



DEPARTAMENTO DE TEORÍA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES
Y SISTEMAS TELEMÁTICOS Y COMPUTACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA
EN TECNOLOGÍAS DE LA TELECOMUNICACIÓN

TERMINALES DE COMUNICACIONES

PRÁCTICA 1:
«INTRODUCCIÓN A GNU RADIO»

CURSO ACADÉMICO 15/16

Mihaela I. Chidean
Eduardo del Arco
Óscar Barquero Pérez
Antonio J. Caamaño

Fecha publicación: 22/01/2016

Este obra está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.



1. Objetivos y descripción de la práctica

El objetivo de esta práctica es que el alumno se familiarice con el entorno gráfico *GNU Radio Companion*¹ (GRC) y con las plataformas *Universal Software Radio Peripheral*² (USRP). Para ello, en esta práctica se crearán varios diagramas de flujo básicos que utilizarán bloques con diversas funcionalidades, incluyendo generadores de señal, filtros u osciloscopios.

1.1. Grupos

Los alumnos se organizarán en grupos formados por 3 miembros.

1.2. Evaluación

Todas las prácticas de Terminales de Comunicaciones se evaluarán mediante la entrega de una **única memoria**, que será organizada en tantas secciones como prácticas se llevarán a cabo. La extensión máxima de la memoria es de **15** páginas, incluida la portada y la bibliografía empleada. Únicamente serán corregidas las memorias entregadas en formato pdf.

Aunque las prácticas se realicen en grupos, cada alumno deberá entregar de forma individual la memoria. Los alumnos de un mismo grupo podrán utilizar las mismas figuras, sin embargo, la explicación de las mismas, así como las respuestas a las preguntas planteadas será individual. Tenga en cuenta que la nota de prácticas de cada alumno dependerá de la memoria individual y de los ficheros entregados.

En la portada cada alumno deberá indicar claramente su nombre y, además, incluirá el nombre del resto de miembros del grupo.

La fecha de entrega la memoria de prácticas es **28 de abril de 2016**.

Posibles penalizaciones sobre la nota de prácticas:

- | | |
|---|-----------|
| • Memoria entregada el día 29 de abril de 2016: | 3 puntos |
| • Memoria entregada el día 30 de abril de 2016 o sucesivos: | 10 puntos |
| • La portada no incluye el nombre de los compañeros de grupo: | 1 punto |

¹<http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/GNURadioCompanion>

²http://www.ettus.com/content/files/kb/b200-b210_spec_sheet.pdf
http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Software_Radio_Peripheral

1.3. Material

La práctica se realizará en el aula 3208 del Edificio Laboratorio III.

Además, esta práctica se puede realizar en ordenadores externos a la Universidad, instalando el entorno GNU Radio Companion en los ordenadores personales o portátiles. Esta opción es la más recomendada en caso de querer realizar la práctica fuera de horario de clase.

En caso de no conseguir finalizar la instalación, es posible utilizar una memoria USB de 4GB de capacidad o mayor, que tendrá instalada una imagen de Ubuntu 12.04. Los alumnos interesados deberán solicitar la memoria maestra a los profesores, copiar el contenido de dicha memoria maestra a la suya propia empleando el comando “dd” y **devolver** la memoria maestra a los profesores en el plazo de 48 horas. Esta opción es la menos recomendada, ya que el desarrollo se ve ralentizado.

2. Consideraciones previas

2.1. SDR

Un sistema de *Software Defined Radio*³ (SDR), o radio definida por software, es un sistema de radiocomunicaciones donde los componentes (mezcladores, filtros, amplificadores, ADC/DAC, etc.) están implementados en software. Esto permite el diseño o mejora de componentes, e incluso de sistemas completos como transmisores, receptores, osciloscopios, analizadores de espectros. La gran ventaja del diseño por software de estos sistemas es la flexibilidad del mismo, alcanzada mediante la configuración dinámica sus parámetros.

La SDR surge, además, para solucionar los problemas de incompatibilidades entre los sistemas de telecomunicación inalámbrica (p.e. reutilización de equipos). En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques de un sistema SDR, compuesta por tres bloques funcionales: sección de RF, sección de FI (Frecuencia Intermedia) y sección de banda base.

