

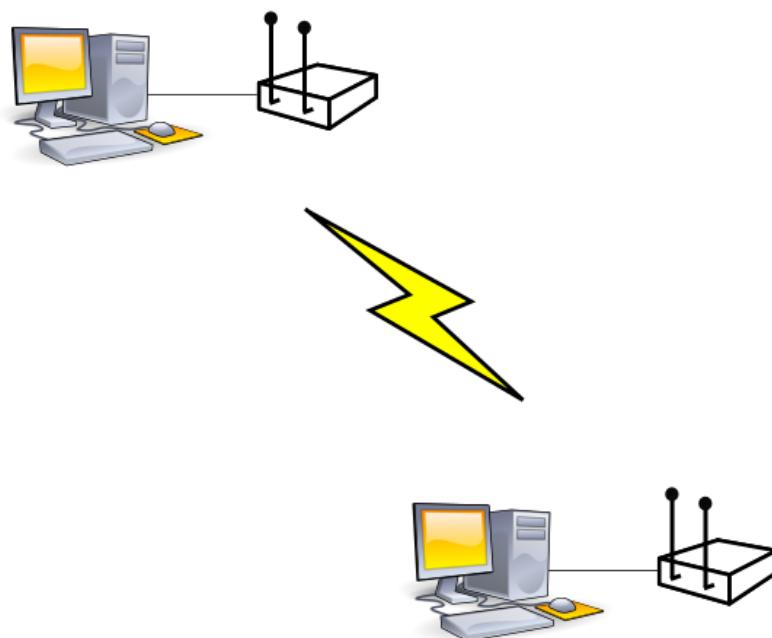
Ronal Montoya's Blog

Implementación de moduladores digitales QAM, PSK, GMSK, y GFSK con GNU Radio y el USRP NI 2900

Posted on January 7, 2018January 11, 2018 by Ronal D. Montoya M.
Del dicho al hecho...

Implementar sistemas de comunicaciones digitales en simulaciones presenta dificultades relacionadas con las particularidades del entorno de simulación y conceptuales. Ese mundo utópico dista mucho de la realidad. Los sistemas reales presentan retos adicionales asociados al hardware, como son la conformación de símbolos, conversiones ADC y DAC, filtros, control de ganancia de la señal de entrada debido a las fluctuaciones de nivel en la misma, enganche de frecuencia de portadora, así como la sincronización de relojes entre transmisor y receptor (el más difícil), aspectos que se obvian en las simulaciones. En mi formación como ingeniero nunca tuve prácticas de laboratorio que implicaran el diseño e implementación de estos sistemas, debido a la ausencia de equipos de laboratorio que permitiesen la realización de prácticas para este tipo de sistemas.

Con la llegada de los radios definidos por software (SDR), el acceso a equipos que permiten la implementación de sistemas digitales se hizo posible para cualquiera interesado. En mi caso, quise llenar ese vacío práctico realizando el montaje de un sistema half-duplex que consta de dos PC's y dos USRP's, en donde un par PC-USRP funciona como transmisor (Tx) y el otro par como receptor (Rx). El mensaje a ser transmitido es un archivo de audio en formato de forma de onda (*.wav) el cual se reproduce en la tarjeta de sonido del receptor.



