

Digital Communications Toolkit

Manual de Usuario



Indice

Introducción.....	3
Funcionamiento General del ADALM - PLUTO.....	4
¿Como Empiezo?.....	6
Instalación.....	7
Homepage.....	8
Modo Transmisión.....	10
Modo Recepción.....	21
Metodología de Transmisión y Recepción.....	33
Mas Recomendaciones y Advertencias.....	34
Constelaciones y sus Umbrales de Recepción.....	38

Introducción

El módulo de aprendizaje activo ADALM-PLUTO (PlutoSDR) es una herramienta creada por Analog Devices Inc. Ayuda a los usuarios a introducirse en los fundamentos de la radio definida por software (SDR), la radiofrecuencia (RF) y las comunicaciones.



El Digital Communications Toolkit es un programa desarrollado utilizando las bondades del ADALM-PLUTO, y cuyo objetivo es complementar el aprendizaje de las señales digitales, estudio de sus características fundamentales y de los efectos desfavorables que puede generar el medio de transmisión sobre estas. Es un programa basado en el idioma de programación Python, el cual permite interoperabilidad con el módulo ADALM-PLUTO de manera rápida y sencilla, siempre y cuando se instalen las librerías y complementos necesarios.

En el presente documento encontrarás cada uno de los pasos necesarios para utilizar el programa, y todas las posibilidades disponibles dentro de este.

Se recomienda tener conocimientos previos básicos del área de comunicaciones digitales antes de utilizar el programa.

Funcionamiento general del ADALM - PLUTO

Los dispositivos SDR como el Adalm-Pluto muestrean en cuadratura. Este término se refiere a dos ondas que están desfasadas 90° , de manera que las mismas son ortogonales. Por simplicidad, las ondas utilizadas son un coseno y un seno, a los cuales se les denomina componente “en fase” (I), a la amplitud del coseno, y componente “cuadratura” (Q) al del seno.

Lo que permite controlar con facilidad la amplitud y fase de la señal senoidal de salida modificando la amplitud de las componentes “I” y “Q”, tal y como se presenta a continuación:

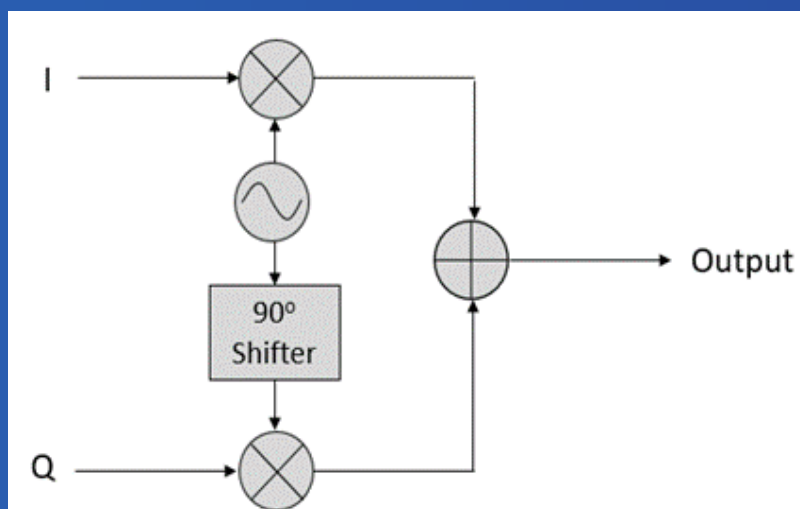
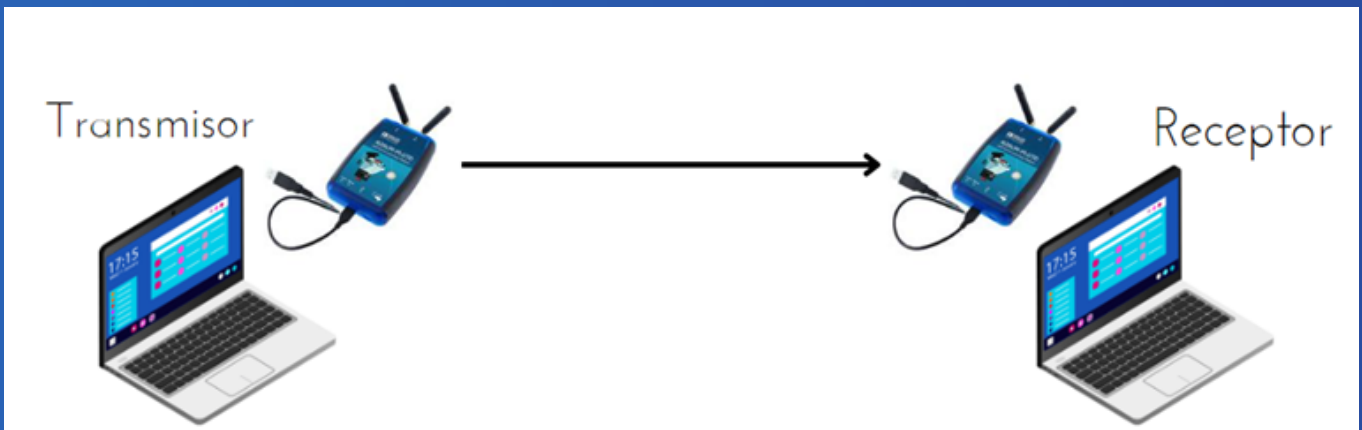


Diagrama transmisor del módulo Adalm – Pluto

Lichtman, M. (s. f.). PySDR: A Guide to SDR and DSP
using Python - <https://pysdr.org>

En la realidad, la señal que es recibida por la antena del módulo ADALM – PLUTO, es muestreada en cada rama por separado (rama Q y rama I), para luego combinarlas en forma de números complejos, generando por par de muestras una “muestra compleja” de la forma $I + jQ$ (de ahí el nombre IQ Sampling). Por lo tanto, cuando se hable que el módulo está trabajando a 3 MHz de frecuencia de muestreo, por ejemplo, realmente estará trabajando a 3 millones de muestras IQ por segundo.

¿Como empiezo?



El programa fue diseñado para trabajar de manera cooperativa entre dos personas, cada una con una computadora, una unidad del módulo ADALM-PLUTO y el programa Digital Communications Toolkit instalado en su respectiva computadora. Un usuario fungirá el papel de emisor y el otro de receptor. Por lo tanto, lo primero que tiene que hacer cada usuario es conectar el módulo a su PC a través de un puerto USB disponible.

Se recomienda que se trabaje en un lugar aislado de cualquier tipo de señal externa, y a una distancia no mayor a medio metro de distancia entre los módulos. Además, el lugar de trabajo debe tener una temperatura ambiente no mayor a 31°, para obtener resultados óptimos.

Una vez hecho esto, los usuarios ya están listos para trabajar con el programa.

Instalación

Actualmente, tiene tres formatos disponibles:

- Archivo .exe.
- Ejecución de los scripts directamente desde un compilador o interprete de Python, en un ordenador con SO Windows.
- Ejecución de los scripts directamente desde un compilador o interprete de Python, en un ordenador con SO Linux.

A continuación, se presenta un link al video explicativo de la metodología de instalación para cada uno de estos formatos.

Paso a Paso para la instalación del software “Digital Communications Toolkit”: <https://youtu.be/tcBZIE4apWI>

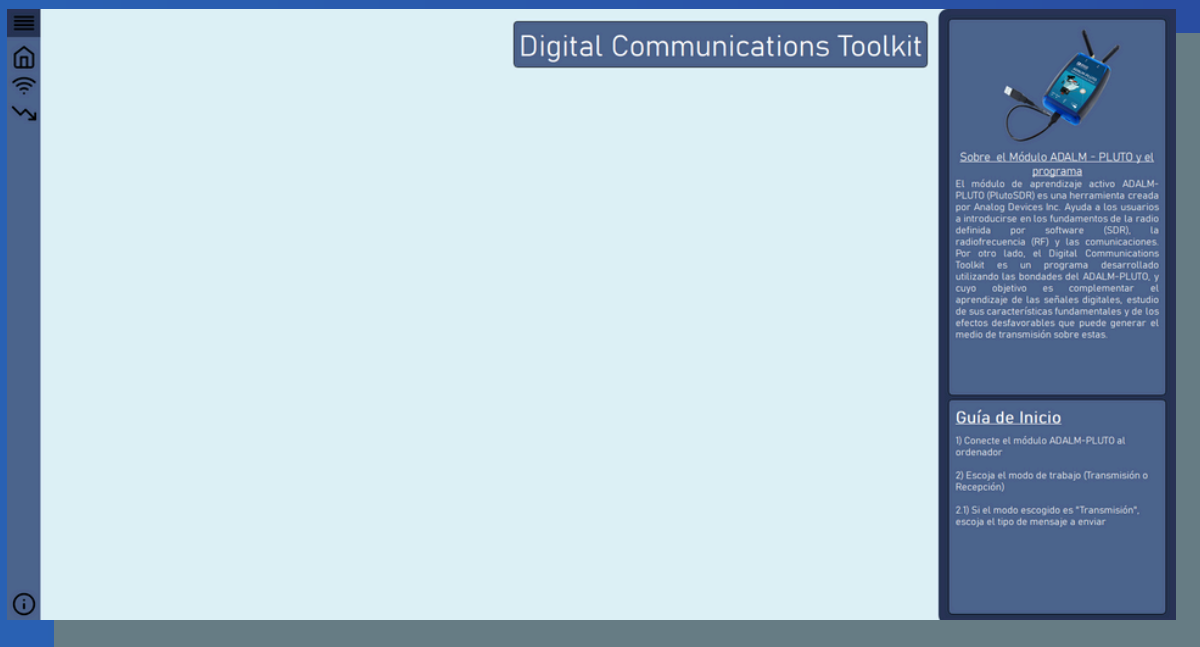
También, el link al repositorio en GitHub en donde se puede obtener toda la información y código del presente programa (Inglés).

<https://github.com/LuisMunoz1997/Digital-Communications-Toolkit-0.1.0.git>

Homepage

¿Que sucede al ejecutar el programa?

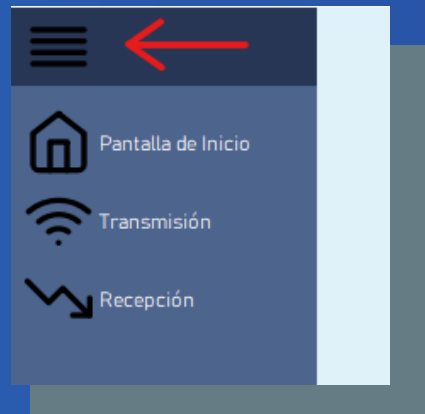
Al abrir el programa, aparecerá en pantalla el apartado inicial del programa, y donde el usuario puede escojer entre las distintas modalidades de trabajo. A la derecha de esta pantalla inicial, se presenta una breve descripción del módulo y el programa y una mini guía de inicio.



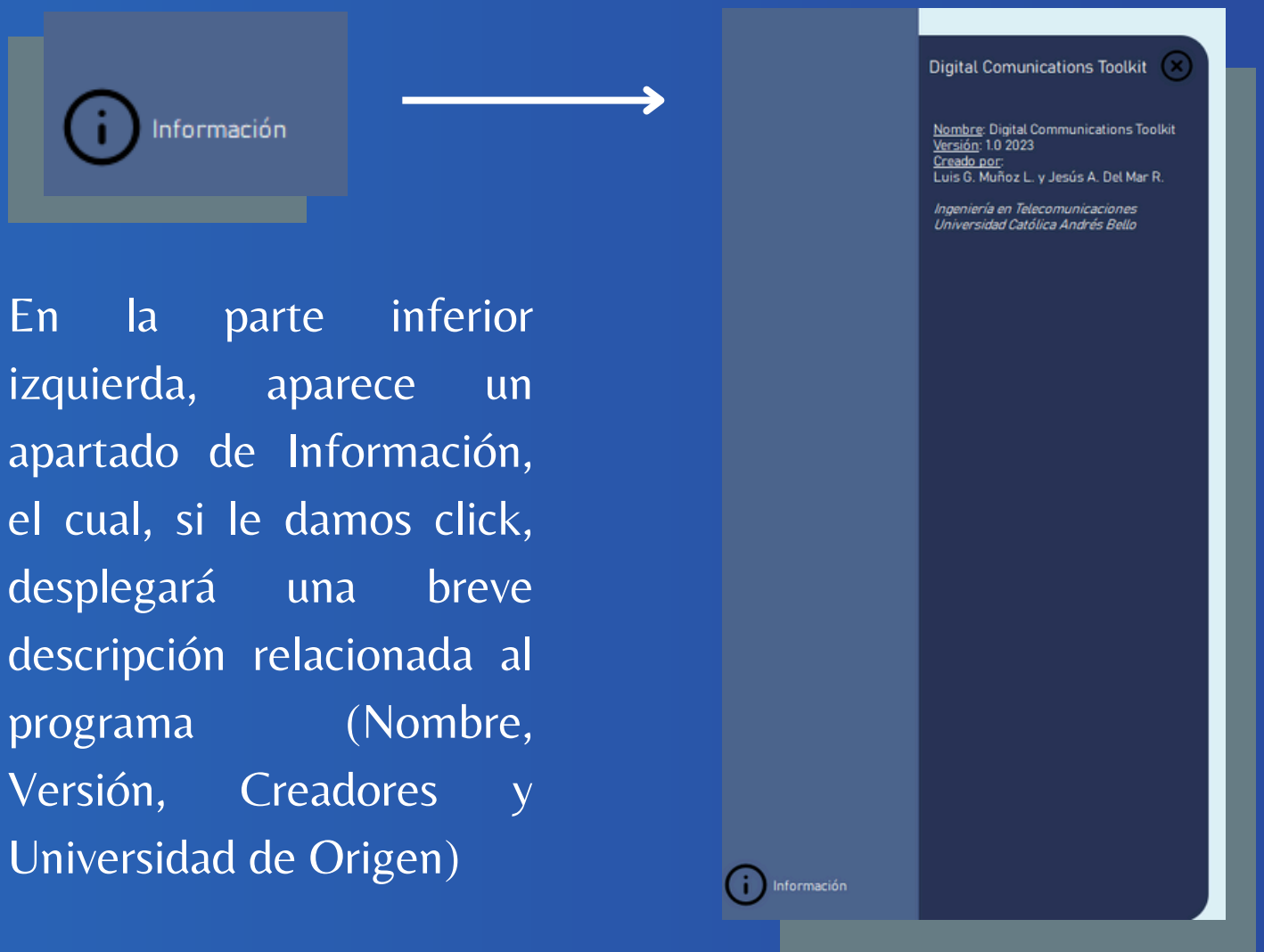
¿Que opciones tengo?

