

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Sistema digital de un radar CW-LFM en banda S

19 de febrero de 2019



Autor:
Luis Alberto Gómez
Daniel Montesano

Índice

1. Introducción	2
2. Funcionamiento general	2
3. Transmisión de datos	4
4. Descripción de la PCB	4
4.1. Primera versión	5
4.2. Segunda versión	6
5. Configuración	9
5.1. Primera versión	9
5.2. Segunda versión	10
6. Ejemplos de uso	12
7. Anexos	14

1. Introducción

Este documento describe el funcionamiento y la operativa de un radar en banda S desarrollado en el GMR. Se han desarrollado dos versiones de este sistema. La segunda versión intenta solucionar los problemas detectados en la primera.

El funcionamiento general de ambas versiones es similar, ya que la estructura de la sección digital es la misma, usándose el mismo microcontrolador. Sin embargo, particularidades de cada versión son explicadas cuando es necesario.

Este documento es parte de el repositorio¹ creado para este radar, donde se alojan los diseños de los sistemas desarrollados, así como código complementario al aquí descrito.

2. Funcionamiento general

El sistema usa un microcontrolador del fabricante *STMicroelectronics*, en concreto el modelo STM32F205VET6. La placa fabricada dispone de dos conectores USB (Figura 1). Uno de ellos sólo proporciona alimentación a los circuitos, mientras que el otro, además de alimentar, también permite la transmisión de información. En el caso de que un solo USB no sea suficiente para alimentar el sistema se pueden conectar ambos a la vez (**se debe tener en cuenta que ambos USB deberían estar conectados al mismo ordenador**). También dispone de un botón para resetear el sistema.

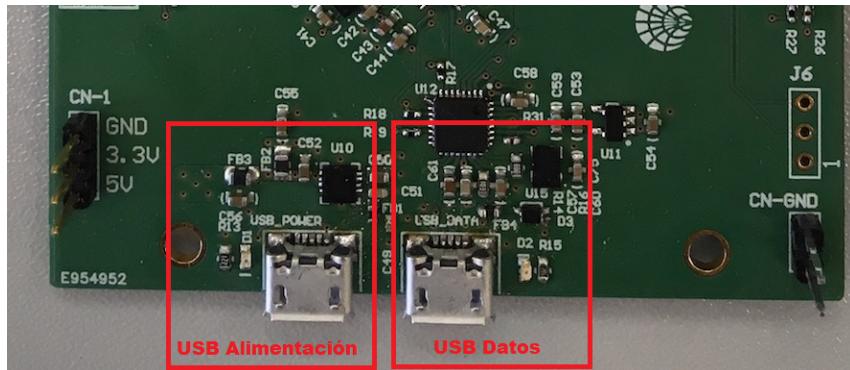


Figura 1: Conectores USB.

El sistema realiza tres funciones básicas:

- Adquisición de señal. Se utiliza un conversor analógico digital (ADC) que dispone de una entrada. Muestrea la señal y la digitaliza. Tiene una resolución de 12 bits, una frecuencia de muestreo máxima de 2 MHz y las tensiones que admite de entrada van de 0 a 3.3 V.
- Generación de señal. Se utiliza un conversor digital analógico (DAC) para generar la señal de modulación del VCO. Se puede fijar un valor de tensión concreto (y por tanto una frecuencia fija) o realizar un barrido en tensión. Puede generar tensiones entre 0 y 3.3 V y tiene una resolución de 12 bits.

¹https://github.com/danielmontesano/GMR_FMCW_Radar_Bandas

- Envío de los datos adquiridos a un ordenador. Los datos digitalizados se envían en bloques de la longitud del tiempo de rampa². Cada valor tiene un tamaño de 16 bits. Como el ADC tiene una resolución de 12 bits, los 4 bits más significativos se desaprovechan. Los valores enviados tienen un rango de 0 a 4095, correspondiendo a 0 V y 3.3 V respectivamente.

En la Figura 2 se puede observar el diagrama de flujo del sistema. Una vez iniciado, de forma sincronizada se genera la señal deseada que modula el VCO y se captura la señal recibida con el ADC. La cantidad de muestras digitalizadas depende del tiempo de rampa, ya que la frecuencia de muestreo está fijada a 2 MHz. Este bloque de muestras se envía utilizando el puerto serie a un ordenador, y para recibirlas se puede usar cualquier programa capaz de leer un puerto serie, como MATLAB. Una vez iniciado el sistema, tanto la generación de señal como la adquisición de datos se realiza de forma continua.