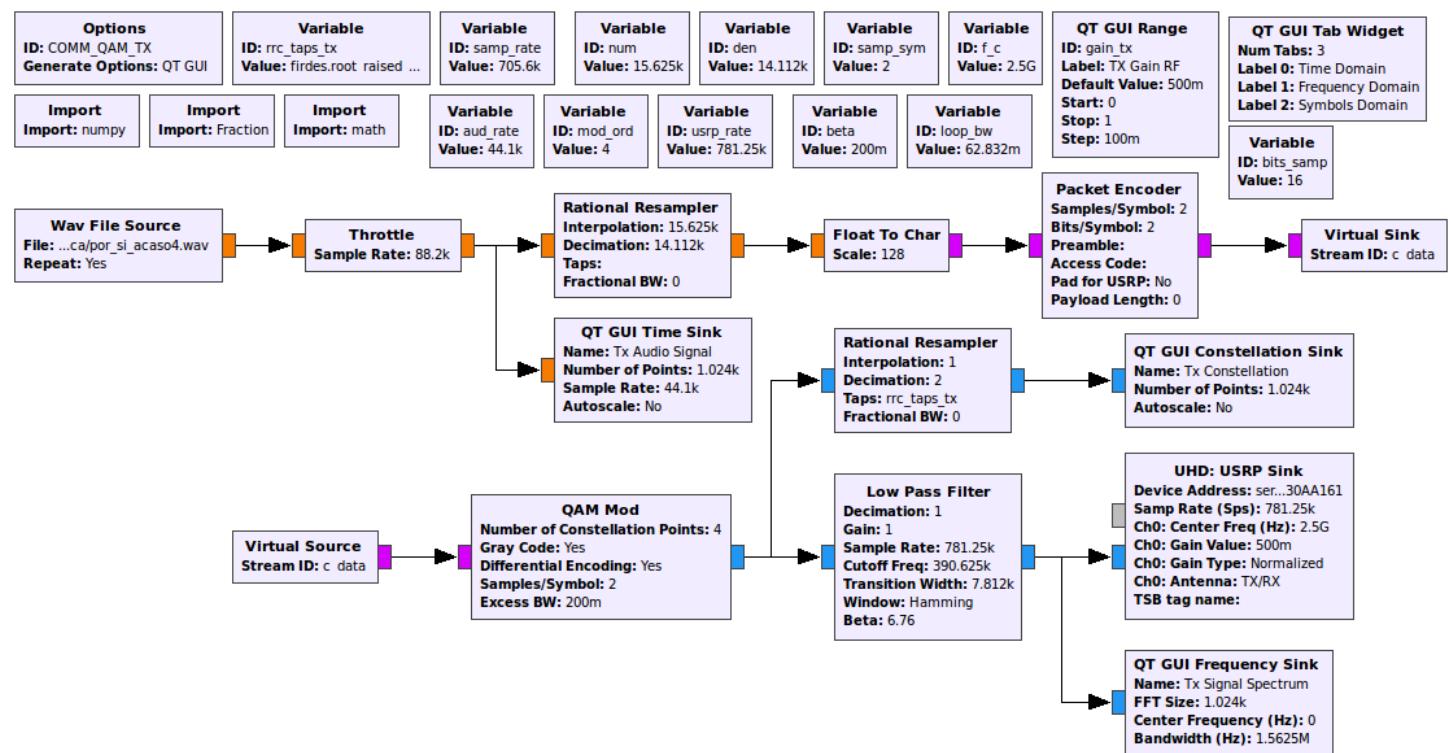
Con el fin de comparar la dificultad entre el mundo simulado y el mundo real en telecomunicaciones, desarrollé una serie de simulaciones de sistemas completos (Tx y Rx a través de canal simulado AWGN) para las modulaciones M-QAM, M-PSK, GMSK y GFSK, versus una implementación de Tx y Rx de un enlace digital modulado en 4-QAM, utilizando el canal real y dos USRP NI2900. Los archivos para [GNU Radio](https://www.gnuradio.org/) (<https://www.gnuradio.org/>) los pueden descargar de mi página para el curso de [Radiocomunicaciones](https://tableroalparque.weebly.com/radiocomunicaciones.html) (<https://tableroalparque.weebly.com/radiocomunicaciones.html>), en la sección aplicaciones para GNU Radio. Explicaré el diagrama en bloques del Tx y Rx del sistema con canal real, el cual cuando descargue los archivos de simulación se dará cuenta que contienen más bloques (de hecho las simulaciones son subconjuntos de estos dos archivos), debido a las dificultades adicionales a resolver en sistemas reales.

Advertisements

[REPORT THIS AD](#)

Primero decir que he optado por el entorno gráfico [PyQT](https://wiki.python.org/moin/PyQt) (<https://wiki.python.org/moin/PyQt>), dada su calidad y fluidez en la ejecución, superior al entorno [Wx Widgets](https://www.wxwidgets.org/) (<https://www.wxwidgets.org/>). Segundo, el interesado en ayudas más completas de los bloques utilizados en la implementación, no dude en visitar la ayuda y la guía de referencia de la API de [GNU Radio](https://gnuradio.org/doc/doxygen/) (<https://gnuradio.org/doc/doxygen/>).