Al clicar las lineas en la parte superior izquierda de la pantalla:



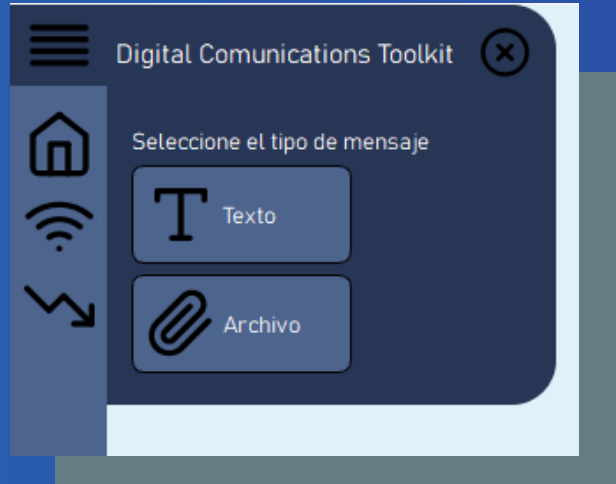


Se desplegará el menú, mostrándose las dos opciones de trabajo (Transmisión y Recepción), así como, en caso de estar en cualquiera de estas, la opción de regresar a la pantalla de inicio.



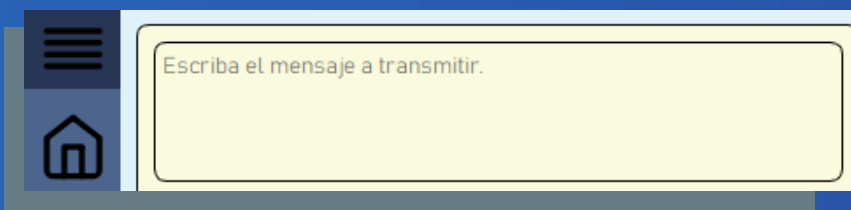
Modo Transmisión

Si se hace click a la opción de Transmisión:



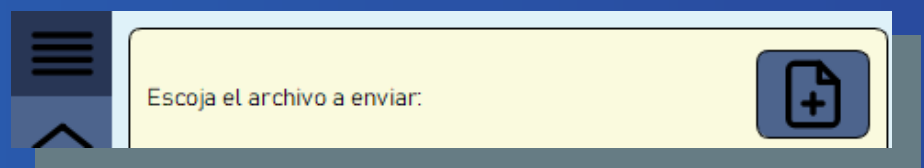
Se despliega una pantalla, la cual presenta las opciones disponibles de trabajo para este apartado, en función del tipo de mensaje que se quiera enviar.

En ambos casos, se desplegará una nueva pantalla, en la cual se inicializa el proceso de Transmisión. Con la diferencia de que, en la parte superior izquierda, el apartado en el que se ingresa el mensaje variará:



Opción Texto: se escribe directamente en la interfaz.

Opción Archivo: se clickea el botón a la derecha, el cual despliega el directorio de archivos, a fin de escoger uno.

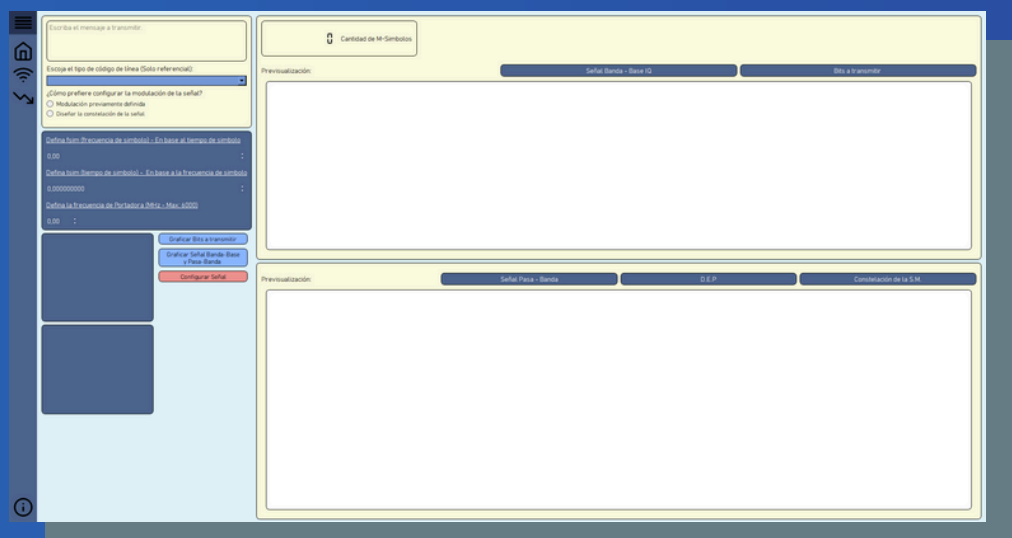


Nota: Es importante tener en cuenta el tamaño del archivo, en caso de que se escoja esta opción. Mientras más grande sea, más bits se tendrán que transmitir, aumentando a su vez la probabilidad de error por bit transmitido. Disminuyendo con esto, la probabilidad de conseguir una comunicación efectiva.

Una vez entendido lo previo, se puede avanzar con la explicación de la configuración del proceso de transmisión.

¿Que aparece en el modo Transmisión?

Después de escoger el tipo de mensaje, se desplegará la pantalla del modo de transmisión.



A la derecha, se encuentra el apartado de gráficas que permite al usuario previsualizar tanto la señal a transmitir en diferentes escalas (Tiempo, Densidad Espectral de Potencia y Constelación), como la señal Banda - Base, que corresponde a los bits del mensaje. También aparece un apartado de “cantidad de M-simbolos”, el cual cambiará su valor numérico, una vez se configure la señal y se ejecute alguna acción.

A la izquierda, se presenta el apartado de configuración de la señal a graficar, y/o transmitir.

Escriba el mensaje a transmitir.

Escoja el tipo de código de línea (Solo referencial):

¿Cómo prefiere configurar la modulación de la señal?

☐ Modulación previamente definida

☐ Diseñar la constelación de la señal

Defina fsim (frecuencia de símbolo) - En base al tiempo de símbolo

0,00 :

Defina tsim (tiempo de símbolo) - En base a la frecuencia de símbolo

0,000000000 :

Defina la frecuencia de Portadora (MHz - Max: 6000)

0,00 :

Graficar Bits a transmitir

Graficar Señal Banda-Base y Pasa-Banda

Configurar Señal

¿Como puedo configurar una señal?

1) Una vez definido el mensaje, el primer apartado que aparece (de arriba hacia abajo), es la definición del código de línea (solo referencial).

Escoja el tipo de código de línea (Solo referencial):

NRZu (Non Return to Zero Unipolar)

NRZp (Non Return to Zero Polar)

RZu (Return to Zero Unipolar)

RZp (Return to Zero Polar)

AMI (Alternate Mark Inversion)

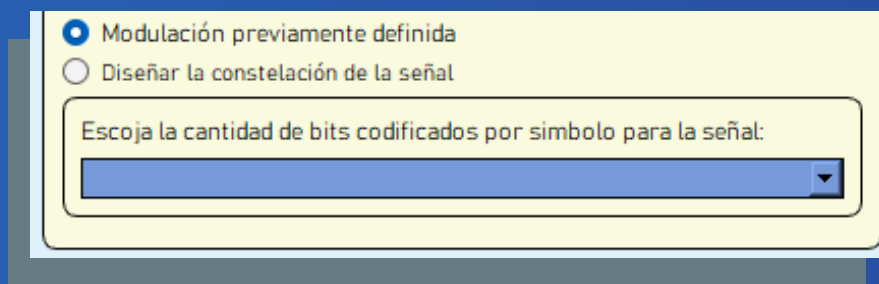
Manchester

Se puede escoger entre NRZu, NRZp, RZu, RZp, AMI y Manchester.

Posteriormente, se elige el modo de configuración de la modulación: Modulación previamente definida, o Diseñar la constelación de la señal. Empezaremos con la primera opción.

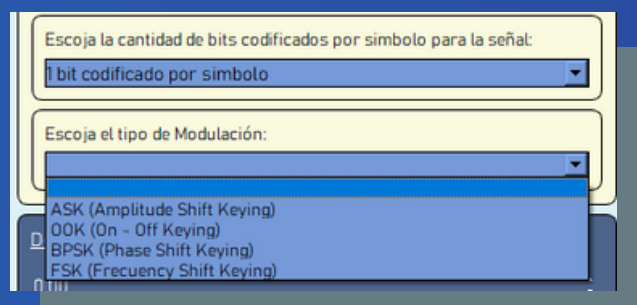
2.1) Modulación previamente definida

2.1.1) Al escoger esta opción, se despliega la opción de definir la cantidad de bits condicionados: 1, 2, 3 o 4 bits codificados por simbolo.

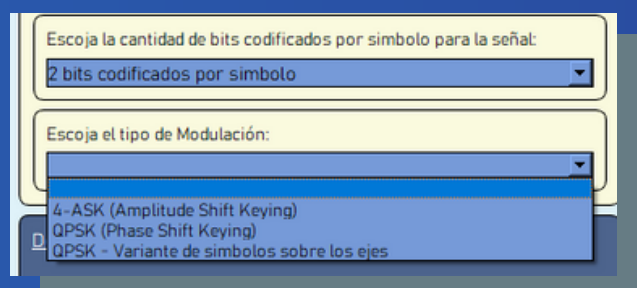


2.1.2) Una vez escogido la cantidad de bits codificado por simbolo, se desplegará la opción definir el tipo de modulación con la cual trabajar. Esta variará en función de la anterior opción:

ASK, OOK, BPSK y FSK



4-ASK, QPSK y Variante de QPSK



8-ASK, 8-PSK y 8QAM

Escoja la cantidad de bits codificados por símbolo para la señal:
3 bits codificados por símbolo

Escoja el tipo de Modulación:
8-ASK (Amplitude Shift Keying)
8-PSK (Phase Shift Keying)
8QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

16-PSK y 16QAM

Escoja la cantidad de bits codificados por símbolo para la señal:
4 bits codificados por símbolo

Escoja el tipo de Modulación:
16-PSK (Phase Shift Keying)
16QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

Particularmente, para los casos de 8QAM y 16QAM, se despliegan tres variantes de constelación disponibles:

Escoja la cantidad de bits codificados por símbolo para la señal:
3 bits codificados por símbolo

Escoja el tipo de Modulación:
8QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

Defina fsim (frecuencia de símbolo) - En base al tiempo de símbolo
0,00 :

Defina tsim (tiempo de símbolo) - En base a la frecuencia de símbolo
0,000000000 :

Defina la frecuencia de Portadora (MHz - Max: 6000)
0,00 :

Defina la variante

- Variante A
- Variante B
- Variante C

Graficar Bits a transmitir

Graficar Señal Banda-Base y Pasa-Banda

Configurar Señal

8QAM: Variante A, B y C

Escoja la cantidad de bits codificados por símbolo para la señal:
4 bits codificados por símbolo

Escoja el tipo de Modulación:
16QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

Defina fsim (frecuencia de símbolo) - En base al tiempo de símbolo
0,00 :

Defina tsim (tiempo de símbolo) - En base a la frecuencia de símbolo
0,000000000 :

Defina la frecuencia de Portadora (MHz - Max: 6000)
0,00 :

Defina la variante

- Rectangular
- Circular
- Estrella

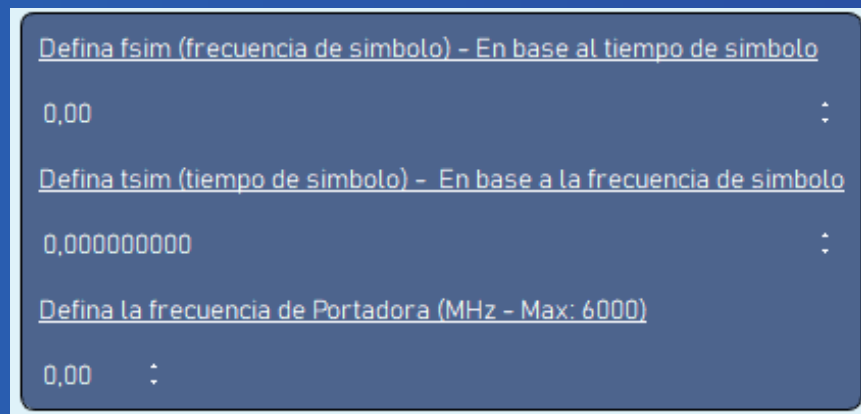
Graficar Bits a transmitir

Graficar Señal Banda-Base y Pasa-Banda

Configurar Señal

16QAM: Rectangular,
Circular y Estrella

2.1.3) Finalmente, se define parámetros relacionados a la modulación como lo son: la frecuencia de simbolo, el tiempo de simbolo y la frecuencia de portadora.