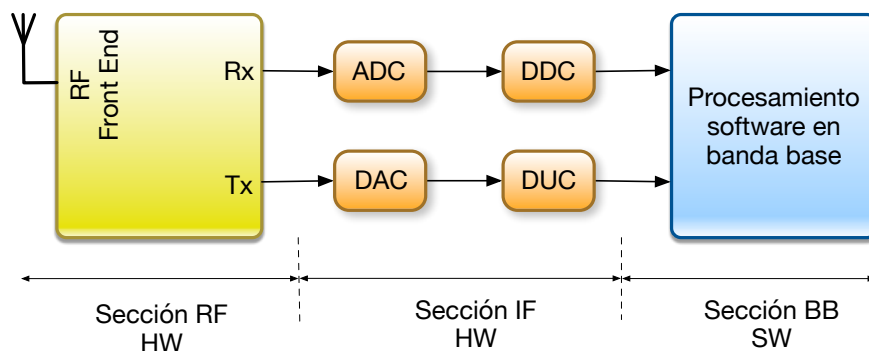


Figura 1: Diagrama de bloques funcionales de SDR

³http://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_radio

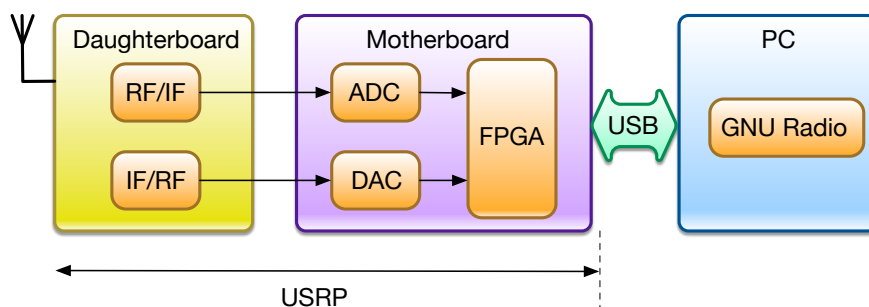


Figura 2: Diagrama de bloques funcionales de USRP

La primera implementación relevante del concepto de SDR fue el proyecto militar estadounidense *SpeakEasy*⁴, cuyo objetivo fue implementar más de 10 tecnologías inalámbricas en un mismo equipo programable, operando en la banda de frecuencias de 2MHz a 200MHz.

2.2. GNU Radio y GRC

GNU Radio es una herramienta de desarrollo libre (GNU GLP⁵) que permite, entre otras cosas, diseñar e implementar sistemas de SDR. Además, permite construir aplicaciones de procesamiento de señal, donde las entradas (*input*) pueden ser tanto datos generados por un hardware real como grabados previamente.

GNU Radio fue publicado por primera vez en 2001, financiado por John Gilmore⁶ y desarrollado y administrado por Eric Blossom⁷. Además, uno de los primeros desarrolladores que se unió al proyecto fue **Matt Ettus**. El código de GNU Radio fue reescrito completamente en 2004.

En general, para los diseños de GNU Radio se emplea el lenguaje de programación Python⁸. Sin embargo, existe la posibilidad utilizar la interfaz gráfica GNU Radio Companion (GRC).

2.3. USRP

La compañía **Ettus Research**, y su compañía matriz National Instruments, diseña y vende los dispositivos USRP², que son una serie de sistemas de SDR. La familia de productos USRP ha sido concebida para ser una plataforma con un buen equilibrio precio/prestaciones, con respecto al resto de plataformas hardware para SDR disponibles en el mercado. Siguiendo el paradigma de “hardware libre”, la mayoría de los esquemáticos de las USRPs están accesibles. Además, estos dispositivos están controlados por el *driver* de código abierto UHD (USRP *Hardware Driver*).