En la Figura 3 se puede observar un diagrama temporal de la generación y adquisición de señal (el sistema está en su configuración por defecto). En la parte superior se puede observar una señal de depuración disponible los conectores auxiliares de la placa. Esta señal cuadrada cambia de nivel cada vez que se empieza a adquirir un nuevo bloque de muestras con el ADC. En la parte inferior de la Figura 3 se puede ver las rampas generadas por el DAC. Como se puede ver la generación de las rampas y la digitalización están sincronizadas.

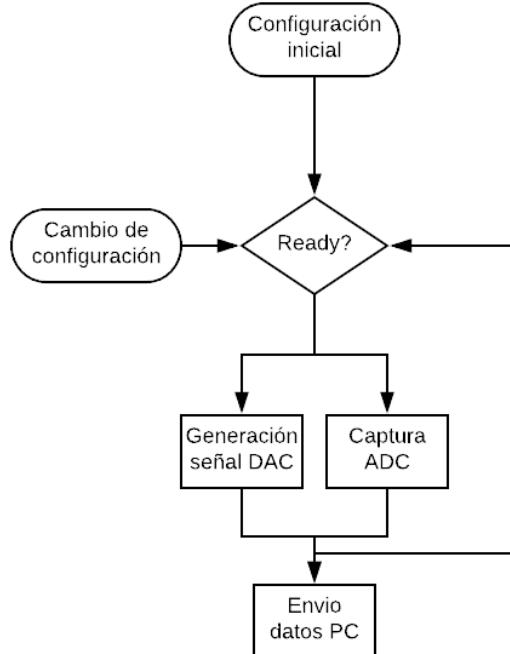


Figura 2: Diagrama de flujo del sistema.

²Al realizar la programación del sistema se ha elegido este método por su sencillez.

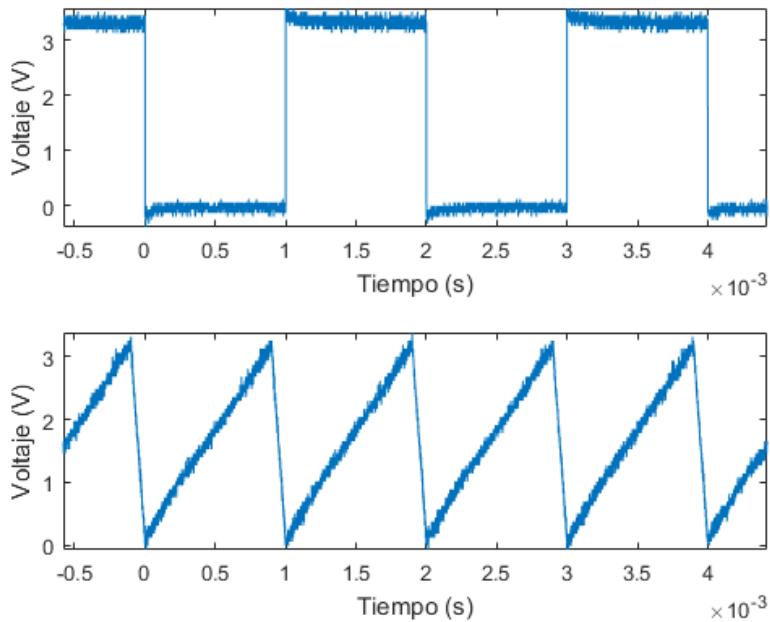


Figura 3: Captura del ADC y generación de señal.

Al iniciar el sistema se realiza una configuración inicial que fija los valores por defecto del tiempo de rampa (1 ms) y su voltaje mínimo y máximo (de 120 mV a 3.22 V). Se empieza a generar señal y adquirir. Sin embargo, el VCO se mantiene desactivado hasta que el usuario lo active, por lo que por defecto no se genera señal de RF.

Es necesario destacar que en el caso de usar el sistema operativo Windows hace falta instalar un driver (presente en la carpeta “Drivers” del repositorio) para un funcionamiento correcto del sistema. En el caso de usar una distribución Linux o MacOS no es necesario.