Defina fsim (frecuencia de simbolo) - En base al tiempo de simbolo

0,00 :

Defina tsim (tiempo de simbolo) - En base a la frecuencia de simbolo

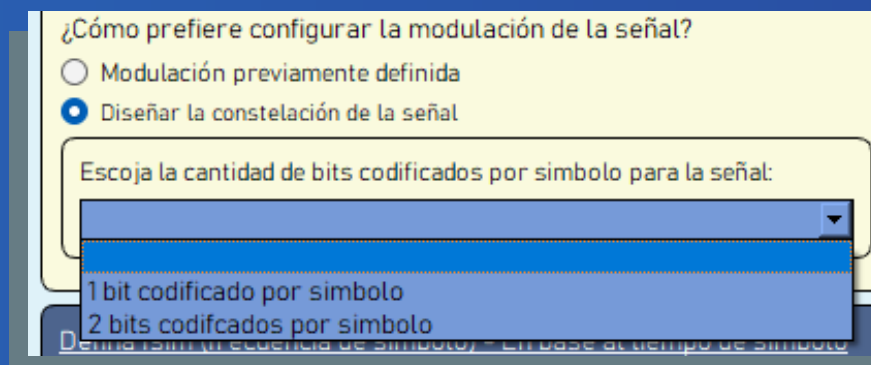
0,000000000 :

Defina la frecuencia de Portadora (MHz - Max: 6000)

0,00 :

2.2) Diseñar la modulación de la señal

2.2.1) Al igual que el apartado anterior, una vez se escoja esta opción, se despliega la opción de definir la cantidad de bits condificados: 1 o 2 bits codificados por simbolo.



¿Cómo prefiere configurar la modulación de la señal?

☐ Modulación previamente definida

☒ Diseñar la constelación de la señal

Escoja la cantidad de bits codificados por simbolo para la señal:

1 bit codificado por simbolo

2 bits codificados por simbolo

2.2.2) Una vez escogido la cantidad de bits codificado por simbolo, se despliega un apartado en el que se define al simbolo de la constelación. Cada simbolo tendrá la forma de un número complejo de la forma $x + yj$. Ejemplo: $3 + 2j$

Escoja la cantidad de bits codificados por simbolo para la señal:

1 bit codificado por simbolo

Defina fsim (frecuencia de simbolo) - En base al tiempo de simbolo

0,00 :

Defina tsim (tiempo de simbolo) - En base a la frecuencia de simbolo

0,000000000 :

Defina la frecuencia de Portadora (MHz - Max: 6000)

0,00 :

Graficar Bits a transmitir

Graficar Señal Banda-Base y Pasa-Banda

Configurar Señal

Escriba a los simb, de la forma x + yj

Escriba el simbolo 1

Escriba el simbolo 2

Para 1 bit codificado por simbolo.

Para 2 bits codificados por simbolo.

Escoja la cantidad de bits codificados por simbolo para la señal:

2 bits codificados por simbolo

Defina fsim (frecuencia de simbolo) - En base al tiempo de simbolo

0,00 :

Defina tsim (tiempo de simbolo) - En base a la frecuencia de simbolo

0,000000000 :

Defina la frecuencia de Portadora (MHz - Max: 6000)

0,00 :

Graficar Bits a transmitir

Graficar Señal Banda-Base y Pasa-Banda

Configurar Señal

Escriba a los simb, de la forma x + yj

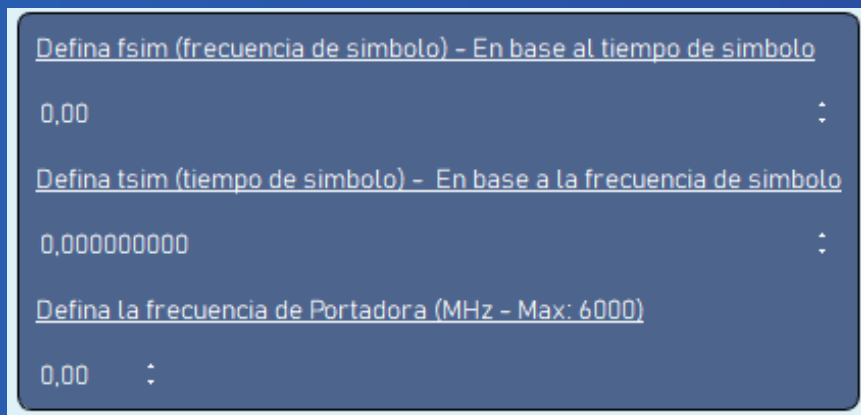
Escriba el simbolo 1

Escriba el simbolo 2

Escriba el simbolo 3

Escriba el simbolo 4

2.2.3) Finalmente, se define parámetros relacionados a la modulación como lo son: la frecuencia de simbolo, el tiempo de simbolo y la frecuencia de portadora.



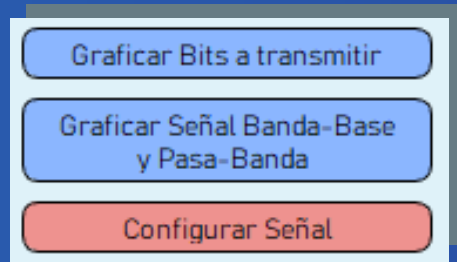
The image shows a configuration window with a dark blue background and white text. It contains three input fields, each with a title and a value. The first field is titled 'Defina fsim (frecuencia de simbolo) - En base al tiempo de simbolo' and has a value of '0,00'. The second field is titled 'Defina tsim (tiempo de simbolo) - En base a la frecuencia de simbolo' and has a value of '0,000000000'. The third field is titled 'Defina la frecuencia de Portadora (MHz - Max: 6000)' and has a value of '0,00'. Each field has a small vertical double-headed arrow to its right, indicating it is a slider or a field that can be adjusted.

Parameter	Value
Defina fsim (frecuencia de simbolo) - En base al tiempo de simbolo	0,00
Defina tsim (tiempo de simbolo) - En base a la frecuencia de simbolo	0,000000000
Defina la frecuencia de Portadora (MHz - Max: 6000)	0,00

Nota: previamente se comentó que el apartado de código de línea era “solo referencial”. Esto se debe a la forma en que se realizó la programación del diagrama de transmisión. La opción de código de línea solo le permite al usuario visualizar de manera grafica los bits del mensaje según los parámetros definidos y al tipo que haya escogido, sin embargo, esto no se considera al momento de realizar la transmisión. Es decir, al momento de ejecutar el proceso de transmisión, los bits siempre son procesados como un arreglo 0`s y 1`s, que posteriormente son transformados a un arreglo de muestras que, a nivel gráfico, se asemeja a una señal Non Return to Zero Polar (NRZp), sin considerar realmente el código de línea escogido por el usuario en la interfaz.

Ya configuré la señal ¿Ahora que puedo hacer?

Tiene la posibilidad tanto de graficar la señal como de configurarla en el módulo para posteriormente empezar con el proceso de transmisión, y viceversa. Para esto se tiene los siguiente botones:



1) Para el caso de “Graficar Bits a transmitir”, al darle click, en el apartado de gráficas, aparecerá la señal banda-base (bits) según el código de línea especificado por el usuario, y un tiempo de bit determinado por la cantidad bits codificados por simbolo.

Esto último por la ecuación:

$$T_b = \frac{T_s}{\# \text{ de bits codificados por simbolo}}$$

Donde “Tb” es el tiempo de bit y “Ts” es el tiempo de simbolo.

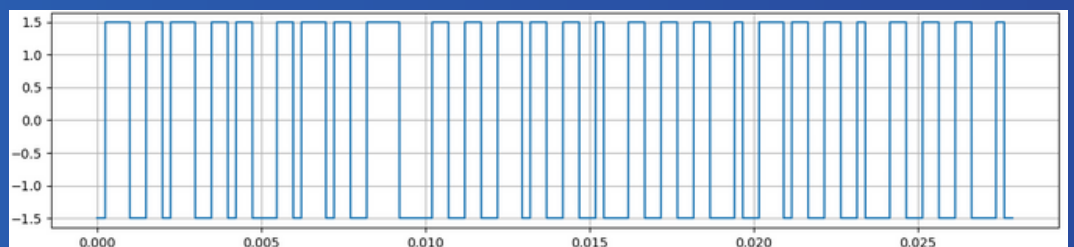
2) Para el caso de “Graficar Señal Banda-Base y Pasa-Banda”, al darle click, en el apartado de gráficas, aparecerán 4 gráficas por las que el usuario puede desplazarse: Señal Banda-Base (después de pasar por el mecanismo de Pulse-Shaping), la señal modulada en la escala temporal, la DEP (Densidad Espectral de Potencia) de la señal modulada trasladada al origen de coordenadas, y la constelación de la señal modulada.

Un segundo ¿Pulse Shaping?

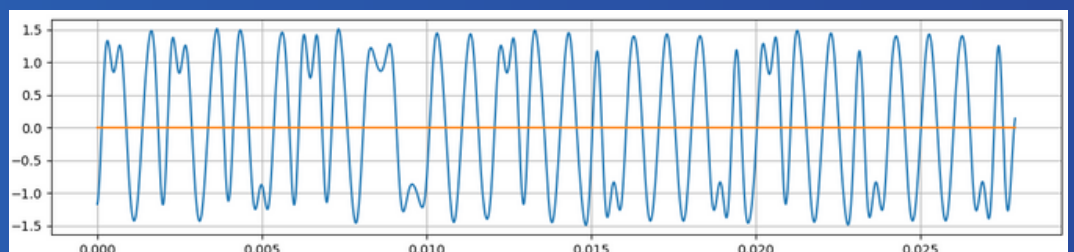
Lo siguiente es un poco teorico, por lo que se tratará ser lo mas breve posible.

Por Fourier, se sabe que el espectro de frecuencia de pulsos cuadrados abarca una gran parte del espectro de frecuencia (aproximadamente infinito), por lo que, a la hora de transmitirlos por el aire, los filtros utilizados en los bloques de recepción terminan por no obtener parte de la potencia de la señal recibida. Para esto, por un lado, se trabaja con las modulaciones digitales, sin embargo, en algunos casos esto no es suficiente para la recuperación completa de la señal. Es aquí donde entra en juego un método conocido como “pulse shaping”, el cual consiste en manipular la forma en tiempo de los pulsos de la señal banda base con el objetivo de optimizar su espectro en frecuencia y limitar el efecto producido por la interferencia intersimbólica. Esta manipulación consiste en aplanar la forma de los pulsos cuadrados, asemejándolas a una función $\text{Sinc}(x)$.

