar en cada caso su funcionamiento.

#### 3.1.1. Transmisor

En el transmisor las señales que están involucradas son la información, la portadora y el código PN, por lo tanto el sistema básico de un transmisor en DSSS es:

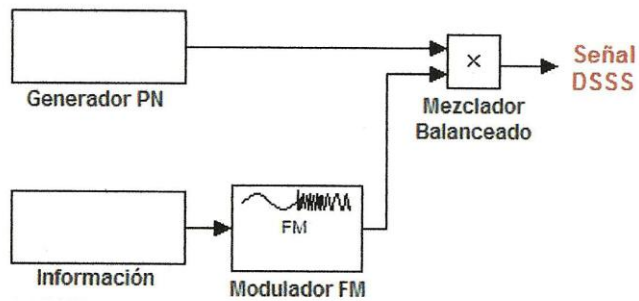


Figura 24: Esquema de simulación del transmisor DSSS.

El generador PN posee el siguiente esquema:

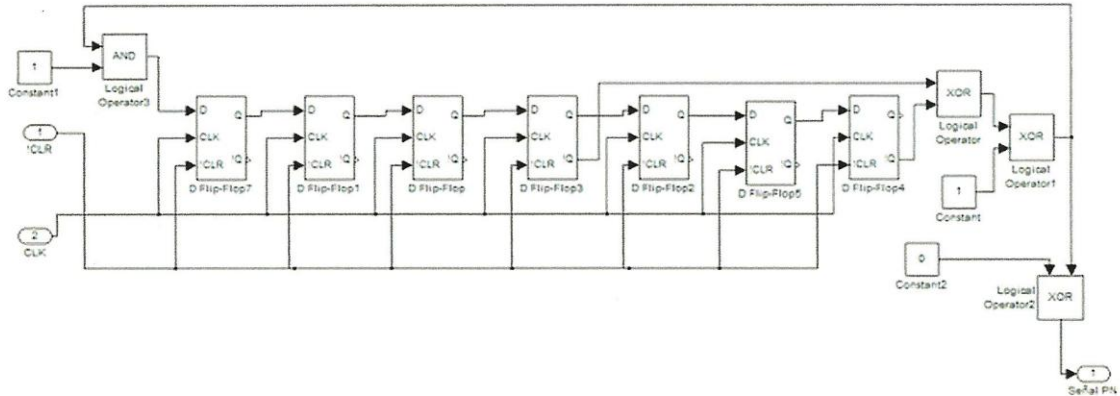


Figura 25: Esquema de simulación del generador PN.

El diagrama de conexión anterior es el mismo que se utiliza en la implementación, de manera tal que luego podremos comparar las señales resultantes.

Como el generador PN de la figura 25 (compuesto por 7 flip-flops) entrega una secuencia-M, el período de dicha secuencia es:

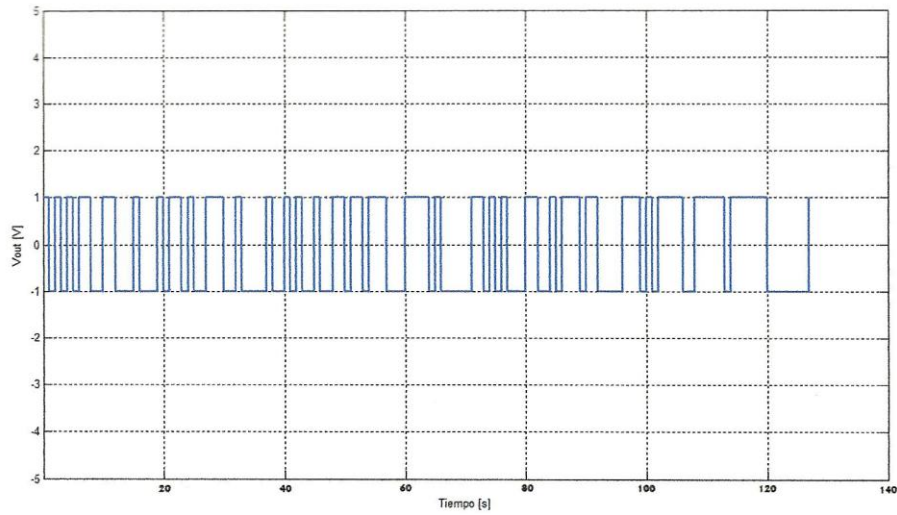
$$N = 2^7 - 1 = 127$$

Ecuación 10.

Entonces,  $T_{PN} = 127/f_{clock}$ .