3. Transmisión de datos

La transmisión de los datos al PC se hace mediante puerto serie por un USB. Para asegurar la correcta transmisión de los datos, se ha implementado un protocolo que usa un código de detección de errores tipo CRC para comprobar que los datos que se han recibido son correctos. Este CRC se aplica a cada rampa y si el receptor detecta algún error, ese paquete, correspondiente a una rampa, se descarta.

Para que dicho protocolo sea transparente para la operativa del radar, se proporciona una función para decodificar los datos. La función `packet_decode.m` devuelve los datos decodificados tras pasarle los datos en bruto leídos del puerto serie. Puede encontrarse en el repositorio (en la carpeta “Código”).

4. Descripción de la PCB

En esta sección se describe la PCB de los sistemas desarrollados desde un punto de vista operativo, detallando todo lo necesario para poder operar el sistema.

4.1. Primera versión

En la Figura 4 se muestra una foto de la PCB con todos las entradas y salidas destacadas, así como diferentes puntos de prueba que pueden ser usados.

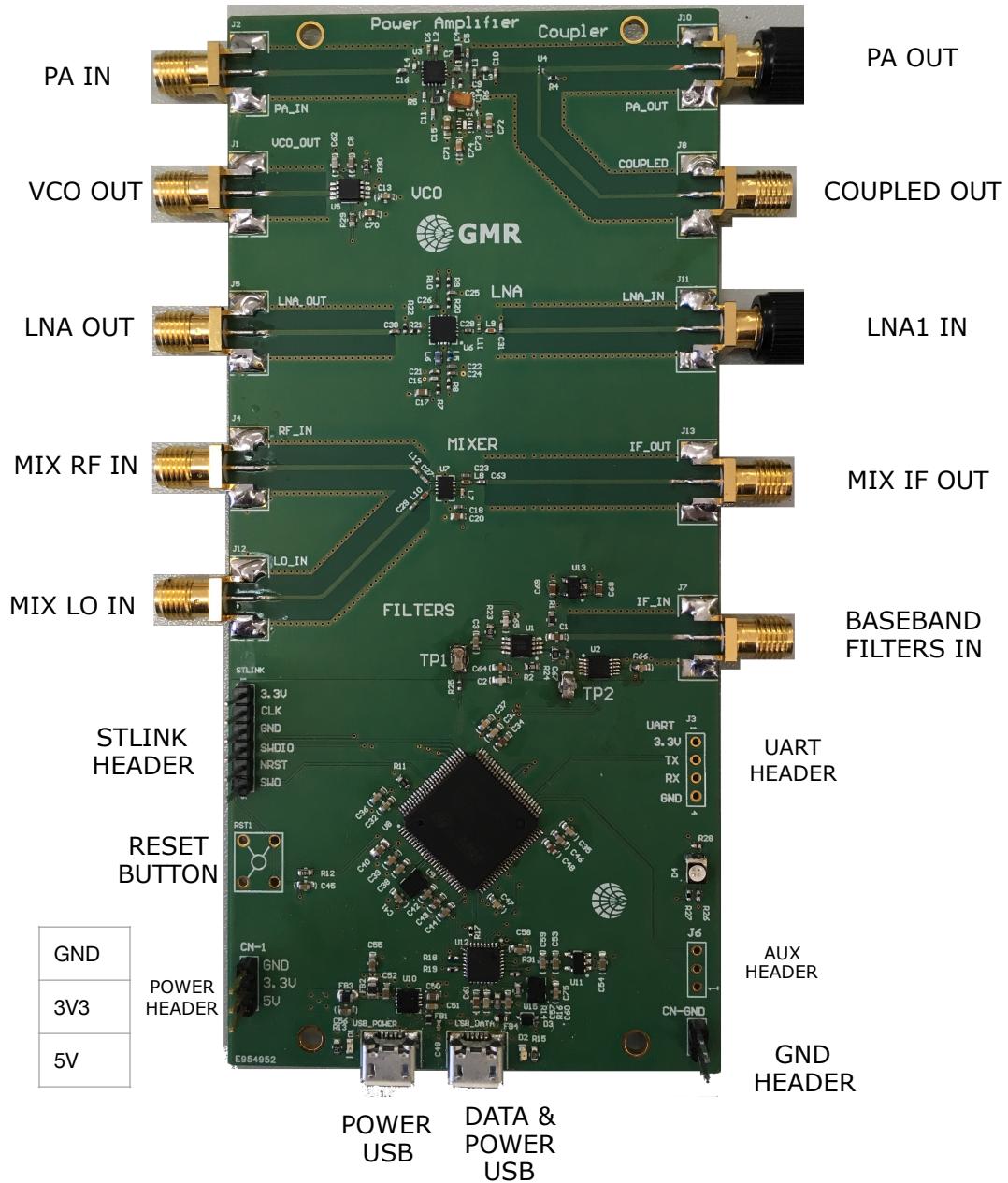


Figura 4: Foto de la placa fabricada de la primera versión del radar