El diagrama en bloques del Tx en GNU Radio es el siguiente:



Este consta de los siguientes bloques:

- Wav File Read: lector de archivos WAV. En este caso se ha almacenado en disco un archivo WAV muestreado a 44100 Hz, con dos bytes por muestra.
- Throttle: regulador de flujo de datos. Este bloque mantiene una tasa constante de datos en su salida. En este caso tenemos una entrada tipo float la cual por cada muestra contiene un byte de la muestra del archivo de audio, por ende la tasa de salida en procesamiento será el doble de la tasa de muestreo del archivo de audio, es decir $2 \times 44100 \text{ Hz} = 88200 \text{ Hz}$.
- Rational Resampler: muestreador racional. Este bloque permite cambiar entre tasas de muestreo enteras, recibiendo x muestras (decimation) y arrojando y muestras (interpolation), con x e y números naturales. Este bloque es necesario debido a la conversión que requiere hacerse es entre la frecuencia de muestreo del archivo de audio y la tasa de muestras que necesita recibir el

upconverter del USRP. Este último necesita recibir tasas múltiplos de 400Msps en factores de 2^N (N número natural), tal que la frecuencia de muestreo en el upconverter (interpolation) sea el natural supremum (el menor de los mayores) a la frecuencia de muestreo del archivo de audio (decimation) cumpliendo la siguiente regla: $\text{interpolation} = 4e8/2^N > \text{decimation}$. La fracción interpolation/decimation se simplifica y esos números serán los valores respectivos en el bloque.

- Float To Char: este conversor de tipo de datos funciona como cuantizador de 128 niveles.
- Packet Encoder: codificador de paquetes. Se encarga de fragmentar en cada dato tipo char a la salida un número de bits indicado por la variable bits/sym de cada byte que ingresa. La variable samp/sym se encarga de entregar ese número de muestras por símbolo de entrada, en este caso se están duplicando los símbolos que ingresan.
- QAM Mod: modulador QAM, en este caso de orden 4, con dos muestras por símbolo. Este bloque usa un filtro raíz coseno alzado para conformar los pulsos, por ende es necesario indicarle el beta del filtro, en este caso 0.2.
- Low Pass Filter: filtro de paso bajo. Las muestras son filtradas antes de ser ingresadas al USRP, con el fin de garantizar que ocuparán el ancho de banda que deseamos, que en este caso es la mitad de la tasa de símbolos del USRP.

Comentarios a las variables:

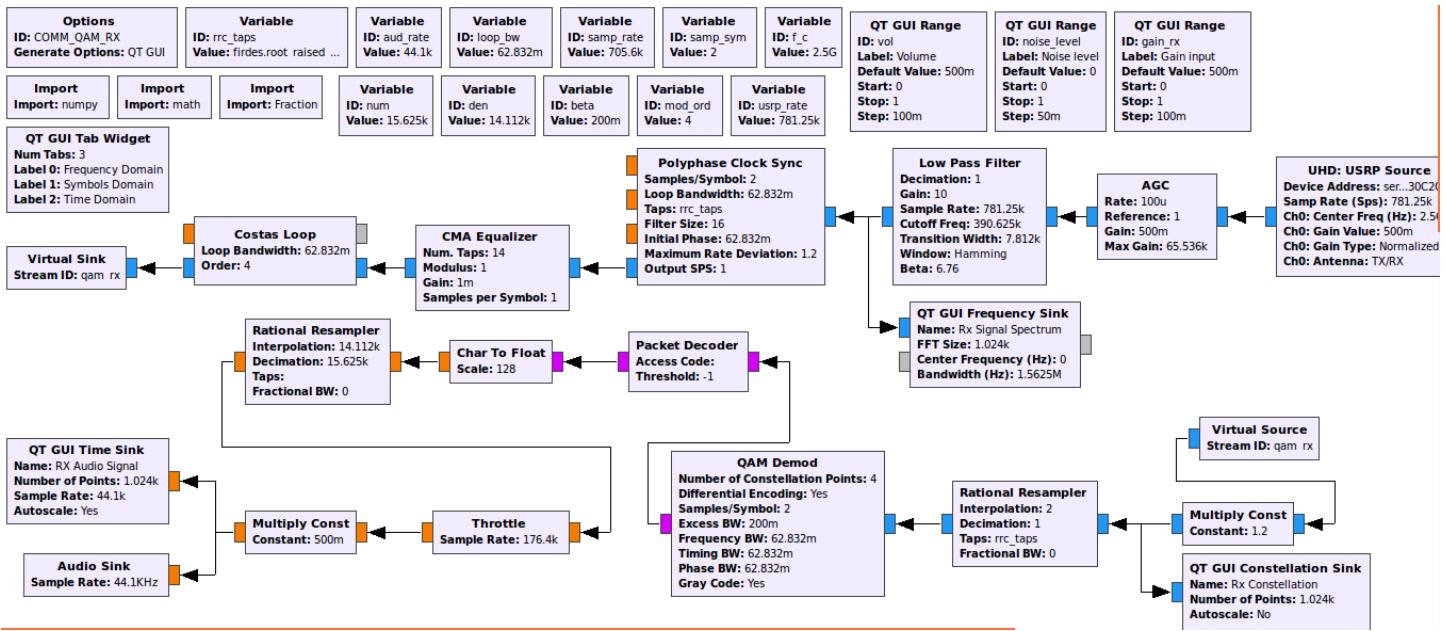
- usrp_rate: es la variable que describimos anteriormente como interpolation.
- samp_rate: tasa de símbolos del sistema antes de la conversión de muestreo. Se calcula así: $\text{samp_rate} = \text{aud_rate} * \text{bits_samp} * \text{samp_sym} / \text{bits_sym}$, en donde aud_rate es la frecuencia de muestreo del archivo de audio, bits_samp es el número de bits por muestra, que para nuestro archivo WAV es de 16, samp_sym es el número de muestras por símbolo que se toman en el codificador y en el modulador, 2 para este caso, y el número de bits por símbolo para 4 QAM es 2 (logaritmo en base 2 de mod_ord, variable que indica el orden de la modulación).

El diagrama del Rx es el siguiente:

Advertisements



REPORT THIS AD



Este hace el proceso inverso del transmisor, aunque requiere de unos bloques adicionales (lo nuevo para mi, y lo más difícil de esta implementación) los cuales explicaré a continuación:

- AGC: control automático de ganancia. La señal recibida fluctúa mucho en amplitud, por ello se requiere un sistema de control de ganancia, que permita variar la ganancia conforme el nivel de señal recibido, con el fin de obtener un nivel de señal lo más constante posible en potencia.
- Low Pass Filter: la señal debe de ser acotada en el dominio de la frecuencia, así como evitar que tome otras señales en el espectro que no estamos esperando. Se ajusta al mismo valor del Tx.
- Polyphase Clock Sync: Arreglo de filtros polifase para sincronización de símbolos entre transmisor y receptor. Estos filtros son del tipo raíz coseno alzado, por ende acá ya se realiza la conformación de símbolos antes de la detección en el demodulador. Acá se decima por 2 con el fin de ajustar mejor la sincronización. Los parámetros utilizados son los indicados en la ayuda de [GNU Radio](https://gnuradio.org/doc/doxygen/) (<https://gnuradio.org/doc/doxygen/>).
- CMA Equalizer: ecualizador de módulo constante. Este es necesario para igualar la amplitud de todos los símbolos. Este tipo de ecualizador es funcional solo en modulaciones de fase y en 4 QAM (igual distancia de símbolos al origen de coordenadas). A la fecha, es el único ecualizador funcional en GNU Radio.
- Costas Loop: bucle Costas. Este es el encargado de enganchar y mantener la frecuencia de portadora (frecuencia intermedia (IF), que puede ser cero en el mundo digital, como en este caso). Los parámetros tal como en la ayuda de [GNU Radio](https://gnuradio.org/doc/doxygen/) (<https://gnuradio.org/doc/doxygen/>).
- Rational Resampler: este se justifica debido a que diezmamos por 2 en el filtro polifase, entonces para recuperar adecuadamente los símbolos en el demodulador QAM, necesitamos duplicar los símbolos de nuevo.
- QAM Demod: demodulador QAM, parametrizado igual que el transmisor, con unas variables adicionales que son Frequency BW, Timing BW y Phase BW, para metrizadas como indica la ayuda de [GNU Radio](https://gnuradio.org/doc/doxygen/) (<https://gnuradio.org/doc/doxygen/>), con el valor de $2\pi/100$, indicado con la variable `loop_bw`.
- El resto tal como en el transmisor, solo la diferencia en la frecuencia del bloque Throttle, el cual por el bloque Packet Decoder que arroja en 2 bytes un dato, toca duplicarla respecto al transmisor.