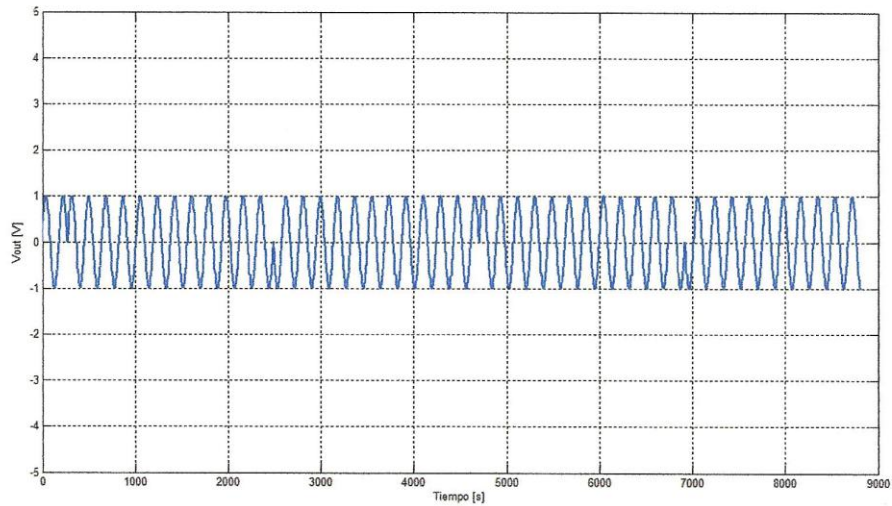
Para la simulación se eligió  $f_{clock} = 1Hz$ .

El resultado de la simulación del generador PN se encuentra a continuación:



**Figura 26:** Código PN obtenido en la simulación.

La señal de espectro expandido se obtiene con el producto entre la portadora y el código PN (ver figura 16), de esta forma se produce una modulación en fase de la portadora. El resultado de la simulación de este proceso es:



**Figura 27:** Modulación en fase de la portadora obtenida en la simulación.

Como se puede apreciar, los cambios de fase se producen en función de si en la señal PN tenemos un "1" o "-1".

### 3.1.2. Canal

Para la simulación del canal se utilizó el bloque "AWGN Channel".

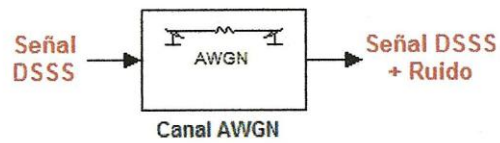


Figura 28: Canal de ruido blanco Gaussiano.

El canal de ruido blanco Gaussiano AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) es un modelo de canal en el que se suma ruido blanco Gaussiano a la señal que pasa a través de él. La señal que se recibe es:

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad \text{Ecuación 11.}$$

Donde:

$r(t)$ : Señal resultante.

$s(t)$ : Señal que pasa por el canal.

$n(t)$ : Ruido blanco Gaussiano.

La función de auto-correlación del canal AWGN es proporcional a la función delta de Dirac [20], es decir:

$$R(\tau) \propto \delta(\tau) \quad \text{Ecuación 12.}$$

Donde:

$R(\tau)$ : Función de auto-correlación.

$\delta(\tau)$ : Función delta de Dirac.

De esta manera, si se considera al ruido como una señal más, se puede notar que es imposible de correlacionar. Por lo tanto, si se ensancha la señal de ruido con un código PN, nunca se la va poder desensanchar.

### 3.1.3. Receptor

Para la demodulación de la señal en espectro expandido solo se necesita volver a multiplicar dicha señal por el mismo código que se tenía en el transmisor. De esta manera se vuelve a obtener la señal portadora modulada en FM o sin modulación en el caso que se transmita la portadora solamente. Luego para obtener la información se necesitará un demodulador FM.

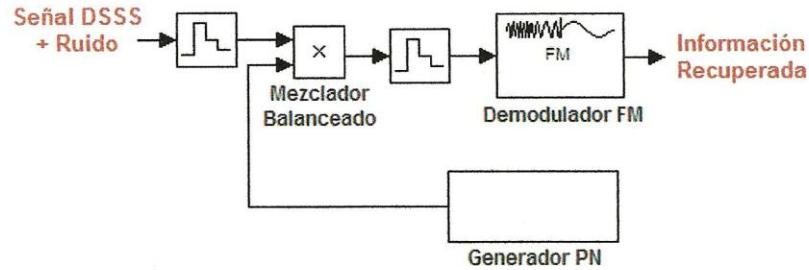


Figura 29: Esquema de simulación del receptor DSSS.

A continuación se observa el espectro de las señales en las diferentes etapas y se puede apreciar la expansión del ancho de banda cuando se modula en fase a la portadora con el código PN.

La siguiente figura muestra la señal portadora sin modular que se encuentra en 5kHz. Se fijó esta frecuencia, ya que la simulación se implementó para verificar conceptualmente el diseño independientemente de los valores que se utilizarán en el sistema real.