- El conector de UART puede ser usado para comunicar el microcontrolador con algún periférico.
- El conector de STLINK se usa para programar el microcontrolador con un programador compatible con los microcontroladores STM32.
- Mediante los pines del conector de potencia se pueden sacar voltajes comúnmente utilizados, para alimentar algún periférico.

- Los pines del conector auxiliar dan acceso al ADC extra del microcontrolador así como dos puertos GPIO configurables para realizar distintas funciones.
- Durante el desarrollo del proyecto se han utilizado algunas salidas del microcontrolador para la depuración del sistema. En el conector auxiliar identificado como “J6” en la PCB, el pin 2 corresponde con una señal cuadrada (color rosa en la Figura 5) cuyo nivel alto corresponde con los instantes en los cuales se esta enviando información a través del USB y el pin 3 corresponde con una señal cuadrada que cambia de nivel cada vez que el ADC empieza a adquirir (color amarillo en la Figura 5).

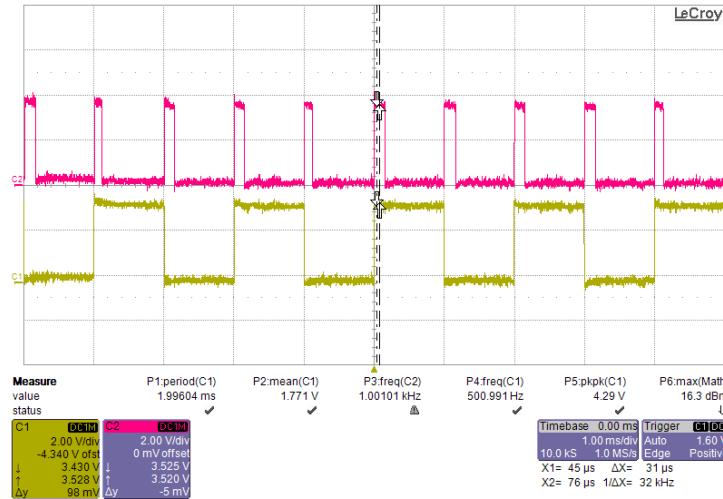


Figura 5: Señales para la depuración.

4.2. Segunda versión

En la Figura 6 se muestra una foto de la PCB con todos las entradas y salidas destacadas, así como diferentes puntos de prueba que pueden ser usados.