Sin Pulse-Shaping

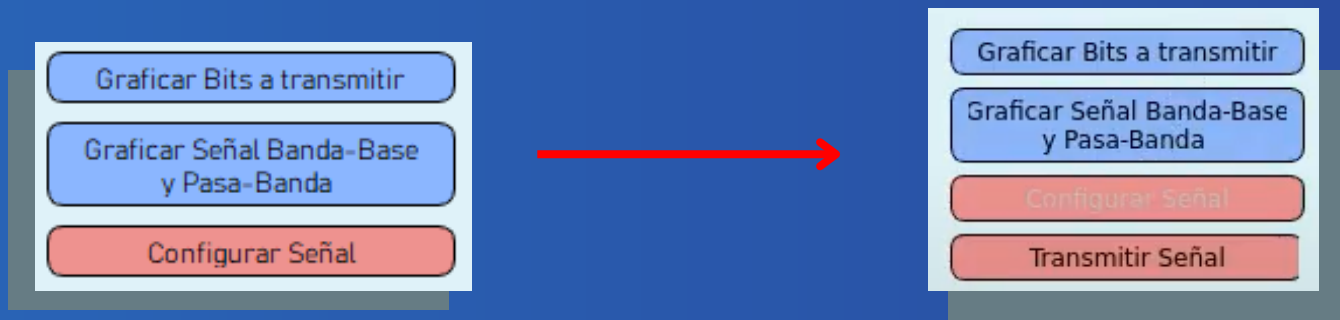


Con Pulse-Shaping

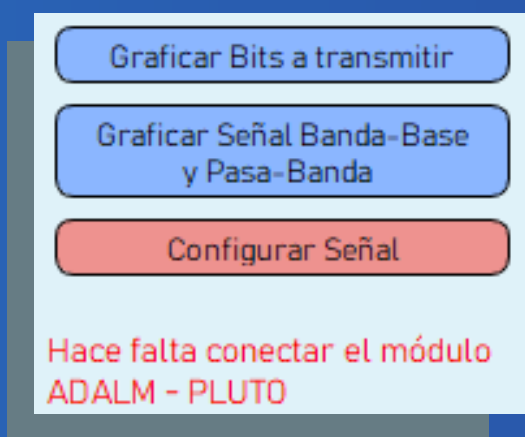


Las gráficas, entonces, de la DEP, Constelación y Tiempo de la señal modulada, también son construidas a partir de la señal banda-base por pulse-shaping, la cual también se puede ver en el apartado de gráficas (Señal Banda - Base IQ)

3) La opción “configurar señal”, prepara la señal y configura al módulo ADALM-PLUTO según la actividad a realizar (en este caso transmitir). Una vez se le dé click a esta opción, aparecerá un 2do botón “transmitir señal” para inicializar el proceso de transmisión, una vez el usuario le de click.



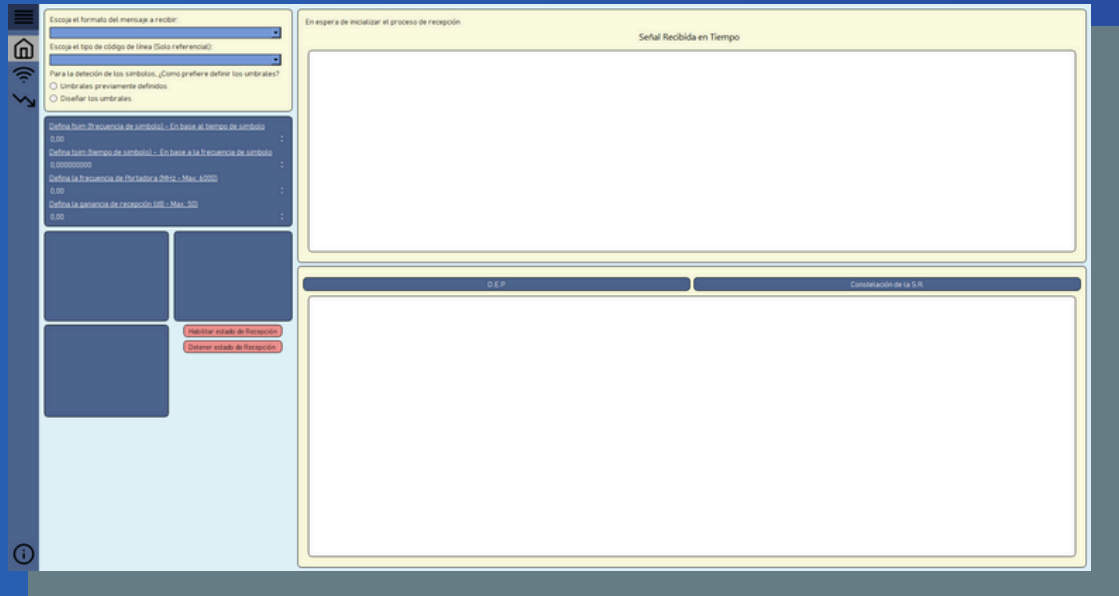
Nota: en caso de que el usuario trate de presionar alguna de estas tres opciones, sin haber completado todos los parámetros necesarios en la configuración de la señal, se desplegará un indicador en rojo (debajo de los botones), indicando lo faltante.



Ejemplo: en este caso, si se clickea, y el programa no reconoce que el equipo fue conectado, bloqueara la ejecución, y lanzará un indicador.

Modo Recepción

¿Que aparece en el modo Recepción?



A la derecha, se encuentra el apartado de gráficas que permite al usuario previsualizar tanto la señal recibida en diferentes escalas (Tiempo, Densidad Espectral de Potencia y Constelación).

Nota: este apartado de gráficas está dividido en diferentes “fases”, que irán apareciendo a medida que se ejecuta el proceso de recepción y recuperación de la información. Esto se explicará a profundidad más adelante.

A la izquierda, se presenta el apartado de configuración de la señal a recibir:

Escoja el formato del mensaje a recibir:

Escoja el tipo de código de línea (Soto referencial):

Para la detección de los simbolos, ¿Como prefiere definir los umbrales?

☐ Umbrales previamente definidos

☐ Diseñar los umbrales

Defina fsim (frecuencia de simbolo) - En base al tiempo de simbolo
0,00 :

Defina tsim (tiempo de simbolo) - En base a la frecuencia de simbolo
0,000000000 :

Defina la frecuencia de Portadora (MHz - Max: 6000)
0,00 :

Defina la ganancia de recepción (dB - Max: 50)
0,00 :

Habilitar estado de Recepción

Detener estado de Recepción

¿Como puedo configurar el receptor para recibir la señal?

1) Primero ha escoger el formato del mensaje que se está enviando.

Escoja el formato del mensaje a recibir:

Texto (variable tipo String)

Imagen (*.jpg)

Imagen (*.png)

Audio (*.mp3)

Video (*.mp4)

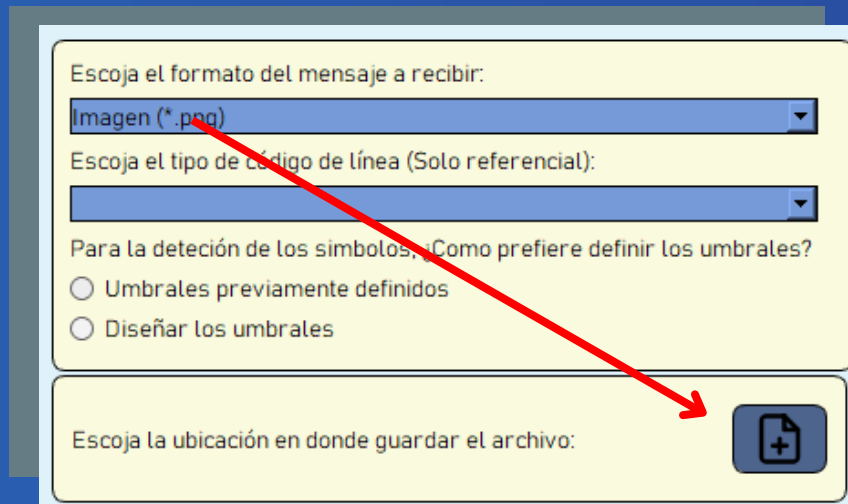
Documento Word (*.docx)

Documento PDF (*.pdf)

Archivo Excel (*.xlsx)

Diapositivas PP (*.pptx)

Para todos los casos, salvo la opción de “Texto”, una vez escogido este último apartado, se desplegará un apartado en donde el usuario tiene que seleccionar la carpeta de guardado en su directorio.



Escoja el formato del mensaje a recibir:

Imagen (*.png)

Escoja el tipo de código de línea (Solo referencial):

Para la detección de los símbolos, ¿Como prefiere definir los umbrales?

☐ Umbrales previamente definidos

☐ Diseñar los umbrales

Escoja la ubicación en donde guardar el archivo:

2) Se escoje el tipo de código de linea (solo referencial) con el que quiera representar los bits recuperados en la gráfica, una vez terminado el proceso de recepción.

3) Posteriormente se escoge la metodología para la recepción de la señal y la detección de los simbolos: “Umbrales previamente definidos” y “Diseñar los Umbrales”

3.1) Umbrales previamente definidos

Esta modalidad está diseñada para trabajar la opción “Modulación previamente definida” del lado del transmisor.

3.1.1) Una vez escogido esta opción se desplegará un apartado en donde el usuario debe escoger la cantidad de bits codificados con la que trabaja la señal que recibirá.

Para la detección de los símbolos, ¿Cómo prefiere definir los umbrales?

☒ Umbrales previamente definidos

☐ Diseñar los umbrales

Escoja la cantidad de bits codificados por símbolo:

1 bit codificado por símbolo

2 bits codificados por símbolo

3 bits codificados por símbolo

4 bits codificados por símbolo

En función de lo que escoja el usuario, se desplegará una serie de formatos de geometrías de “umbrales” predefinidos con los que el usuario puede trabajar la recepción. Estos umbrales son adecuados a la cantidad de bits codificados por símbolo escogido. Sin embargo, como existe una variedad de modulaciones para una cierta cantidad de bits codificados por símbolo, el usuario debe escoger el más adecuado para la modulación escogida en el Transmisor.

3.1.2) Así, una vez escogido la cantidad de bits codificados por símbolo, el usuario debe escoger la geometría de los umbrales.

Escoja la cantidad de bits codificados por símbolo:

1 bit codificado por símbolo

Defina la geometría del umbral:

Recta en el eje Y = 1.5

Recta en el eje Y = 0.5

Recta paralela al eje Y

Recta Inclínada (pendiente positiva)

Recta paralela al eje X

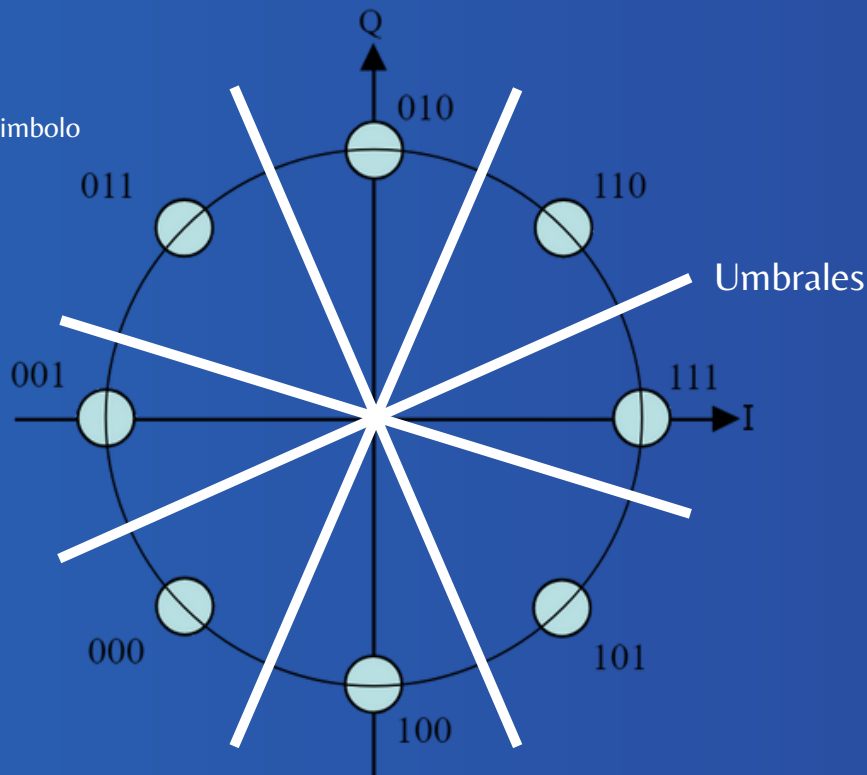
Nota: es importante que los usuarios sean conscientes del escalar del símbolo en la constelación, ya que definirá cual umbral es el adecuado según que modulación.

Un segundo ¿Umbrales?

Los umbrales son líneas imaginarias que delimitan el plano de la constelación de la señal. Esto le permite al receptor identificar en tiempo real que símbolo corresponde a una cierta palabra de bits codificados en función de su posición en el espacio.

8-PSK

3 bits codificados por símbolo



De esta manera, las coordenadas de los símbolos recibidos en la constelación definirán el bit codificado recuperado, y el instante de tiempo la posición en el mensaje recuperado.

3.2) Diseñar Umbrales

Esta modalidad, por su lado, fue diseñada con el objetivo de recuperar aquellas señales cuya modulación fue diseñada enteramente por el usuario en el lado del transmisor. Por lo que, para este caso, debe estar plenamente consciente de como se trabajó la señal que quiere recibir.

3.2.1) Una vez escogido esta opción se desplegará un apartado en donde el usuario debe escoger la cantidad de bits codificados con la que trabaja la señal que recibirá.