Los modelos de USRPs disponibles en el mercado utilizan una arquitectura similar (ver

⁴<http://en.wikipedia.org/wiki/SpeakEasy>

⁵http://es.wikipedia.org/wiki/GNU_General_Public_License

⁶http://es.wikipedia.org/wiki/John_Gilmore

⁷http://en.wikipedia.org/wiki/Eric_Blossom

⁸<https://www.python.org/>

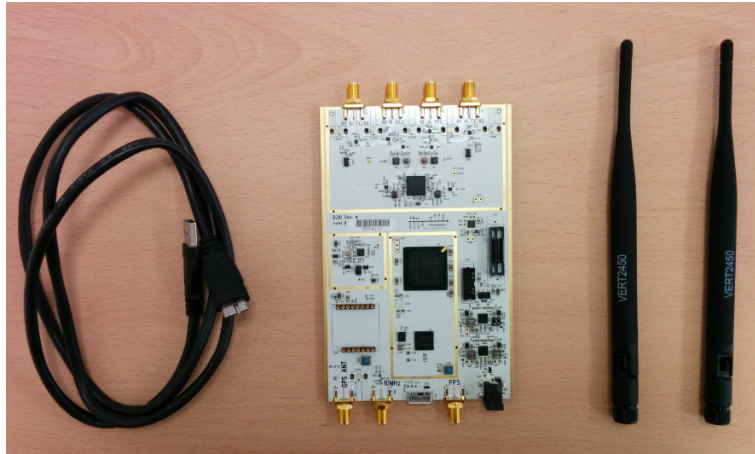


Figura 3: USRP

Figura 2). Las placas constan de una placa principal (*motherboard*) y una secundaria (*daughterboard*). La placa principal proporciona: reloj y sincronización, una FPGA, ADC/DAC, interfaz con PC y control de potencia. La placa secundaria es la interfaz con el medio inalámbrico. Con esta modularidad, la USRP tiene la habilidad de trabajar tanto en el intervalo 0 – 6GHz.

En esta práctica se utilizará el modelo USRP B210, ilustrado en la Figura 3.

3. Desarrollo de la práctica

En este apartado se indican los distintos pasos a seguir para la realización de la práctica.

3.1. Hito 1: Primeros pasos con GNU Radio Companion

Paso 1 - Arrancar un ordenador con el programa GRC instalado.

Paso 2 - Iniciar GRC utilizando el comando `gnuradio-companion` en un “Terminal”.

Paneles de GRC: Se abrirá un diagrama en blanco. A continuación se explicarán los paneles que forman la ventana de trabajo de GRC usando como referencia la Figura 4:

1. Barra de archivos: menús para manejo de ficheros y configuración.
2. Barra de herramientas: diversas herramientas que sirven para el manejo de diagramas. Se detallarán los más relevantes en el apartado **Botones principales**.
3. Panel de diseño: utilizado para realizar el diagrama del sistema de forma gráfica (similar a Simulink).
4. Panel librería: listado de todos los bloques disponibles para GNU Radio.

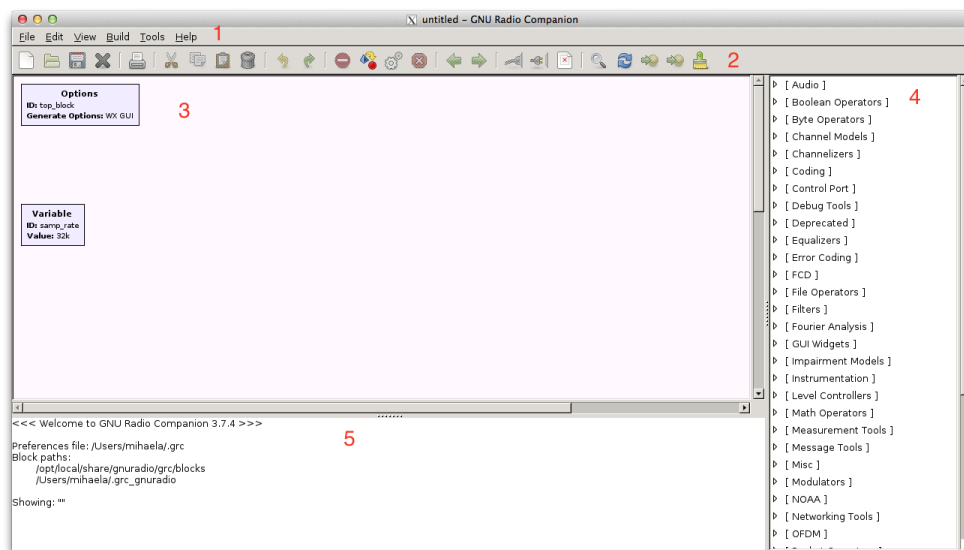


Figura 4: Ventana de GRC con diagrama en blanco.