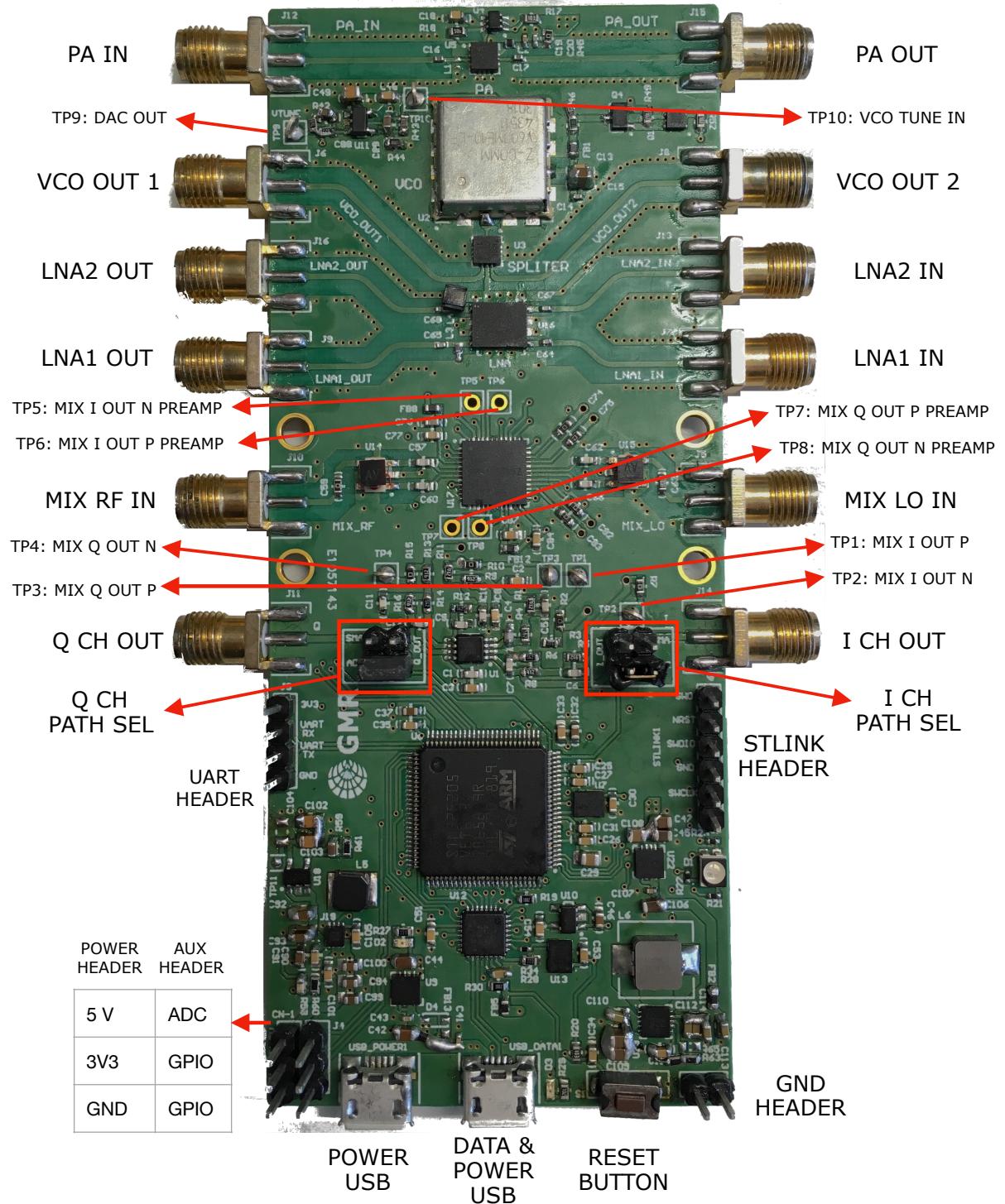


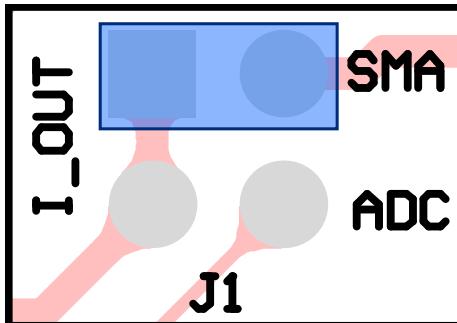
Figura 6: Foto de la placa fabricada de la segunda version del radar

- El TP9 es la salida del DAC, antes del filtro amplificador, mientras que TP10 se encuentra a la salida de dicho filtro, justo a la entrada del tuning del VCO.
- Los puntos de prueba TP5 y TP6 son las salidas N y P del canal I del mezclador, antes de pasar por los filtros y amplificadores de banda base internos del mezclador.
- TP7 y TP8 son lo mismo que lo explicado anteriormente, pero para el canal Q.