El sistema lo probé y aún falta por mejorar la sincronización de símbolo y la ecualización, dado que no reproduce fluidamente el archivo de audio. Queda pues a los lectores esta tarea, mejorar el sistema cosa que transmite satisfactoriamente y sin errores el stream de audio. Como ejercicio considero que es un buen punto de partida para usuarios con conocimientos fundamentales en sistemas digitales de telecomunicaciones, espero que les sea de utilidad como lo fue para mi.

[Fotos] Mujer jirafa finalmente se quita los anillos después de cinco años DailySportX | Sponsored
([https://rfvtgb.dailysportx.com/worldwide/giraff-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=ds-giraff-bc2-s10-win-2w-ct-20053d&utm_term=\\$section_name\\$&utm_medium=\\$section_id\\$&utm_bid=\\$cpc\\$&obOrigUrl=true](https://rfvtgb.dailysportx.com/worldwide/giraff-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=ds-giraff-bc2-s10-win-2w-ct-20053d&utm_term=$section_name$&utm_medium=$section_id$&utm_bid=cpc&obOrigUrl=true))

Pon bicarbonato de sodio en tus canas y mira lo que sucede Investing Magazín | Sponsored
([https://mx.investing.com/magazine/25-trucos-sencillos-y-efectivos-de-belleza-y-bienestar/?utm_source=Outbrain&utm_medium=cpm&utm_campaign=00fb0da23e2476381227a3d1e2229a303d&utm_content=Pon+bicarbonato+de+sodio+en+tus+canas+y+mira+lo+que+sucede&utm_term=\\$publisher_name\\$_\\$section_name\\$&origin=outbrain&outbrain_params\[ad_id\]=00a0033e4b77074cba3771cb6dd315cab4&outbrain_params\[doc_title\]=25+trucos+sencillos+y+efectivos+de+belleza+y+bienestar&outbrain_params\[doc_author\]=25+trucos+sencillos+y+efectivos+de+belleza+y+bienestar+%7C+Investing+Mag&outbrain_params\[doc_id\]=00504653f9a2e68b77920de964696d58d3&outbrain_params\[ad_title\]=Pon+bicarbonato+de+sodio+en+tus+canas+y+mira+lo+que+sucede&outbrain_params\[publish_date\]=20221025&outbrain_params\[req_id\]=\\$req_id\\$&outbrain_params\[source_id\]=\\$source_id\\$&outbrain_params\[promoted_link_id\]=00a0033e4b77074cba377](https://mx.investing.com/magazine/25-trucos-sencillos-y-efectivos-de-belleza-y-bienestar/?utm_source=Outbrain&utm_medium=cpm&utm_campaign=00fb0da23e2476381227a3d1e2229a303d&utm_content=Pon+bicarbonato+de+sodio+en+tus+canas+y+mira+lo+que+sucede&utm_term=$publisher_name$_$section_name$&origin=outbrain&outbrain_params[ad_id]=00a0033e4b77074cba3771cb6dd315cab4&outbrain_params[doc_title]=25+trucos+sencillos+y+efectivos+de+belleza+y+bienestar&outbrain_params[doc_author]=25+trucos+sencillos+y+efectivos+de+belleza+y+bienestar+%7C+Investing+Mag&outbrain_params[doc_id]=00504653f9a2e68b77920de964696d58d3&outbrain_params[ad_title]=Pon+bicarbonato+de+sodio+en+tus+canas+y+mira+lo+que+sucede&outbrain_params[publish_date]=20221025&outbrain_params[req_id]=req_id&outbrain_params[source_id]=$source_id$&outbrain_params[promoted_link_id]=00a0033e4b77074cba377))