Umbral 1: Escoja la geometría del umbral que desea agregar:

☐ Umbral previamente definidos

☒ Diseñar los umbrales

Escoja la cantidad de bits codificados por simbolo:

1 bit codificado por simbolo

2 bits codificados por simbolo

Detailed description: This is a screenshot of a software window. At the top, there are two radio buttons. The first is 'Umbral previamente definidos' and is unselected. The second is 'Diseñar los umbrales' and is selected with a blue dot. Below these is a section titled 'Umbral 1: Escoja la geometría del umbral que desea agregar:'. Inside this section, there is a label 'Escoja la cantidad de bits codificados por simbolo:' followed by a dropdown menu. The dropdown menu is open, showing two options: '1 bit codificado por simbolo' and '2 bits codificados por simbolo'. The second option is currently selected and highlighted in blue.

Dependiendo de la opción escogida, el ususario deberá definir 1 o 2 umbrales en la recepción.

3.2.2) Luego, el usuario debe definir la geometría de cada umbral, según sea el caso de la señal transmitida. Por ejemplo, para el caso de 2 bits codificados por simbolo, se definen dos umbrales:

Umbral 1: Escoja la geometría del umbral que desea agregar:

Línea Vertical ($x = a$)

Línea Vertical ($x = -a$)

Línea Horizontal ($y = b$)

Línea Horizontal ($y = -b$)

Línea Inclínada

Detailed description: This is a screenshot of a dialog box titled 'Umbral 1: Escoja la geometría del umbral que desea agregar:'. It contains a dropdown menu with five options: 'Línea Vertical ($x = a$)', 'Línea Vertical ($x = -a$)', 'Línea Horizontal ($y = b$)', 'Línea Horizontal ($y = -b$)', and 'Línea Inclínada'. The first option, 'Línea Vertical ($x = a$)', is currently selected and highlighted in blue.

Umbral 1: Escoja la geometría del umbral que desea agregar:

Línea Vertical ($x = -a$)

Umbral 2: Escoja la geometría del umbral que desea agregar:

Línea Vertical ($x = a$)

Línea Vertical ($x = -a$)

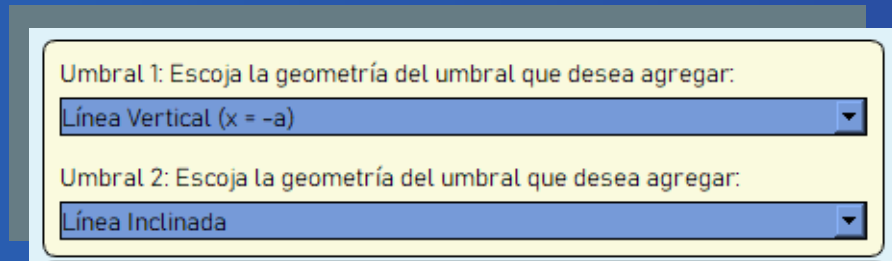
Línea Horizontal ($y = b$)

Línea Horizontal ($y = -b$)

Línea Inclínada

Detailed description: This is a screenshot of two stacked dialog boxes. The top dialog box is titled 'Umbral 1: Escoja la geometría del umbral que desea agregar:' and has a dropdown menu with 'Línea Vertical ($x = -a$)' selected. The bottom dialog box is titled 'Umbral 2: Escoja la geometría del umbral que desea agregar:' and has a dropdown menu with 'Línea Vertical ($x = a$)' selected. Both dropdown menus are open, showing the same five options as the first dialog: 'Línea Vertical ($x = a$)', 'Línea Vertical ($x = -a$)', 'Línea Horizontal ($y = b$)', 'Línea Horizontal ($y = -b$)', and 'Línea Inclínada'.

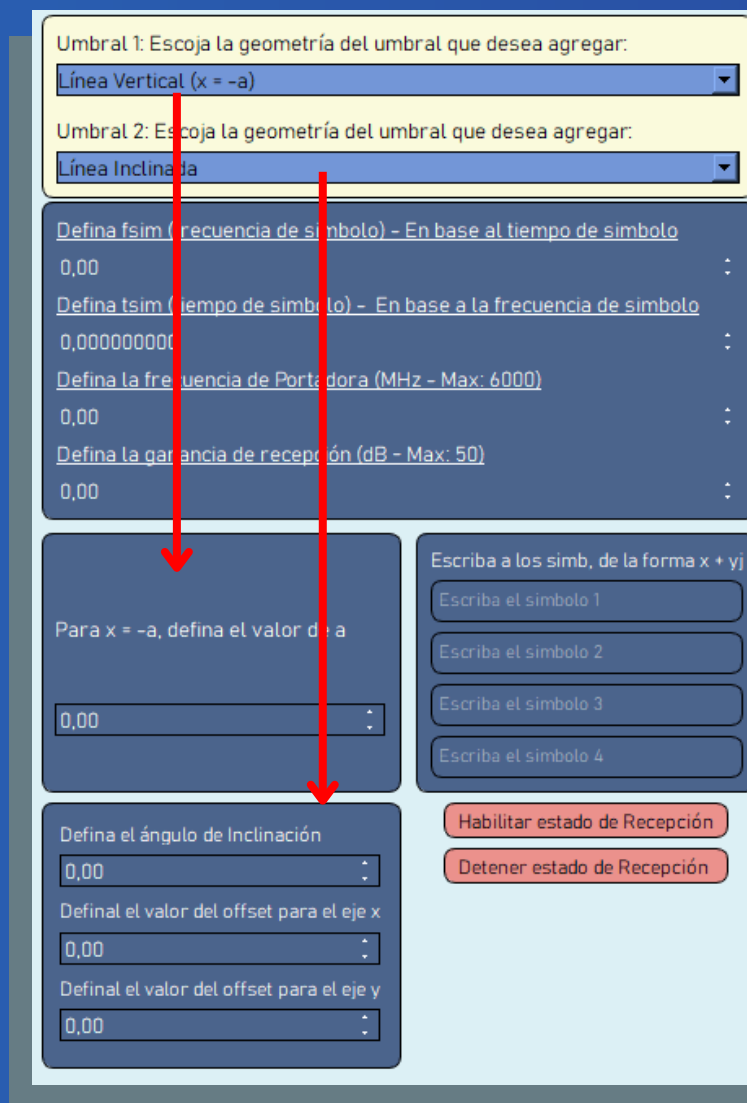
3.2.3) Una vez escogido los umbrales, habrá que definir los escalares que la conforman. Para explicar esto, es mejor hacerlo con un ejemplo. Supogamos que se escogió las siguientes geometrías de umbrales:



Umbral 1: Escoja la geometría del umbral que desea agregar:
Línea Vertical ($x = -a$)

Umbral 2: Escoja la geometría del umbral que desea agregar:
Línea Inclínada

En la parte inferior izquierda de la interfaz se desplegará dos apartados (uno por cada umbral) en donde el usuario debe establecer dichos valores de las geometrías de los umbrales.



Umbral 1: Escoja la geometría del umbral que desea agregar:
Línea Vertical ($x = -a$)

Umbral 2: Escoja la geometría del umbral que desea agregar:
Línea Inclínada

Defina f_{sim} (frecuencia de símbolo) - En base al tiempo de símbolo
0,00 :

Defina t_{sim} (tiempo de símbolo) - En base a la frecuencia de símbolo
0,000000000 :

Defina la frecuencia de Portadora (MHz - Max: 6000)
0,00 :

Defina la ganancia de recepción (dB - Max: 50)
0,00 :

Para $x = -a$, defina el valor de a
0,00 :

Defina el ángulo de Inclínación
0,00 :

Definal el valor del offset para el eje x
0,00 :

Definal el valor del offset para el eje y
0,00 :

Escriba a los simb., de la forma $x + yj$

Escriba el símbolo 1

Escriba el símbolo 2

Escriba el símbolo 3

Escriba el símbolo 4

Habilitar estado de Recepción

Detener estado de Recepción

Para el 1er umbral, el cual es “Línea Vertical $x = -a$ ”. El apartado desplegado pide que el usuario indique el valor de “a”. Mientras que para el 2do umbral, el cual es una “Línea Inclínada”, se debe definir tres parámetros: el ángulo de inclinación en grados sexagesimales, el offset de esta recta sobre el eje “x” y el offset sobre el eje “y”.

Así, dependiendo del tipo de geometría, se debe definir sus parámetros escalares en función de la constelación de la señal a recibir.

3.2.4) Otro parámetro importante a definir son las coordenadas de los símbolos a recibir en el plano de su constelación, al igual que se hace cuando se configura la señal en el transmisor. La razón de esto se debe a que, dependiendo del orden (de arriba hacia abajo) que se escriban estos símbolos en la interfaz, el receptor identificará que palabra de bits codificados corresponde a que símbolo en el plano de la constelación. De esta manera:

The diagram shows a user interface for defining symbol coordinates. It consists of a central panel with a title and four input fields, and a list of bit representations to the right.

Interface Panel:

- Title: **Escriba a los simb, de la forma $x + yj$**
- Field 1: **Escriba el simbolo 1**
- Field 2: **Escriba el simbolo 2**
- Field 3: **Escriba el simbolo 3**
- Field 4: **Escriba el simbolo 4**

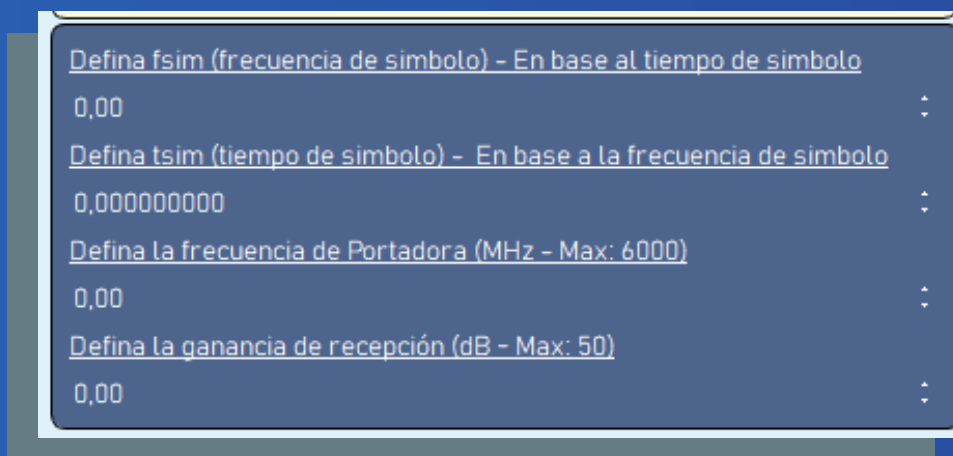
Bit Representations:

- 00
- 01
- 10
- 11

Arrows point from the bit representations to the corresponding symbol input fields: 00 to 'Escriba el simbolo 1', 01 to 'Escriba el simbolo 2', 10 to 'Escriba el simbolo 3', and 11 to 'Escriba el simbolo 4'.

3.2.4) Finalmente, el usuario debe configurar otros parámetros de la señal, como lo son: la frecuencia de simbolo, el tiempo de simbolo, la frecuencia de la portadora y la ganancia de recepción.

Este último es muy importante ya que afecta directamente al módulo ADALM-PLUTO. A mayor valor de ganancia, más sensible es el receptor, aumentando con esto la amplitud de la señal recibida, pero a costa de sufrir una mayor distorsión. Por lo que es un parámetro con el que hay que tener sumo cuidado.

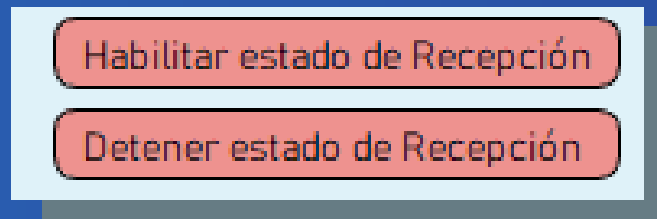


The image shows a configuration window for ADALM-PLUTO with the following settings:

Parameter	Value
Defina fsim (frecuencia de simbolo) - En base al tiempo de simbolo	0,00
Defina tsim (tiempo de simbolo) - En base a la frecuencia de simbolo	0,000000000
Defina la frecuencia de Portadora (MHz - Max: 6000)	0,00
Defina la ganancia de recepción (dB - Max: 50)	0,00

Ya configuré al receptor ¿Ahora que puedo hacer?

Para poder trabajar con el receptor, es necesario primero haber transmitido la señal, lo cual tiene una metodología específica que se explicará más adelante. Por ahora, nos limitaremos a explicar que hace cada botón.



Primero, de arriba hacia abajo, tenemos la opción de “Habilitar estado de recepción”. Una vez el usuario haya completado todos los apartados de configuración del receptor, se puede iniciar el proceso de recepción a través de este botón, siempre y cuando el módulo ADALM - PLUTO se encuentre conectado al ordenador.

Durante este proceso de recepción, las gráficas a la izquierda de la interfaz (DEP, constelación y señal en tiempo) se empezarán a actualizar en tiempo real en función de lo recibido por el módulo.

De segundo se tiene el botón “Detener estado de recepción” que, como su nombre indica, detendrá el proceso de recepción. En este punto las gráficas a la izquierda se vuelven a actualizar, mostrando las muestras recibidas por el módulo, con la particularidad de que estas se encontrarán divididas por, lo que nosotros llamamos, “fases”. Cada fase abarca el conjunto de gráficas de la señal después de pasar por un cierto mecanismo de recuperación.