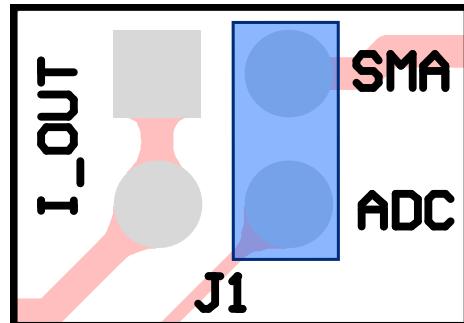
- Los puntos de prueba TP4 y TP3 son las salidas N y P del canal Q del mezclador, que a su vez son las entradas de los filtros diferenciales de banda base.
- TP1 y TP2 son las salidas P y N del canal Q del mezclador, que a su vez son las entradas de los filtros diferenciales de banda base.
- El selector de conexión de los canales I/Q puede ser usado para realizar cualquiera de las siguientes conexiones. La selección se realiza colocando el jumper en la posición adecuada.³
 - Salida de los filtros de banda base al conector SMA. El jumper tiene que estar en la posición de la Figura 7a.
 - Conector SMA al ADC. El jumper tiene que estar en la posición de la Figura 7b.
 - Salida de los filtros de banda base a la entrada del ADC. El jumper tiene que estar en la posición de la Figura 7c.
- El conector de UART puede ser usado para comunicar el microcontrolador con algún periférico.
- El conector de STLINK se usa para programar el microcontrolador con un programador compatible con los microcontroladores STM32.
- Mediante los pines del conector de potencia se pueden sacar voltajes comúnmente utilizados, para alimentar algún periférico.
- Los pines del conector auxiliar dan acceso al ADC⁴ extra del microcontrolador, así como dos puertos GPIO configurables para realizar distintas funciones.

³Las explicaciones se dan para el canal I, pero aplican también al conector Q simétricamente.

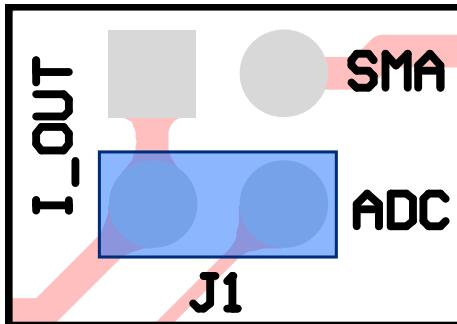
⁴Debido a un fallo en el diseño, este ADC es el usado para muestrear el canal Q. Se ha conectado un cable coaxial desde este pin hasta el pin de entrada del ADC en la selección de camino del canal Q. Por lo tanto no hay ningún ADC extra disponible.



(a) Salida del canal I al conector SMA.



(b) Conector SMA a la entrada del ADC.



(c) Salida del canal I al ADC.



(d) Leyenda. Símbolo del jumper.

Figura 7: Selector de conexión para canal I

5. Configuración

Dado que cada versión tiene elementos de RF distintos, su configuración cambia ligeramente.

5.1. Primera versión

El sistema tiene varios parámetros que se pueden configurar a través de diferentes comandos. Cada comando corresponde con una cadena de caracteres específica. Para realizar una configuración hay que enviar la cadena de caracteres correspondiente a través del puerto serie. En la sección 3 se puede ver algunos ejemplos desarrollados en MATLAB. A continuación, se detallan las posibles configuraciones:

- Habilitar o deshabilitar el VCO. Se utiliza el comando descrito a continuación. Cuando el valor de “X” vale “1” el VCO genera señal y si vale “0” para de generar. El sistema se inicia con el VCO desactivado.

```
"envco X\n"
```

- Tiempo de rampa. Se puede variar entre $100 \mu s$ y 4 ms. Se genera una rampa lineal en tensión con el nuevo tiempo de rampa, además, se fija un tiempo de caída correspondiente al 10 % del tiempo de rampa. Para ello se utiliza el comando descrito a continuación. “time” es el valor del tiempo elegido en μs . Por defecto, el tiempo

de rampa es 1 ms. Sobrescribe cualquier rampa previamente definida. Mantienen los voltajes mínimo y máximos fijados por el comando “setrampvoltages” que se explica a continuación.

```
"setramplength time\n"
```