[Fotos] 14 productos que no debes comer si tienes más de 50 años Carnovels | Sponsored
([https://rfvtgb.carnovels.com/worldwide/hearta-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=cn-hearta-win-2w-rl-16093d&utm_term=\\$section_name\\$&utm_medium=\\$section_id\\$&utm_bid=\\$cpc\\$&obOrigUrl=true](https://rfvtgb.carnovels.com/worldwide/hearta-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=cn-hearta-win-2w-rl-16093d&utm_term=$section_name$&utm_medium=$section_id$&utm_bid=cpc&obOrigUrl=true))

Cómo mantener tu casa limpia sin ningún esfuerzo adicional CleanRobot | Sponsored
(<https://clean-robot.org/es-t/?obOrigUrl=true>)

[Fotos] Divertidas fotos de playa que no salieron como se había previsto <https://www.megazinos.com/> | Sponsored
([https://rfvtgb.megazinos.com/worldwide/beach-cp-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=mz-beach-bc1-des-2w-ct-20013d&utm_term=\\$section_name\\$&utm_medium=\\$section_id\\$&utm_bid=\\$cpc\\$&obOrigUrl=true](https://rfvtgb.megazinos.com/worldwide/beach-cp-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=mz-beach-bc1-des-2w-ct-20013d&utm_term=$section_name$&utm_medium=$section_id$&utm_bid=cpc&obOrigUrl=true))

35 fotos que muestran lo loco que es realmente Dubai Investing Magazín | Sponsored
([https://mx.investing.com/magazine/lujos-costosos-y-exclusivos-que-solo-existen-en-dubai/?utm_source=Outbrain&utm_medium=cpm&utm_campaign=0006b0a55a4f4dba35d15cf220b5a9316b&utm_content=35+fotos+que+muestran+lo+loco+que+es+realmente+Dubai&utm_term=\\$publisher_name\\$_\\$section_name\\$&origin=outbrain&outbrain_params\[ad_id\]=00b192e12f0d524d6adf2cdef9a39e4842&outbrain_params\[doc_title\]=Lujos+costosos+y+exclusivos+que+s%C3%B3lo+existen+en+Dub%C3%A1i&outbrain_params\[doc_author\]=Lujos+costosos+y+exclusivos+que+s%C3%B3lo+existen+en+Dub%C3%A1i+%7C+Investing+Maga&outbrain_params\[doc_id\]=00b976c0d3bc23e48d004c0d55e7b0e7b8&outbrain_params\[ad_title\]=35+fotos+que+muestran+lo+loco+que+es+realmente+Dubai&outbrain_params\[publish_date\]=20230328&outbrain_params\[req_id\]=\\$req_id\\$&outbrain_params\[source_id\]=\\$source_id\\$&outbrain_params\[promoted_link_id\]=00b](https://mx.investing.com/magazine/lujos-costosos-y-exclusivos-que-solo-existen-en-dubai/?utm_source=Outbrain&utm_medium=cpm&utm_campaign=0006b0a55a4f4dba35d15cf220b5a9316b&utm_content=35+fotos+que+muestran+lo+loco+que+es+realmente+Dubai&utm_term=$publisher_name$_$section_name$&origin=outbrain&outbrain_params[ad_id]=00b192e12f0d524d6adf2cdef9a39e4842&outbrain_params[doc_title]=Lujos+costosos+y+exclusivos+que+s%C3%B3lo+existen+en+Dub%C3%A1i&outbrain_params[doc_author]=Lujos+costosos+y+exclusivos+que+s%C3%B3lo+existen+en+Dub%C3%A1i+%7C+Investing+Maga&outbrain_params[doc_id]=00b976c0d3bc23e48d004c0d55e7b0e7b8&outbrain_params[ad_title]=35+fotos+que+muestran+lo+loco+que+es+realmente+Dubai&outbrain_params[publish_date]=20230328&outbrain_params[req_id]=req_id&outbrain_params[source_id]=$source_id$&outbrain_params[promoted_link_id]=00b))