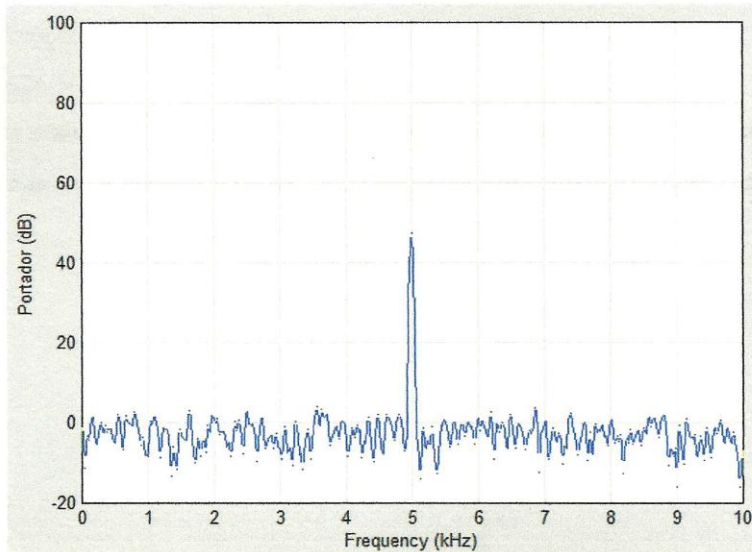


Figura 30: Señal portadora (5kHz) obtenida en la simulación.

Dicha portadora se modula en fase mediante un código PN. Se obtiene el siguiente espectro:

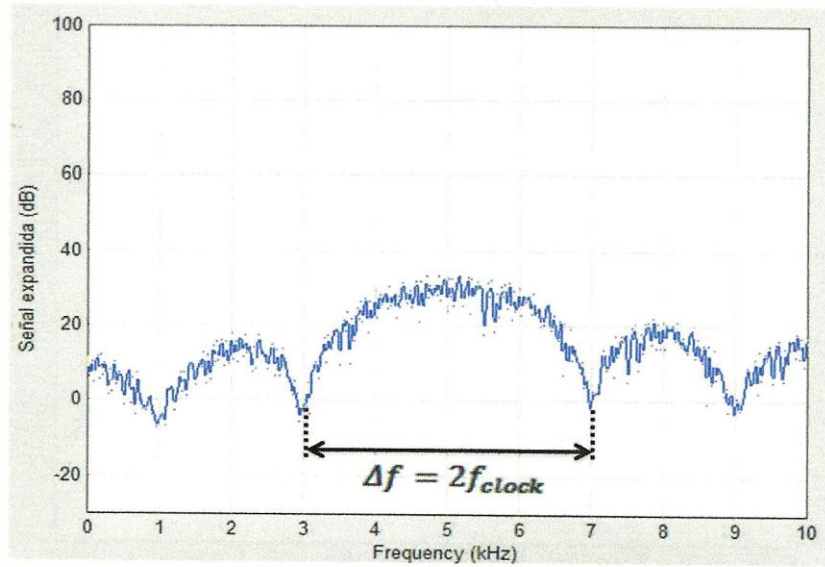


Figura 31: Señal expandida (5kHz) obtenida en la simulación.

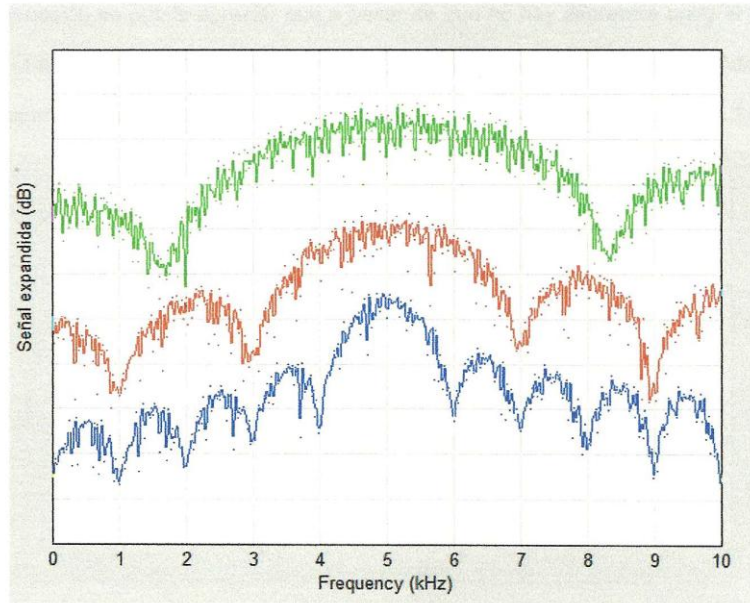
En la siguiente figura se pueden apreciar tres señales en espectro expandido con diferentes anchos de banda. Esto es debido a que la misma portadora (5kHz) fue modulada en fase por el mismo código PN, pero la señales de clock que maneja cada PN tienen diferentes frecuencias:

—  $f_{clock} = 3.33kHz$

---  $f_{clock} = 2kHz$

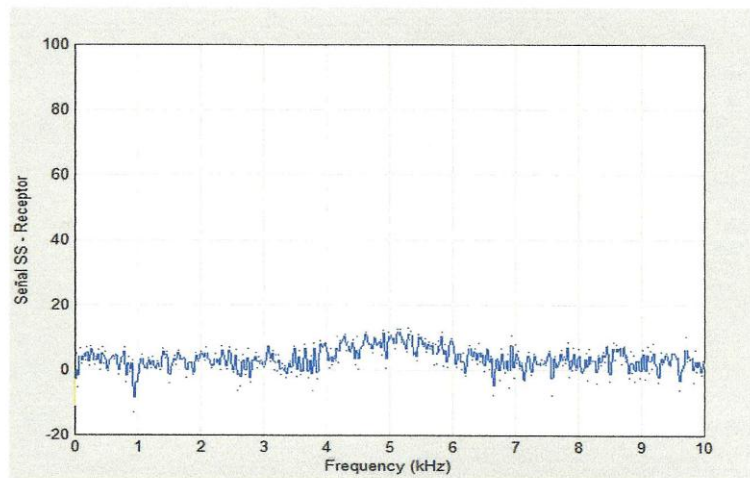
----  $f_{clock} = 1kHz$

Al tener diferentes frecuencias de clock, los anchos de banda de la señal expandida resultan ser distintos. Como se puede apreciar, a mayor frecuencia se tiene mayor ancho de banda ( $\Delta f = 2f_{clock}$ ).



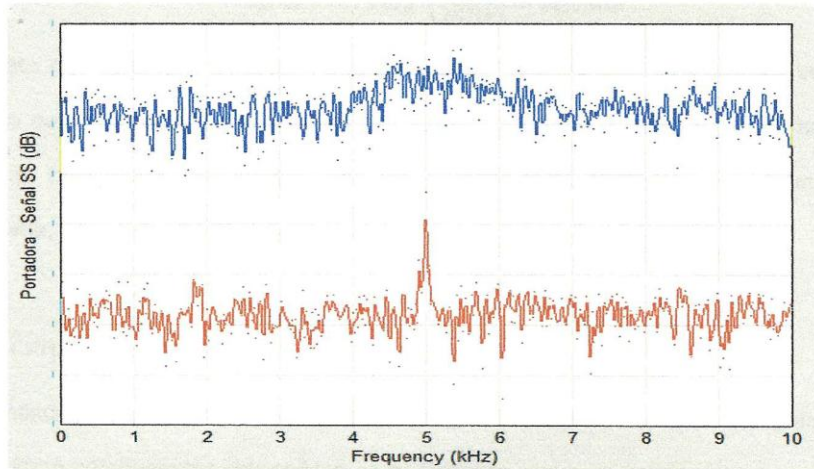
**Figura 32:** Señales Expandidas con distintas frecuencias de clock obtenidas en la simulación.

En la figura 33 se puede ver la señal que llega al receptor. Como se puede notar la señal se confunde con el ruido del canal. Como se mencionó anteriormente, esta es una de las grandes ventajas de los sistemas de espectro expandido.



**Figura 33:** Señal expandida que llega al receptor simulado.

A continuación se puede apreciar que a pesar de que no hay diferencia entre el ruido y la señal SS, se puede obtener la portadora del transmisor utilizando el código PN correcto. Además se puede observar que ocurre si la señal PN del receptor no coincide con la del emisor (ver figura 34).



**Figura 34:** Demodulación simulada con diferentes códigos PN.

- Señal obtenida en el receptor demodulando con el correcto código PN.
- Señal obtenida en el receptor demodulando con otro código PN diferente al del receptor.

La ganancia de proceso (ver ecuación 3) del sistema simulado es:

$$G_p = \frac{4kHz}{25Hz} = 160 \quad \text{Ecuación 13.}$$

$$G_p(dB) = 10 \log \left( \frac{4kHz}{25Hz} \right) = 22,05dB \quad \text{Ecuación 14.}$$

Es decir que la relación entre la banda expandida y la señal original es de 160 veces.

Como conclusión, se debe poner de manifiesto la similitud obtenida entre la simulación y lo extraído de la bibliografía. Si comparamos las figuras 21,22 y 23 con las figuras 31, 33 y 34 respectivamente, se puede apreciar dicha semejanza.