- Amplitud de tensión de la rampa. Se puede configurar el voltaje mínimo y máximo de la rampa, con valores entre 0 y 4095, que corresponden con 0 y 3.3 V. Genera una rampa lineal en voltaje con los límites dados. Si se quisiese fijar otro tipo de barrido se utilizaría la configuración de una rampa definida por el usuario. El comando utilizado es el siguiente, siendo “v1” la tensión mínima y “v2” la máxima. Por defecto los voltajes son: v1 = 150 y v2 = 4000. Sobrescribe cualquier rampa previamente definida. Usa el tiempo de rampa definido con el comando “setramplength”.

```
"setrampvoltages v1 v2\n"
```

- Configuración de voltaje a la entrada del VCO. Se puede seleccionar una frecuencia de oscilación fija entre los límites que proporciona el VCO. Para ello se fija una tensión específica utilizando el siguiente comando. El DAC esta alimentado entre 0 y 3.3 V y tiene 12 bits de resolución. Por tanto, el valor de “voltage” va de 0 a 4095.

```
"setvoltage voltage\n"
```

- Configuración de una rampa de modulación definida por el usuario. Es posible configurar una forma de rampa arbitraria. Para hacer esto se ha desarrollado una función de MATLAB (llamada “set_ramp.m”), que se proporciona en el repositorio. Esta función tiene como parámetros un objeto de tipo “serial”, un vector (“points”) con los puntos de la rampa y la longitud de la rampa (“len”) deseada en μ s. El número de puntos del vector debe corresponder con la longitud de la rampa. Una vez fijada una rampa se mantiene hasta que se vuelva a realizar un cambio en la configuración.

```
"set_ramp( serial, points, len)"
```

5.2. Segunda versión

Al igual que en la primera versión, el sistema se configura mediante comandos enviados por puerto serie. Los comandos están compuestos por una cadena de caracteres específica.

- Ganancia del amplificador de banda base del mezclador. Se pueden fijar ganancias de 18 a 41 dB. Para ello se utiliza el siguiente comando, siendo “X” el valor que se quiere fijar. El valor por defecto es 18.

```
"setgain X\n"
```

- Ancho de banda del LPF (filtro paso bajo) de banda base del mezclador. La frecuencia de corte a 1 dB se puede ajustar de 500 KHz a 16 MHz. Se configura con un valor digital que va de 0 a 255, siendo 255 el ancho de banda mas restrictivo. Para ello se utiliza el siguiente comando, siendo “X” el valor que se quiere fijar. El valor por defecto es 220, ya que se corresponde a una frecuencia de corte de 1 MHz, que coincide con la frecuencia de corte de los filtros de banda base.

```
"setfilter X\n"
```

- Habilitar o deshabilitar el VCO. Similar a la primera versión. El VCO se considera el dispositivo 0.

```
"endevice 0 X\n"
```

- Habilitar o deshabilitar el LNA1. El LNA1 se considera el dispositivo 1.

```
"endevice 1 X\n"
```

- Habilitar o deshabilitar el LNA2. El LNA2 se considera el dispositivo 2.

```
"endevice 2 X\n"
```

- Habilitar o deshabilitar el mezclador. El mezclador se considera el dispositivo 3.

```
"endevice 3 X\n"
```

- Habilitar o deshabilitar el PA. El PA se considera el dispositivo 4.

```
"endevice 4 X\n"
```

- Tiempo de rampa. Igual que en la primera versión.

```
"setramplength time\n"
```

- Amplitud de tensión de la rampa. Igual que en la primera versión.

```
"setrampvoltages v1 v2\n"
```

- Configuración de voltaje a la entrada del VCO. Igual que en la primera versión.

```
"setvoltage voltage\n"
```

- Configuración de una rampa de modulación definida por el usuario. Igual que en la primera versión.

```
"set_ramp( serial, points, len)"
```

6. Ejemplos de uso

Se han desarrollado algunos scripts de Matlab para demostrar el uso de varias funciones.