1cb6dd315cab4&outbrain_params[time_stamp]=\$time_stamp\$&outbrain_params[campaign_id]=00fb0da23e2476381227a3d1e2229a303d&outbrain_params[uid]=\$uuid\$&outbrain_params[section_id]=\$section_id\$&outbrain_params[section_name]=\$section_name\$&outbrain_params[publisher_id]=\$publisher_id\$&outbrain_params[publisher_name]=\$publisher_name\$&outbrain_params[ob_click_id]=\$ob_click_id\$&outbrain_params[android_id]=\$android_id\$&outbrain_params[idfa]=\$idfa\$&outbrain_params[cpc]=\$cpc\$&im_dars=1x100_3x124_5x190_7x255&obOrigUrl=true)

Estas razas de perros son las más caras Investing Magazín | Sponsored
([https://mx.investing.com/magazine/las-razas-de-perros-mas-caras-del-mundo/?utm_source=Outbrain&utm_medium=cpm&utm_campaign=00520aef56882b0efba7233921a9898994&utm_content=Estas+razas+de+perros+son+las+m%C3%A1s+caras&utm_term=\\$publisher_name\\$_section_name\\$&origin=outbrain&outbrain_params\[ad_id\]=008670e727b96b1a90cb93c49884f1871b&outbrain_params\[doc_title\]=Las+razas+de+perros+m%C3%A1s+caras+del+mundo&outbrain_params\[doc_author\]=Las+razas+de+perros+m%C3%A1s+caras+del+mundo+%7C+Investing+Magazine+MX&outbrain_params\[doc_id\]=00dc7330df58e178435a45ef825c7b48d6&outbrain_params\[ad_title\]=Estas+razas+de+perros+son+las+m%C3%A1s+caras&outbrain_params\[publishe_date\]=20210816&outbrain_params\[req_id\]=\\$req_id\\$&outbrain_params\[source_id\]=\\$source_id\\$&outbrain_params\[promoted_link_id\]=008670e727b96b1a90c](https://mx.investing.com/magazine/las-razas-de-perros-mas-caras-del-mundo/?utm_source=Outbrain&utm_medium=cpm&utm_campaign=00520aef56882b0efba7233921a9898994&utm_content=Estas+razas+de+perros+son+las+m%C3%A1s+caras&utm_term=$publisher_name$_section_name$&origin=outbrain&outbrain_params[ad_id]=008670e727b96b1a90cb93c49884f1871b&outbrain_params[doc_title]=Las+razas+de+perros+m%C3%A1s+caras+del+mundo&outbrain_params[doc_author]=Las+razas+de+perros+m%C3%A1s+caras+del+mundo+%7C+Investing+Magazine+MX&outbrain_params[doc_id]=00dc7330df58e178435a45ef825c7b48d6&outbrain_params[ad_title]=Estas+razas+de+perros+son+las+m%C3%A1s+caras&outbrain_params[publishe_date]=20210816&outbrain_params[req_id]=req_id&outbrain_params[source_id]=$source_id$&outbrain_params[promoted_link_id]=008670e727b96b1a90c))

Errores al vestir que todo el mundo debería evitar para siempre Housediver | Sponsored
([https://rfvtgb.housediver.com/worldwide/stiog-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=hd-stiog-bc3-des-2w-mm-25013d&utm_term=\\$section_name\\$&utm_medium=\\$section_id\\$&utm_bid=\\$cpc\\$&obOrigUrl=true](https://rfvtgb.housediver.com/worldwide/stiog-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=hd-stiog-bc3-des-2w-mm-25013d&utm_term=$section_name$&utm_medium=$section_id$&utm_bid=cpc&obOrigUrl=true))