5. Panel terminal: similar al programa “Terminal” pero solamente como ventana de lectura. Por este panel se muestra información sobre el funcionamiento de GRC y de los dispositivos conectados. Por este panel se muestra la misma información que en el Terminal que ha lanzado GRC.

NOTA: El programa GNU Radio Companion suele dar problemas con los acentos y los espacios (tanto en el nombre de los ficheros como en el de las variables). Por tanto, se recomienda encarecidamente no emplear ni acentos ni espacios en los mismos.

Botones principales: En la Figura 5 se muestran los botones de edición y manejo de ficheros y diagramas, en concreto: nuevo, abrir, guardar y cerrar. En la Figura 6 se muestran los principales botones utilizados para implementar un diagrama de flujo, en concreto: generar, ejecutar y detener. Además, se muestra el aspecto de estos botones antes (Figura 6a) y durante (Figura 6b) la ejecución.



Figura 5: Barra de herramientas: botones de edición.

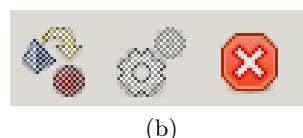
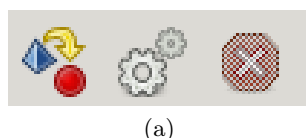


Figura 6: Barra de herramientas: botones para “Generar”, “Ejecutar” y “Detener” un diagrama de flujo.

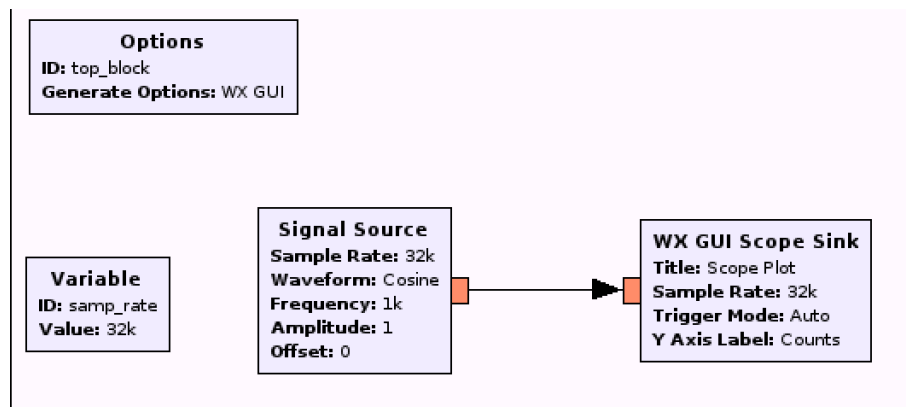


Figura 7: Diagrama de flujo obtenido al finalizar el Paso 5.

Bloques del esquemático: En el Panel librería se enumeran todos los bloques disponibles para GRC. Están agrupados por categorías y van desde fuentes de información, a sumideros de información, pasando por diversos bloques que permiten modificar las señales. Además se incluyen bloques para interactuar con el usuario, como ventanas de osciloscopio o barras deslizables para modificar el valor de las variables en tiempo de ejecución.

Dedique unos minutos a explorar todos los bloques disponibles.

Pregunta 1: Describa brevemente dos bloques a elección. Evite describir los mismos bloques que los miembros de su grupo.

3.2. Hito 2: Primer diagrama de flujo

En el panel de diagrama observará que, por defecto, se han incluido dos bloques. El bloque “Options” incluye información básica del diagrama, como el título del proyecto, autor e ID. Además, mediante el parámetro “Generate Options” elegiremos el tipo de ventana de salida que proporcionará GRC. En esta asignatura utilizaremos el valor por defecto, es decir, “WX GUI”. El segundo bloque es de tipo “Variable” y es utilizado para fijar la tasa de muestreo utilizada por todos los bloques que participan en el proyecto.

Paso 3 - Añada al diagrama un bloque tipo “Signal Source”. Modifique sus parámetros para que la señal generada sea un coseno de frecuencia 1KHz y amplitud 1 y de tipo Float.