En total, existen 5 fases:

- 1) Se presentan tres (3) gráficas de la señal tal y como es recibida por parte del módulo ADALM – PLUTO (Señal en tiempo, DEP y Constelación).
- 2) Se presentan tres (3) gráficas de la señal después de ser filtrada y aislada de las muestras de ruido detectadas (Señal en tiempo, DEP y Constelación).
- 3) Se presentan tres (3) gráficas de la señal después de haber sido corregido su fase y/o frecuencia.
- 4) Se presentan tres (3) gráficas de la señal después de pasar por un mecanismo de sincronización temporal. A pesar de lo que indica su nombre, no se está realizando una corrección de desincronización, sino que se encarga de la construcción de las muestras de los símbolos a partir de un conjunto de muestras pertenecientes a un mismo intervalo temporal, y que previamente en el transmisor se agregaron cuando se construyó la señal.

5) Se presentan cuatro (4) gráficas de la señal original y los datos en forma de bits, un apartado donde se despliega información relacionada con la transmisión y recepción de la señal (Probabilidad de error, cantidad de bits recibidos, errores encontrados, entre otros), y un apartado donde se plasma el mensaje reconstruido en caso de que sea texto o imagen. En caso de que sea un tipo de archivo, el mensaje reconstruido se guardará en el directorio indicado previamente por el usuario.

Para pasar de una fase a otra, en la parte superior de las gráficas aparecerá un botón azul que permite al usuario pasar de una fase a otra, una vez se haya detenido el proceso de recepción.

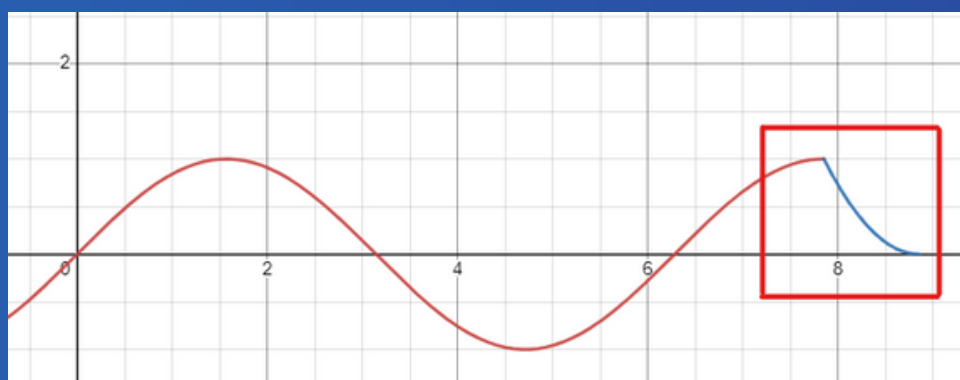
Metodología de Transmisión y Recepción

Suponiendo que tanto el receptor como el transmisor fueron configurados, siguiendo el paso a paso indicado previamente, podemos comenzar con la metodología de trabajo.

- 1) En el transmisor, el usuario debe darle click a la opción de “Configurar Señal” y esperar que aparezca la opción de “Transmitir Señal”, pero **sin** darle click a este último.
- 2) En el receptor, el usuario debe darle click a la opción “Habilitar Recepción”.
- 3) Se debe esperar unos segundos hasta que se actualize el primer frame en las gráficas en tiempo real del receptor, para luego, en el transmisor, darle click a la opción de “Transmitir Señal”.
- 4) Finalmente, cuando en el receptor se observe (por las gráficas) que **no se esté recibiendo nada más que ruido**, o cuando **el botón de “Transmitir Señal” desaparezca en el Tx**, se hace click a la opción “Detener estado de recepción”.

MAS RECOMENDACIONES Y ADVERTENCIAS

- Mucho cuidado con la cantidad de tiempo que se deja habilitado el estado de recepción. La cantidad de muestras que llegan al receptor se guardan en forma de un arreglo en la computadora, por lo que este puede llegar a ser muy grande si se deja halitado la recepción por un tiempo prolongado.
- En caso de que no se reciba una señal de interés al hacer una transmisión, se puede aumentar la ganancia de recepción y probar hasta conseguir la señal de interés. Y si, por el contrario, se recibe mucho ruido, se puede disminuir la ganancia en el receptor.
- Si al recibir la señal, en la gráfica de la señal de interés filtrada, al final aparece una especie “rampa” que tiende a cero en el eje de las ordenadas (como extendiendola) de manera abrupta, se recomienda bajar la ganancia del receptor.



- Para un trabajo óptimo, ambas partes (transmisión y recepción) deben ponerse de acuerdo para la configuración correspondiente de cada lado. Sin embargo, como la idea del kit es experimentar, los usuarios pueden probar cualquier combinación de datos y condiciones físicas que estos prefieran.
- Con respecto a la frecuencia de portadora, el módulo puede trabajar bajo un rango de entre los 70 MHz hasta los 6 GHz, por lo que trabajar con cualquier otro valor fuera de este rango generará que el módulo mande un error y no se produzca la transmisión.
- Los módulos, después de un uso prolongado, se puede llegar a calentar un poco, pero sin llegar a tener un efecto negativo grande en las comunicaciones.
- Como valores óptimos de trabajo se pueden considerar los siguientes: $t_{simb} = 0.0001$, Ganancia de Recepción = 10 dB a 20 dB y Frecuencia de Portadora = 700 MHz.
- Dependiendo del tamaño del mensaje a trabajar, el programa puede tardar más o menos en preparar o graficar la señal, además de aumentar el riesgo de pérdida de datos, por lo que se recomienda a la de definir el mensaje.

- Para imágenes en escala de grises que se quiera trabajar como mensaje en el Tx, el usuario debe colocar al final del nombre “gris_#”. Ejemplo: “casagris_#.jpg”. Esto convertirá cualquier imagen que el usuario introduzca a escala de grises, y enviará la imagen en este formato.
- En caso de que se realicen transmisiones consecutivas, es posible que el programa presente complicaciones al pasar de una cantidad de bits codificados por símbolo a otro (particularmente al pasar de 1, 2 y 4 a 3 bits codificados por símbolo), a la hora de configurar o graficar la señal. Es entonces cuando se recomienda salir del apartado de transmisión del programa y volver a entrar, para que así resetee todas las variables iniciales.
- DIFERENCIAS IMPORTANTES DEL PRESENTE PROGRAMA CON LA TEORÍA BÁSICA DE COMUNICACIONES DIGITALES
 - Se trabaja con el proceso de pulse shaping para disminuir efectos alómalos del medio sobre la señal.

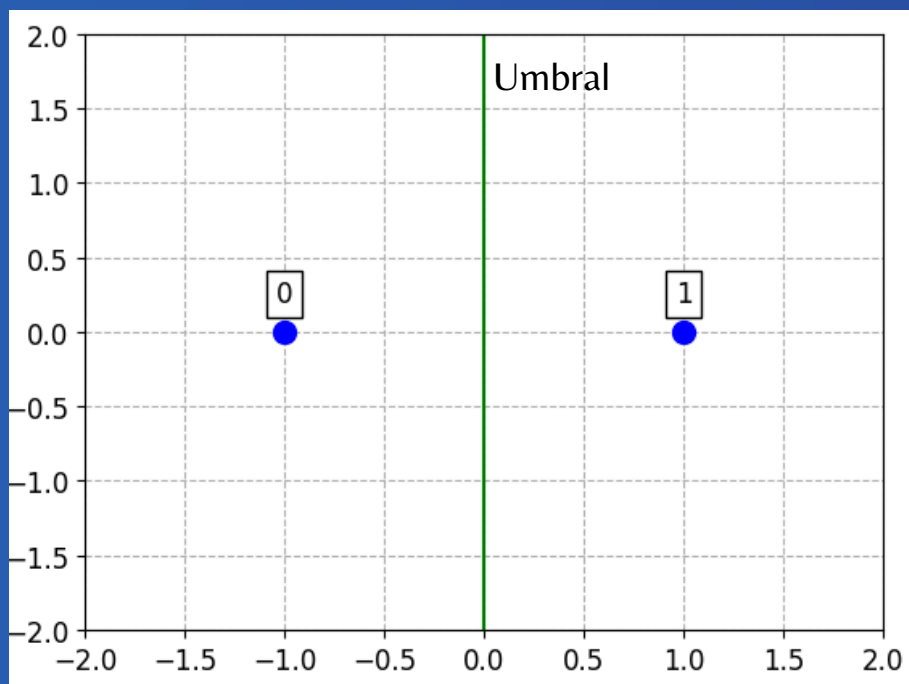
- La señal se envía por “partes”, como si fueran paquetes, diferenciados por un intervalo de tiempo entre cada paquete. A cada paquete se le agrega un “preambulo”, los cuales permiten disminuir los efectos del medio sobre la señal y recuperar la información almacenada.
- Las potencias y/o amplitudes que se grafican en el programa NO SON REALES, sino una estimación que realiza el módulo ADALM - PLUTO en función de las amplitudes de las muestras recibidas por su antena y a la ganancia establecida por el usuario. Por lo cual, es mejor considerarlas como referenciales.
- Todas las muestras recibidas por ADALM - PLUTO, y que posteriormente se grafican, son una representación de una señal construida en “banda - base”, muestreada, y que posteriormente es modulada a la frecuencia de portadora establecida.

Recordar que el presente programa es un prototipo en su primera versión.

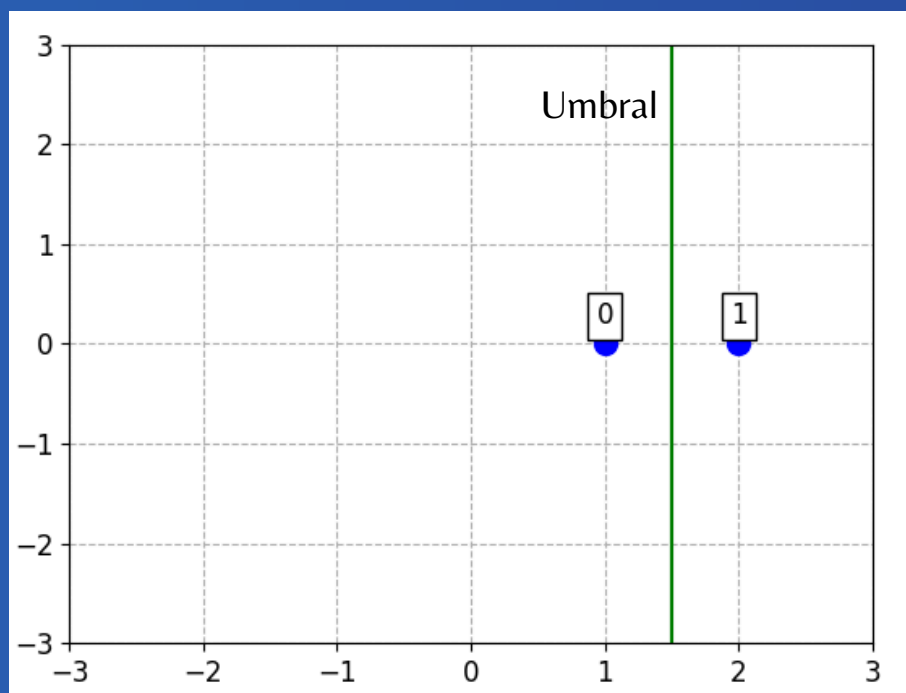
CONSTELACIONES Y SUS UMBRALES DE RECEPCIÓN RECOMENDADOS

Para 1 bit codificados por simbolo:

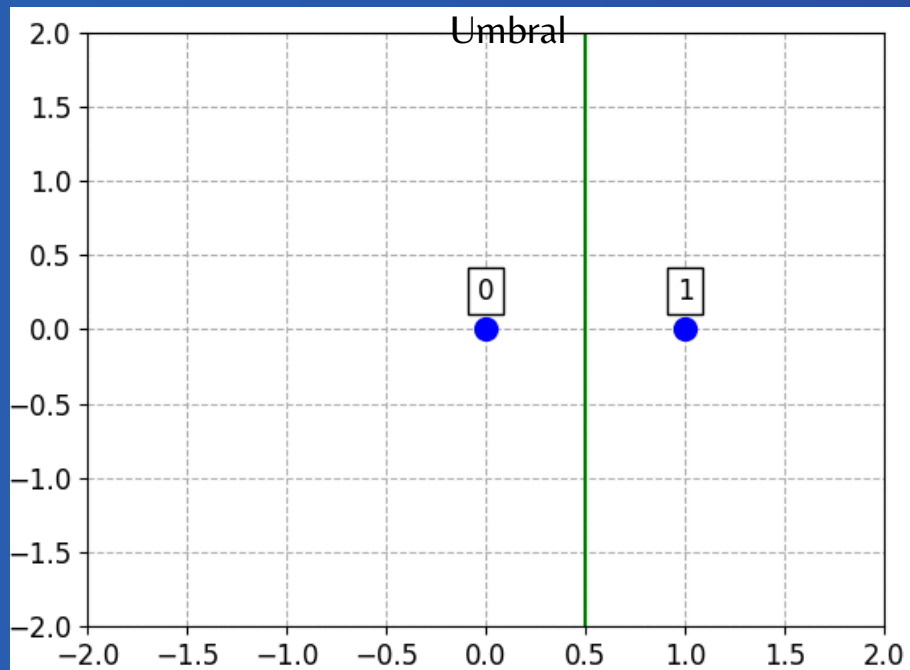
- BPSK: Recta Paralela al eje Y ($X = 0$)