A continuación, se puede ver un pequeño script que abre un puerto serie, activa el VCO, fija una ganancia de 4 y recibe 2000 puntos. Esta cantidad de puntos leída se puede variar por el usuario. En este ejemplo se usa 2000 ya que sería la cantidad de puntos correspondientes a un tiempo de 1 ms, que, dada la configuración por defecto, es el tiempo correspondiente a una rampa. Los valores del resto de parámetros se mantendrían por defecto (1 ms de tiempo de rampa y voltajes de rampa entre 0.12 V y 3.22 V). El nombre del puerto serie dependerá del sistema operativo usado.

```
delete(instrfindall)
ser = serial('COM10', 'InputBufferSize', 10000);
fclose(ser) % para evitar problemas primero se cierra
fopen(ser) % y despues volvemos a abrirlo
fprintf(ser, 'envco 1\n'); % habilitar el VCO
fprintf(ser, 'setgain 4\n'); %fija la ganancia
data = fread(ser, 2000, 'uint16'); % leer 2000 valores
```

El siguiente script genera un ejemplo de rampa lineal en tensión definida por el usuario y realiza la configuración haciendo uso de la función “set_ramp.m”. Se ha fijado un tiempo de caída del 10 % del tiempo de rampa. La rampa generada se puede ver en la Figura 8.

```
clear, close all
Tc = 1000; %microsegundos (Tiempo total de rampa)
caida = 100; %microsegundos
subida = linspace(150, 4000, Tc-caida); %Voltage de 150 a 4000.
bajada = linspace(4000, 150, caida);
rampa = floor([subida bajada]);
plot(rampa*3.3/4096), xlabel('Tiempo (\mu s)'), ylabel('Voltaje (V)')

delete(instrfindall)
serial = serial('COM10');
fclose(serial);
fopen(serial);
set_ramp(serial, rampa, Tc); %Enviar configuracion de la rampa
fclose(serial);
```

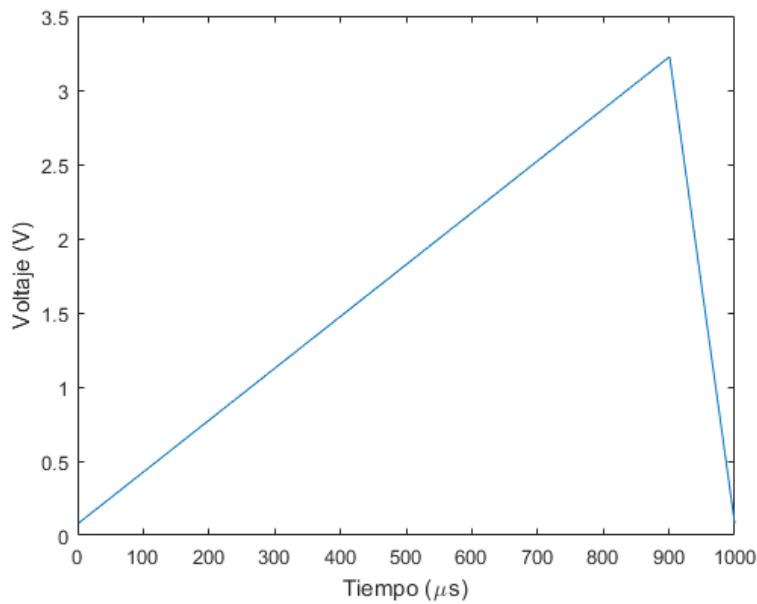


Figura 8: Rampa lineal en voltaje.

Para evitar perder datos se ha comprobado que la forma óptima es leer y escribir en un archivo los datos de forma continua. Al no estar realizando ningún procesado de los datos la lectura es lo suficientemente rápida como para evitar que se llene el buffer de recepción del ordenador y se pierdan bloques de datos. Después se realizaría el procesado de los datos guardados en el archivo. En anexos se puede ver un ejemplo en MATLAB de como hacer esto sin perdida de datos.

7. Anexos

A continuación, se puede ver un ejemplo que lee del puerto serie y escribe a un archivo los datos en bruto de forma continua. El archivo resultante es binario, por lo que no se puede leer con un lector de texto plano. Para la lectura de este archivo se usaría la función “fread(file, datos_a_leer, ‘uint16’);” siendo “file” el archivo del cual se quiere leer. Posteriormente, habría que descodificar los datos del protocolo, con la función packet_decode.m, proporcionada en el repositorio.

```
clc, clear, close all
delete(instrfindall)
ser = serial('COM10', 'InputBufferSize', 4e3);
f = fopen('data.txt', 'w');
fclose(ser)
fopen(ser)

while 1
data_read = fread(ser, 2000, 'uint16');
fwrite(f, data_read, 'uint16');
end
fclose(f)
```