Paso 4 - Para visualizar esta señal, añada un bloque de visualización tipo “Scope Sink”, cuya interfaz es similar a la de un osciloscopio. Preste atención al tipo de la entrada que acepta y deje el resto de parámetros a sus valores por defecto.

Paso 5 - Conecte los dos bloques que acaba de colocar en el diagrama (haciendo click primero en el puerto *out* del bloque Source y luego en el puerto *in* del bloque Sink). Obtendrá un diagrama de flujo como el mostrado en la Figura 7.

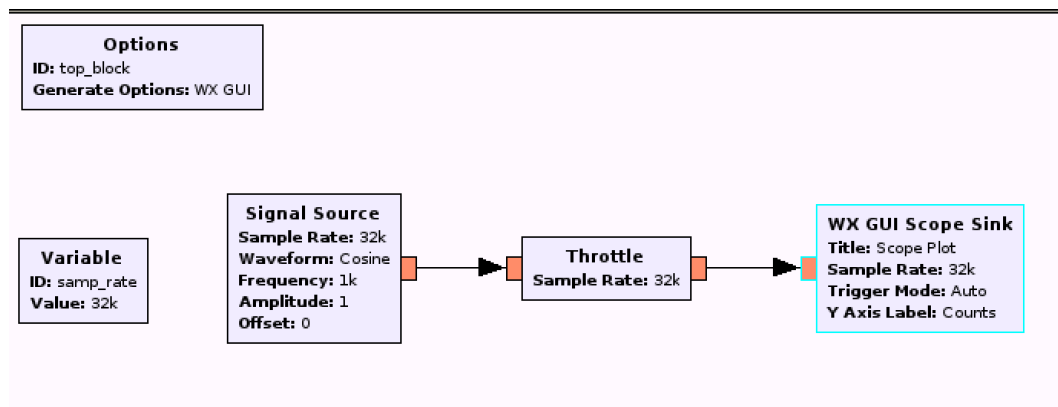


Figura 8: Diagrama de flujo obtenido al finalizar el Paso 6.

Paso 6 - Es posible que aparezca un “Warning” y que el botón “Generar” no pueda ser seleccionado. En este caso, deberá de añadir un bloque adicional llamado “Throttle”. Este bloque se utiliza exclusivamente en diagramas empleados para simulación (los que no se ejecutan en hardware SDR, tipo USRP) y su misión es asegurar que la tasa de muestreo se cumple en todo momento.

Aunque no aparezca el “Warning”, es conveniente añadir el bloque “Throttle”, obteniendo un diagrama de flujo como el mostrado en la Figura 8.

Entregable 1: Fichero llamado **pr1-paso6.grc** que incluya el diagrama de flujo.

Pregunta 2: ¿Qué mecanismo tiene GRC para informar al usuario del desajuste entre los tipos de datos?

Pregunta 3: ¿Qué tipos de datos tiene disponibles GRC?

Pregunta 4: ¿Qué tipos de datos ofrece en el puerto *out* el bloque “UHD: USRP Source”?

Paso 7 - Ejecute el diagrama haciendo click en el botón “Generar” y después en el botón “Ejecutar”. Observará que se ha abierto una ventana de osciloscopio que representa la señal coseno creada.

Paso 8 - Cambie el tipo de marcador de “Line link” a “Dot Large”.

Pregunta 5: ¿Cuántos puntos se muestran para cada periodo de señal?

Paso 9 - Cierre la ventana, modifique la frecuencia de muestreo empleada a 10kHz y vuelva a ejecutar el diagrama.

Pregunta 6: Aporte a la memoria al menos dos capturas de pantalla con diferentes frecuencias de muestreo utilizadas.

Pregunta 7: ¿Cuál es la frecuencia de muestreo mínima? ¿Por qué?