192e12f0d524d6adf2cdef9a39e4842&outbrain_params[time_stamp]=\$time_stamp\$&outbrain_params[campaign_id]=0006b0a55a4f4dba35d15cf220b5a9316b&outbrain_params[uuid]=\$uuid\$&outbrain_params[section_id]=\$section_id\$&outbrain_params[section_name]=\$section_name\$&outbrain_params[publisher_id]=\$publisher_id\$&outbrain_params[publisher_name]=\$publisher_name\$&outbrain_params[ob_click_id]=\$ob_click_id\$&outbrain_params[android_id]=\$android_id\$&outbrain_params[idfa]=\$idfa\$&outbrain_params[cpc]=\$cpc\$&im_dars=1x100_3x124_5x115_7x652&obOrigUrl=true)

[Fotos] Si estás solo en casa, cubre los pomos de las puertas con aluminio Investing Magazín | Sponsored
([https://mx.investing.com/magazine/trucos-de-seguridad-para-el-hogar-formas-asequibles-de-mantener-tu-hogar-seguro/?utm_source=Outbrain&utm_medium=cpm&utm_campaign=00f08151c25285d9c387917efcdcf218d&utm_content=%5BFotos%5D+Si+est%C3%A1s+solo+en+casa%2C+cubre+los+pomos+de+las+puertas+con+alum](https://mx.investing.com/magazine/trucos-de-seguridad-para-el-hogar-formas-asequibles-de-mantener-tu-hogar-seguro/?utm_source=Outbrain&utm_medium=cpm&utm_campaign=00f08151c25285d9c387917efcdcf218d&utm_content=%5BFotos%5D+Si+est%C3%A1s+solo+en+casa%2C+cubre+los+pomos+de+las+puertas+con+alum&utm_term=$publisher_name$_section_name$&origin=outbrain&outbrain_params[ad_id]=00aee5cf85aea3dc093e417e9ae92088&outbrain_params[doc_title]=Trucos+de+seguridad+para+el+hogar%3A+formas+asequibles+de+mantener+tu+ho&outbrain_params[doc_id]=003f56a7ffb9eddaab04a251106bc50d9c&outbrain_params[ad_title]=%5BFotos%5D+Si+est%C3%A1s+solo+en+casa%2C+cubre+los+pomos+de+las+puertas+con+alum))

```
b93c49884f1871b&outbrain_params[time_stamp]=$time_stamp
$&outbrain_params[campaign_id]=00520aef56882b0efba723392
1a9898994&outbrain_params[uuid]=$uuid$&outbrain_params[section_id]=$section_id$&outbrain_params[section_name]=$section_name$&outbrain_params[publisher_id]=$publisher_id$&outbrain_params[publisher_name]=$publisher_name$&outbrain_params[ob_click_id]=$ob_click_id$&outbrain_params[android_id]=$android_id$&outbrain_params[idfa]=$idfa$&outbrain_params[cpc]=$cpc$&im_dars=1x100_3x124_5x191_7x139&obOrigUrl=true)
```

```
&outbrain_params[publish_date]=20220327&outbrain_params[req_id]=$req_id$&outbrain_params[source_id]=$source_id$&outbrain_params[promoted_link_id]=00aee5cf85aead3dc093e417e9ae92088&outbrain_params[time_stamp]=$time_stamp$&outbrain_params[campaign_id]=00f08151c25285d9c387917efcdcf218d&outbrain_params[uuid]=$uuid$&outbrain_params[section_id]=$section_id$&outbrain_params[section_name]=$section_name$&outbrain_params[publisher_id]=$publisher_id$&outbrain_params[publisher_name]=$publisher_name$&outbrain_params[ob_click_id]=$ob_click_id$&outbrain_params[android_id]=$android_id$&outbrain_params[idfa]=$idfa$&outbrain_params[cpc]=$cpc$&im_dars=1x100_3x123_5x935_7x941&obOrigUrl=true)
```



One thought on “Implementación de moduladores digitales QAM, PSK, GMSK, y GFSK con GNU Radio y el USRP NI 2900”

1. Pingback: [Parametrización del bloque Polyphase Clock Sinc \(sincronizador de reloj tipo filtro polifase\) en GNU Radio – Ronal Montoya's Blog](#)

Website Powered by WordPress.com.

Advertisements

REPORT THIS AD