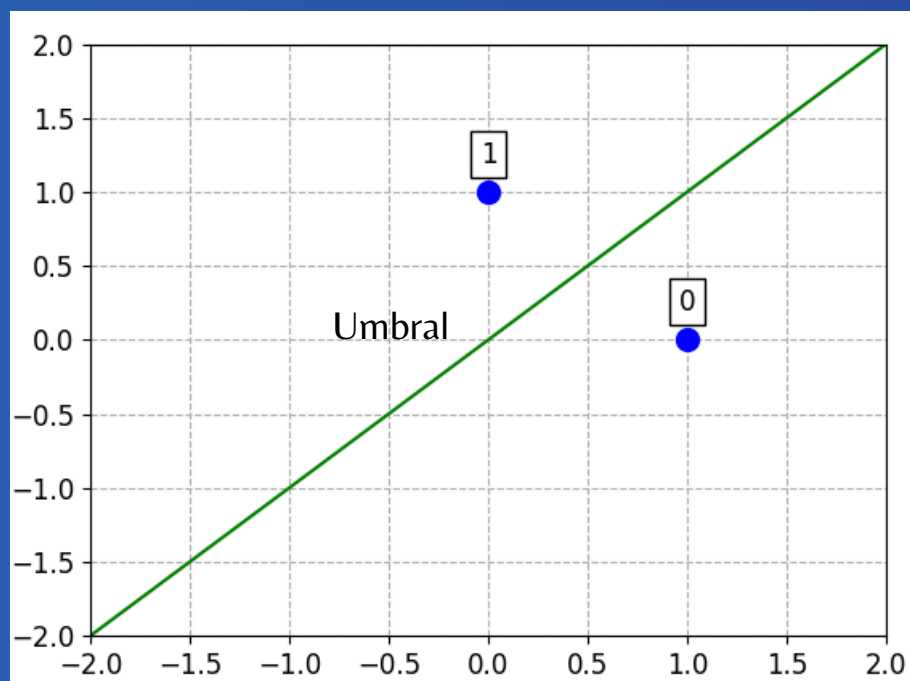
- ASK: Recta en el eje $X = 1.5$ (Paralela al eje Y)



- OOK: Recta en el Eje $X=0.5$ (Paralela al eje Y)

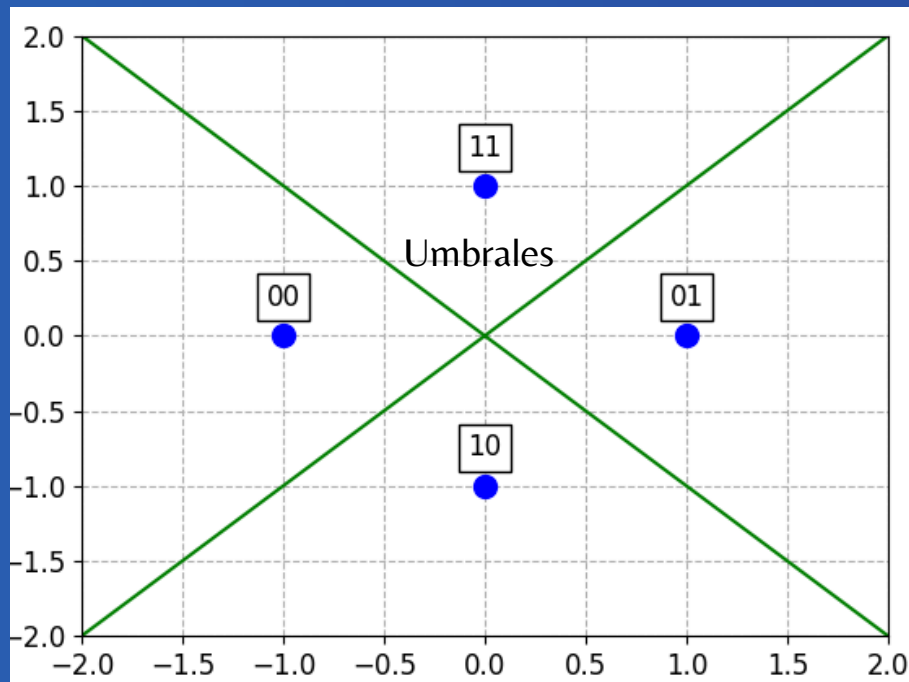


- FSK: Recta Inclínada (pendiente positiva)

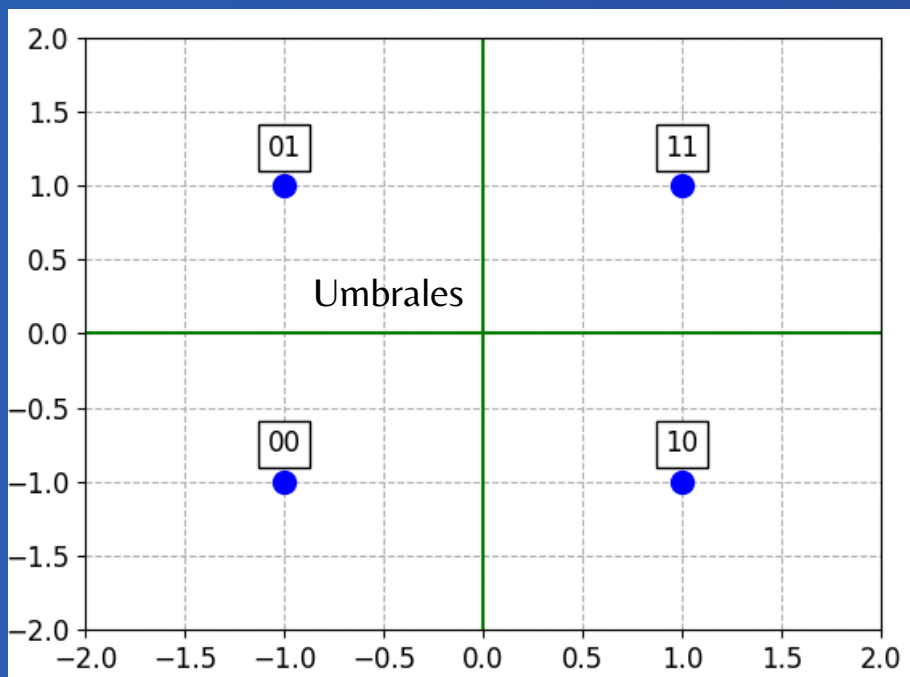


Para 2 bits codificados por simbolo:

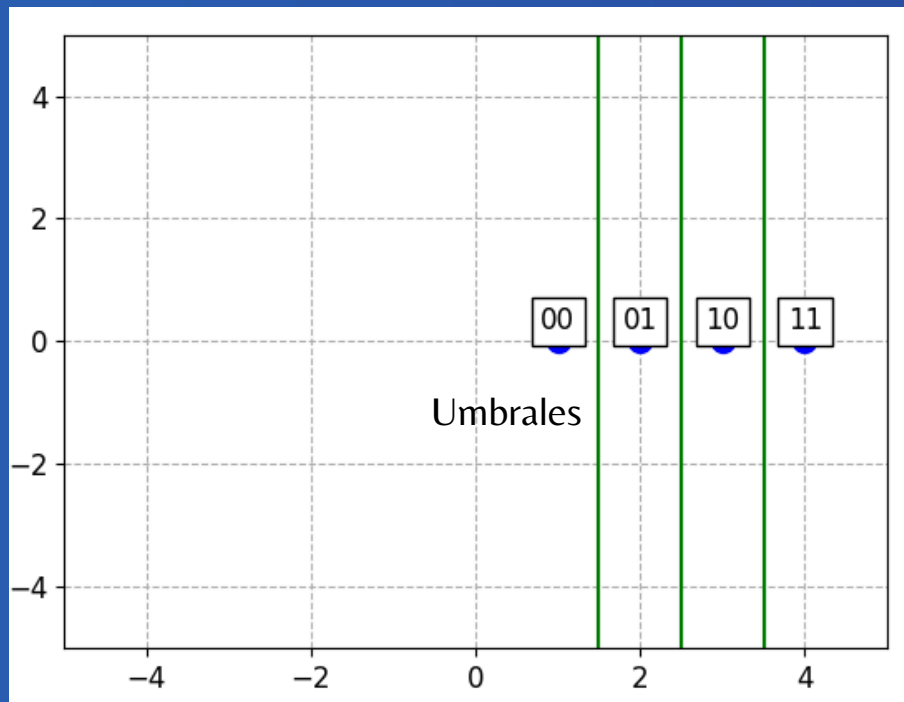
- QPSK (Variante sobre los ejes): 2 Rectas Diagonales



- QPSK: 2 Rectas Paralelas a los Ejes

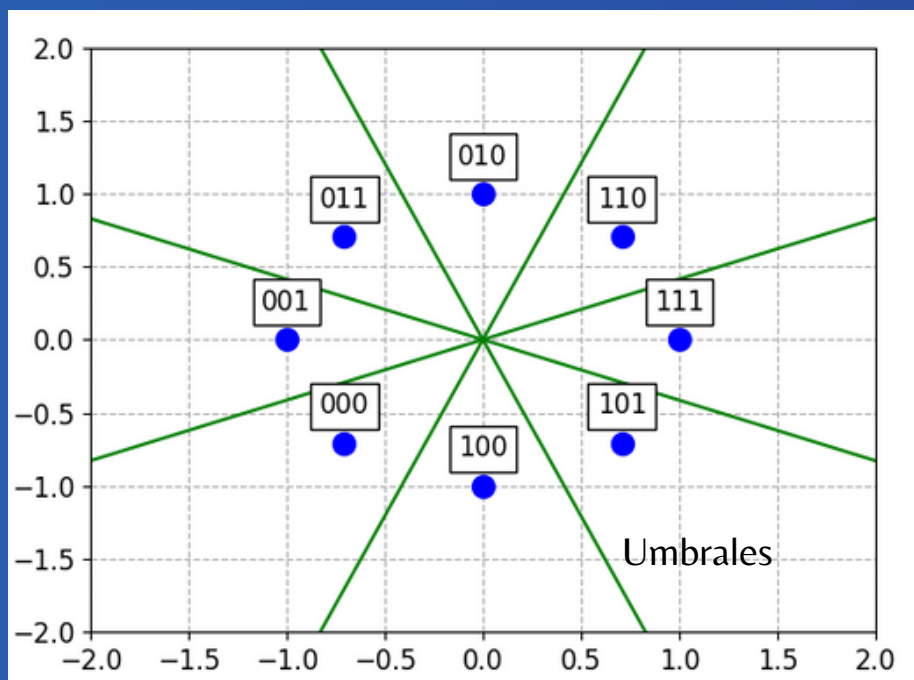


- 4ASK: 3 Rectas Verticales

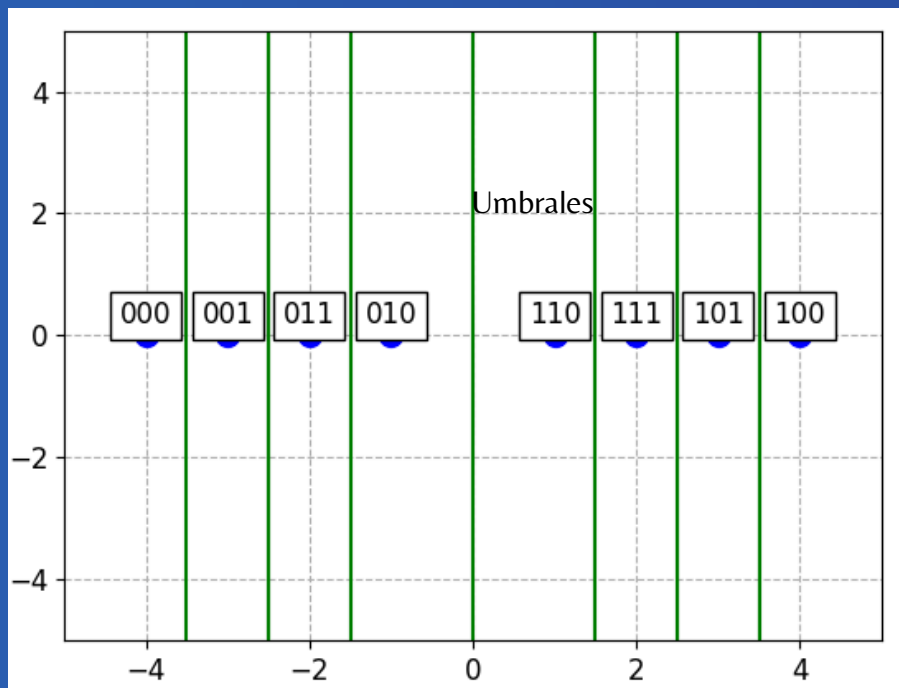


Para 3 bits codificados por simbolo:

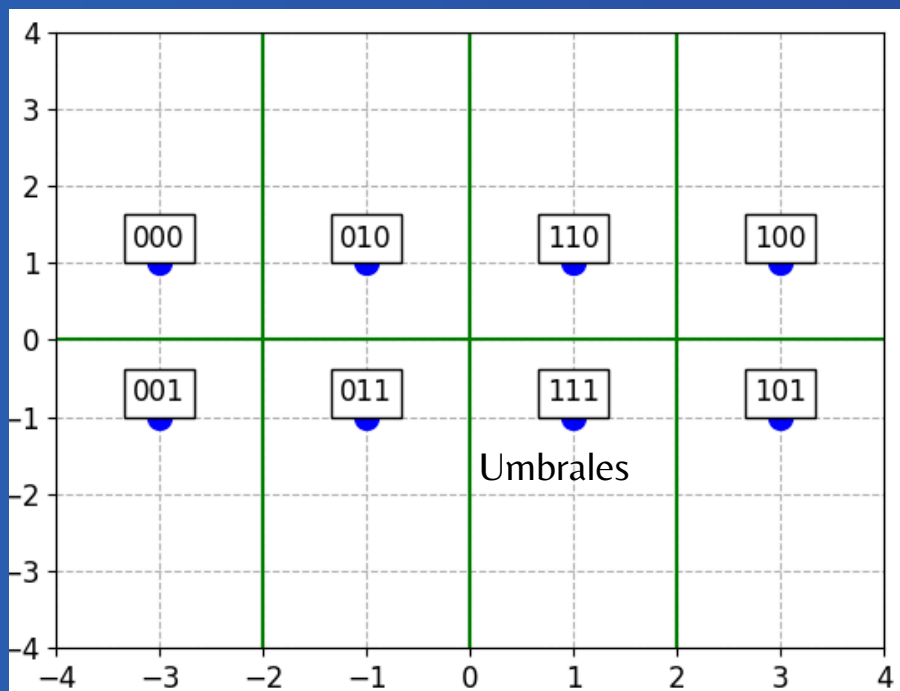
- 8PSK: 4 Rectas Diagonales



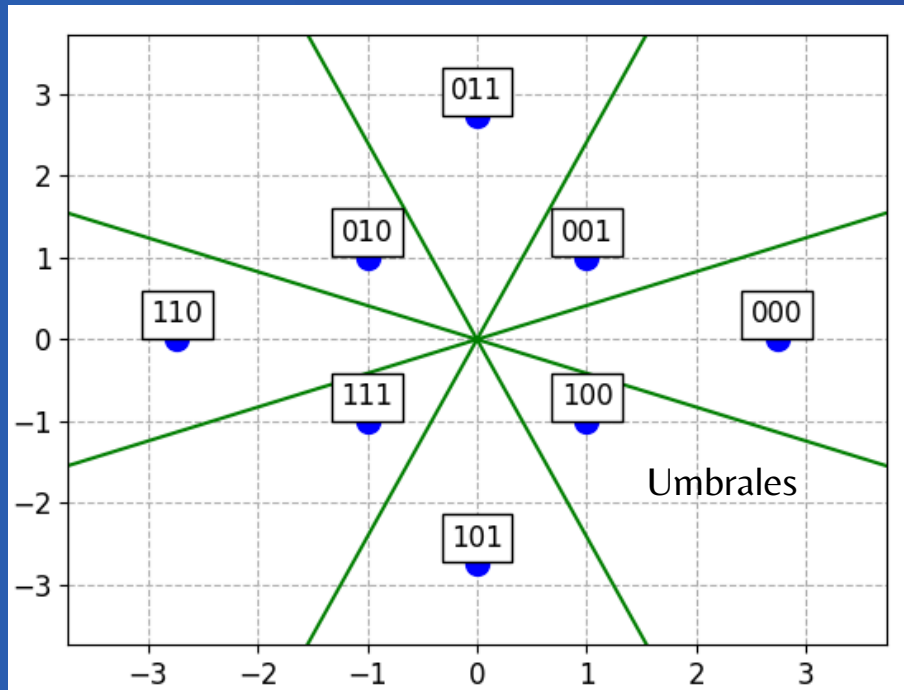
- 8ASK: 6 Rectas Verticales



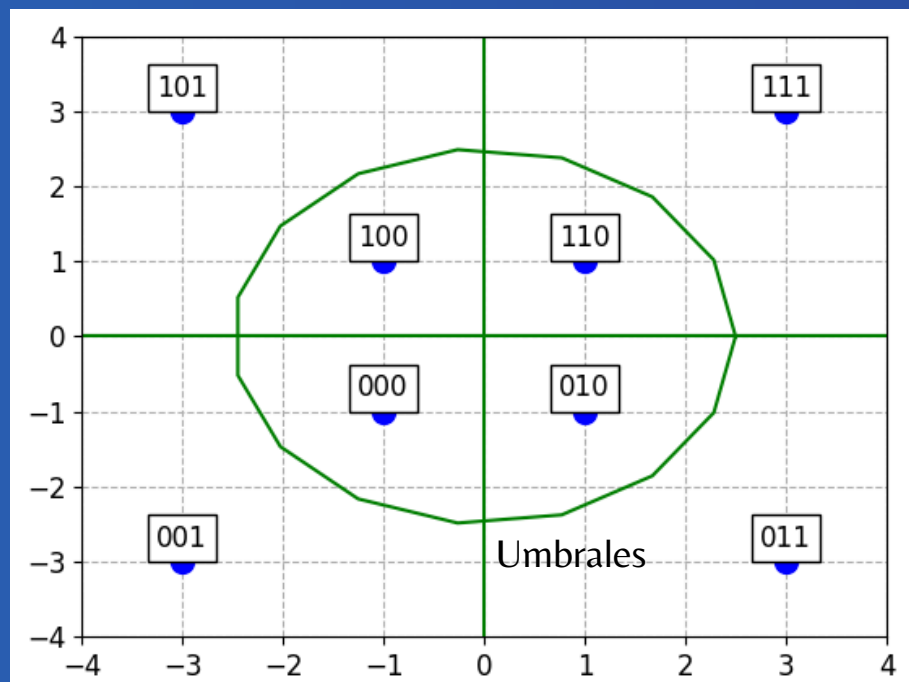
- 8QAM - Variante A - Rectangular: 4 Rectas. 3 Verticales y una Horizontal



- 8QAM - Variante B - Circular: 4 Rectas Diagonales

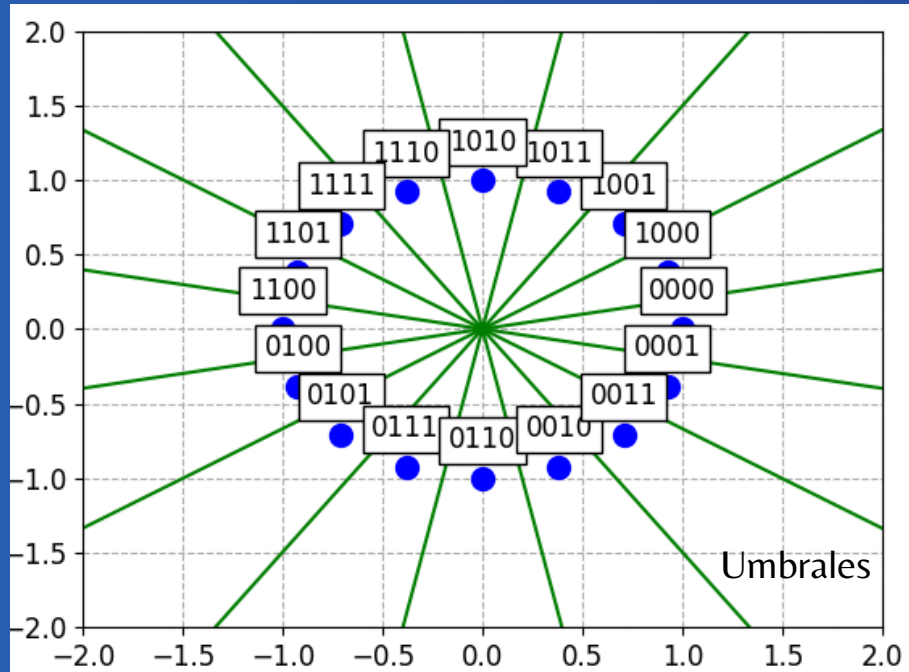


- 8QAM - Variante C - Diagonal: 2 Rectas en los Ejes y un Circulo

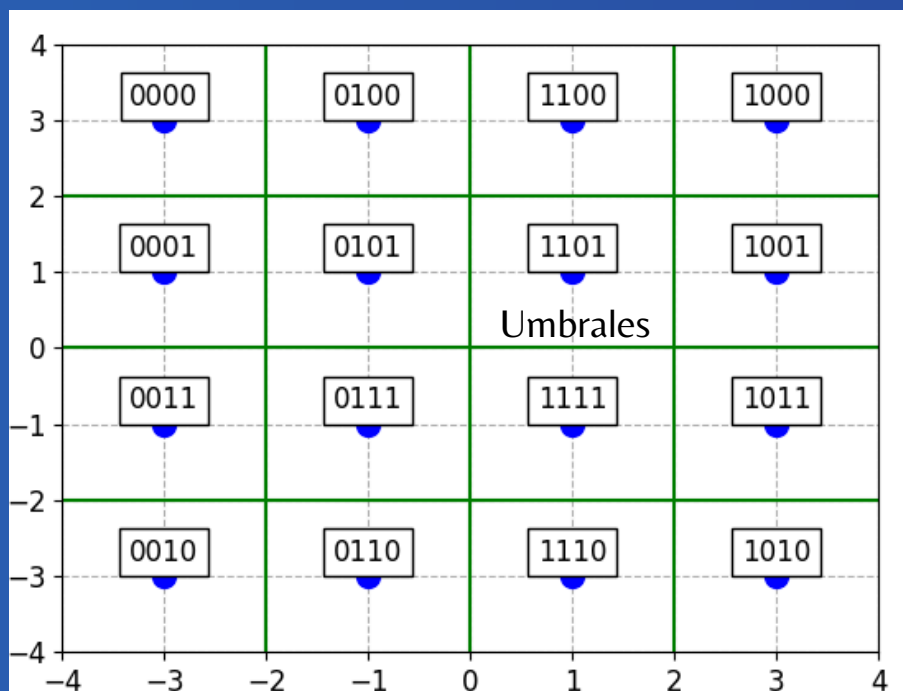


Para 4 bits codificados por simbolo:

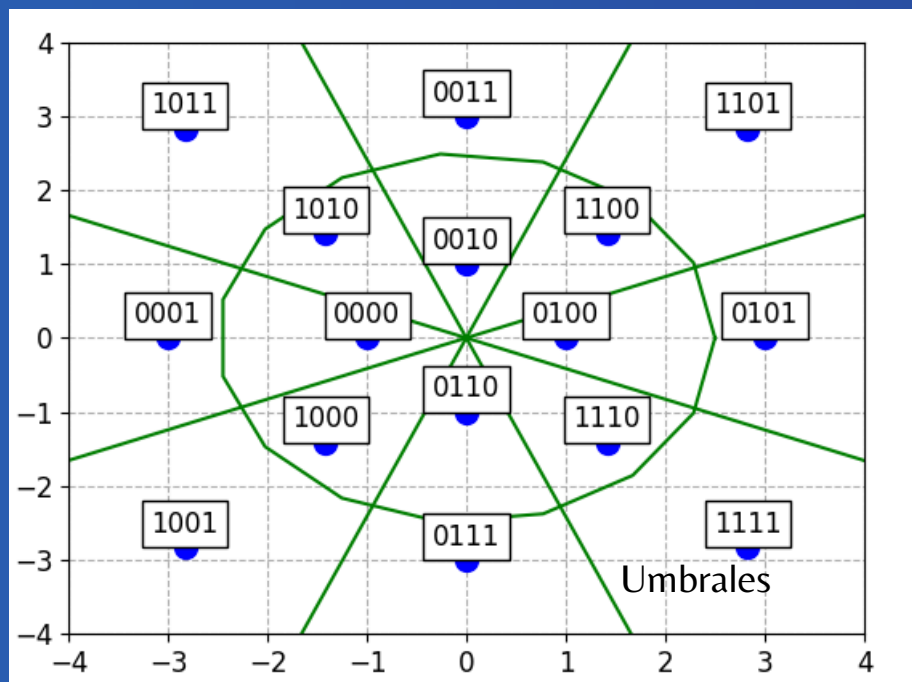
- 16PSK: 8 Rectas Diagonales



- 16QAM - Rectangular: 6 Rectas. 3 Horizontales y 3 Verticales



- 16QAM - Circular: 4 Rectas Diagonales y un Circulo (Radio = 2.5)



- 16QAM - Estrella: 4 Rectas Diagonales y un Circulo (Radio = 1.5)