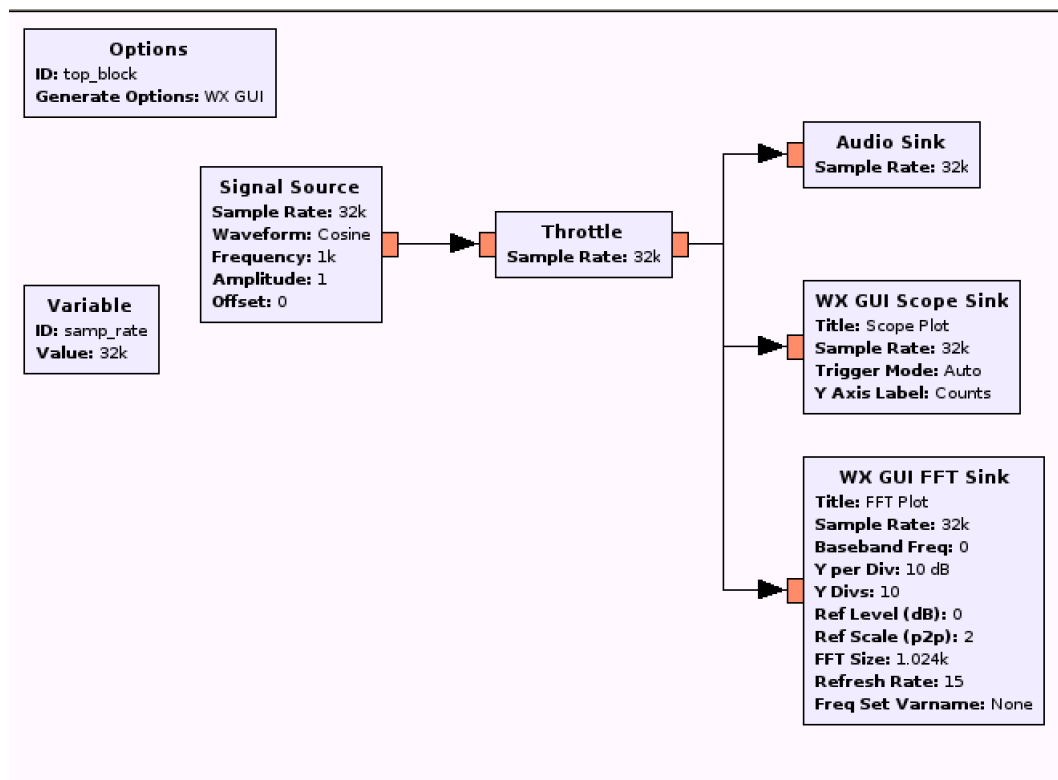


Figura 9: Diagrama de flujo obtenido al finalizar el Paso 11.

Paso 10 - Dedique unos minutos a explorar los diferentes bloques utilizados para visualizar información en GRC.

Pregunta 8: ¿Qué bloques hay disponibles para visualizar información en GRC? ¿Qué tipo de información muestra cada uno de los bloques? ¿Bajo qué categoría están agrupados? Céntrese únicamente en el tipo de ventana WX.

3.3. Hito 3: Múltiples sumideros

Paso 11 - Añada los bloques “Audio Sink” y “FFT Sink” al proyecto, obteniendo un diagrama parecido al mostrado en la Figura 9.

Entregable 2: Fichero llamado **pr1-paso11.grc** que incluya el diagrama de flujo.

Pregunta 9: ¿Qué tipo de información ofrece cada uno de los bloques Sink que ha utilizado? (Asegúrese que el volumen del ordenador es adecuado)

3.4. Hito 4: Manejo de pestañas

Como habrá observado, al utilizar múltiples sumideros, estos se colocan en la misma ventana de salida a criterio de GRC. Sin embargo, puede que no sea el mejor criterio

disponible. Por tanto, existe la posibilidad de crear pestañas en la ventana de salida, utilizando un bloque de tipo “Notebook”.

En este bloque, el parámetro “ID” es un identificador único dentro del diagrama que permitirá a los bloques de visualización ser colocados dentro de este grupo de pestañas (p.e. “nbook”). El parámetro “Labels” indica el título de cada una de las pestañas creadas. El parámetro “Grid Position” indica la posición y el tamaño de la ventana (p.e. “0,0,4,4”). Y, finalmente el parámetro “Notebook” permite indicar el ID de otro bloque de tipo “Notebook” para crear sub-pestañas. Por defecto, este parámetro se deja vacío.

Por otro lado, en cada uno de los bloques “Sink” se ha de rellenar el parámetro “Notebook” indicando en primer lugar el ID del bloque correspondiente, seguido del orden ocupado dentro de las pestañas (comenzado por 0). Por ejemplo, si la primera pestaña será para el osciloscopio, en el bloque Scope Sink se indicará lo siguiente: “nbook,0”.

Además, en cada uno de los bloques Sink se puede variar sus dimensiones (dentro de la misma pestaña) mediante los correspondientes parámetros “Grid Position”.

Paso 12 - Modifique el diagrama obtenido en el Hito 3 para que contemple la presencia de dos pestañas en la ventana de salida (la primera para el sumidero tipo FFT y la segunda para el sumidero tipo Scope).

Entregable 3: Fichero llamado **pr1-paso12.grc** que incluya el diagrama de flujo.

Pregunta 10: Proporcione en la memoria una captura de pantalla con la ventana de salida configurada con pestañas.

3.5. Hito 5: Operaciones con señales

Hasta ahora hemos trabajado únicamente con una fuente de información. A partir de ahora, incluiremos otra fuente adicional y diversos bloques que operarán sobre estas fuentes.

Paso 13 - Añada una nueva fuente de información de tipo coseno, con una amplitud de 1 y frecuencia de 800Hz.

Paso 14 - Modifique el diagrama para que a la entrada del bloque “Throttle” se encuentre la **suma** de las dos fuentes de información.

Entregable 4: Fichero llamado **pr1-paso14.grc** que incluya el diagrama de flujo.

Pregunta 11: ¿Qué forma de onda espera observar en la ventana de salida? ¿Por qué?

Pregunta 12: Proporcione en la memoria una captura de pantalla con la señal en el dominio del tiempo obtenida.

Paso 15 - Modifique el diagrama de tal forma que la frecuencia de los cosenos sea de 1000 y 1001 Hz.

Pregunta 13: ¿Qué ocurre con el tono que se escucha al ejecutar el diagrama? ¿Por qué?

Paso 16 - Modifique el diagrama que a la entrada del bloque “Throttle” se encuentre el **producto** de las dos fuentes de información (vuelva a configurar las frecuencias de los cosenos a 1000 y 800 Hz).

Entregable 5: Fichero llamado **pr1-paso16.grc** que incluya el diagrama de flujo.

Pregunta 14: ¿Qué forma de onda espera observar en la ventana de salida? ¿Por qué?

Pregunta 15: Proporcione en la memoria capturas de pantalla con la señal en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia obtenida.

Paso 17 - Modifique el diagrama de tal forma que únicamente se visualice la componente de baja frecuencia.

Entregable 6: Fichero llamado **pr1-paso17.grc** que incluya el diagrama de flujo.

Pregunta 16: ¿Qué bloque ha utilizado? ¿Con qué parámetros? ¿Por qué?

Pregunta 17: Proporcione en la memoria capturas de pantalla con la señal en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia obtenida.

3.6. Hito 6: Manejo de *sliders* y otras formas de utilizar las variables de entrada

Como habrá observado, hasta este momento cualquier cambio en los parámetros de entrada supone parar la ejecución, modificar el parámetro y volver a ejecutar. Sin embargo, GRC tiene mecanismos suficientes para permitir modificar la mayoría de los parámetros en **tiempo de ejecución**. Para ello, proporciona diversos bloques para esta tarea agrupados dentro de la clase “GUI Widgets”. Como cualquier otro bloque, estos se pueden integrar dentro de pestañas o pueden ser situados dentro de la ventana global, estando disponibles para todas las pestañas a la vez.

Los valores de entrada son accesibles en el resto del diagrama a través del ID del bloque. Por tanto, si dispone de un bloque tipo *slider*, que se utiliza para capturar el valor de una frecuencia y su ID es “freq1”, en el bloque donde ha de utilizar este valor de frecuencia, en el parámetro correspondiente, indicará “freq1” (substituyendo el valor numérico que ha utilizado hasta este momento).

Paso 18 - Modifique el diagrama para incluir como variables de entrada modificables en tiempo de ejecución los siguientes parámetros: amplitud y frecuencia de ambas señales, frecuencia de corte del filtro paso bajo.

Entregable 7: Fichero llamado **pr1-paso18.grc** que incluya el diagrama de flujo.