

SDR: conceptos y aplicaciones

Guillermo Riva y Carlos Zerbini - GInTEA, UTN-FRC

Simposio de Sistemas Embebidos SASE 2018

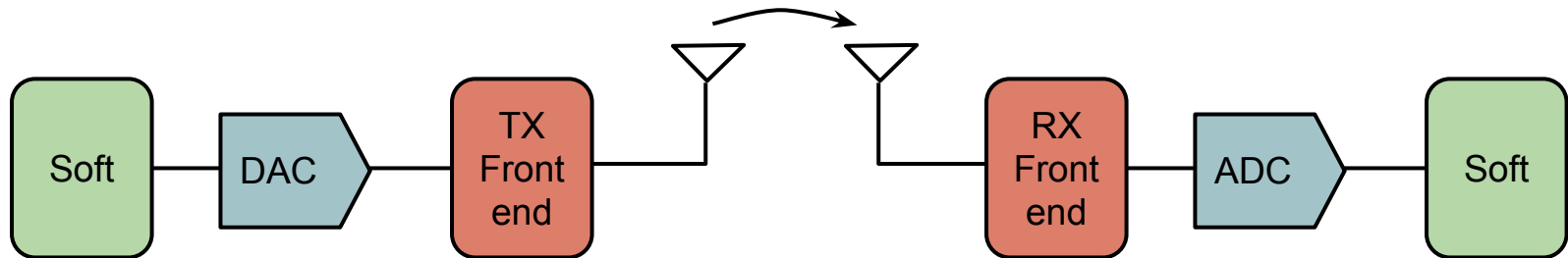
Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Córdoba

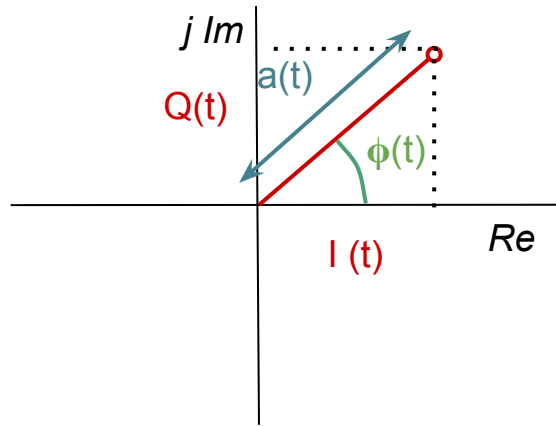
1) Conceptos básicos

Radio definida por software (SDR)

- Transforma problemas de hardware en problemas de software, siempre que lo posibilite la tecnología
- Distintas arquitecturas de procesamiento sobre **un mismo hardware**: AM/FM/BLU, GPRS, WiFi, GPS, recepción de imágenes satelitales...
- Permite implementar el concepto de **radio cognitiva**

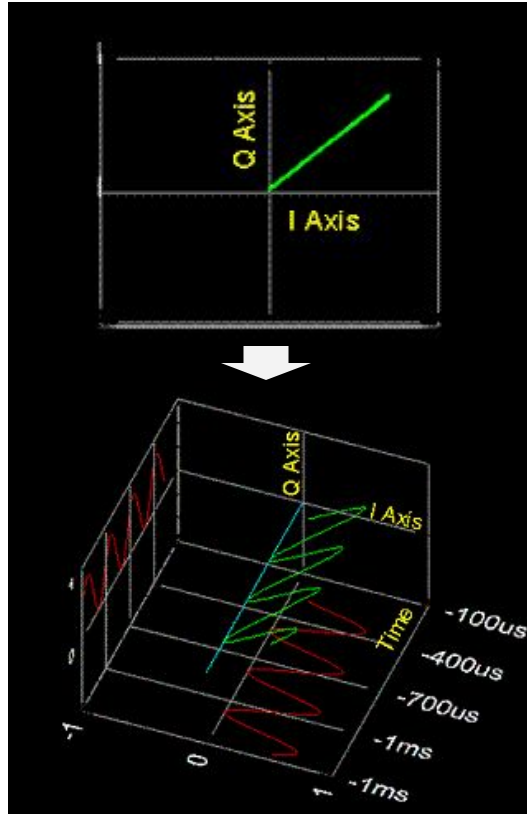


- Señales de interés en SDR: **componentes I y Q de banda base**, obtenidas mediante un detector de cuadratura
- La señal I se encuentra *en fase con la portadora*, mientras que la señal Q se encuentra a 90° de ella, es decir, es *ortogonal* a ella o está en *cuadratura* con ella. La *suma vectorial* de ambas forma el **vector o fasor de banda base**
- **Importancia:** ambas señales permiten implementar *cualquier tipo de modulación*, transportando información tanto en el **módulo** del vector como en su **fase relativa a la portadora**
- Idealmente es deseable muestrear la señal directamente proveniente de la antena. Esto presenta inconvenientes
 - los ADCs no pueden trabajar a velocidades de GHz
 - la intensidad de señal recibida no es adecuada para alimentar un ADC
 - **No es en absoluto necesario si la señal de entrada es del tipo *pasa-banda***

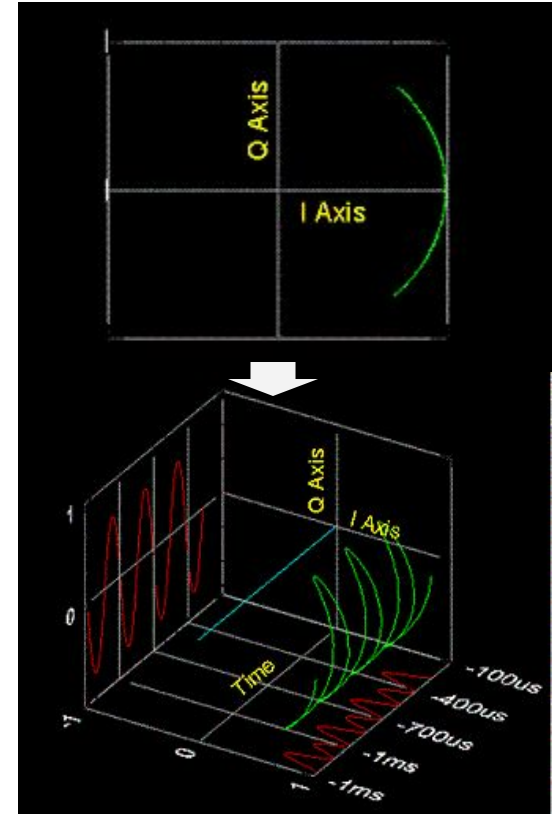


$$I(t) + jQ(t) = a(t) e^{j\phi(t)} = s'(t)$$

Banda base compleja
Señal tipo pasabaja

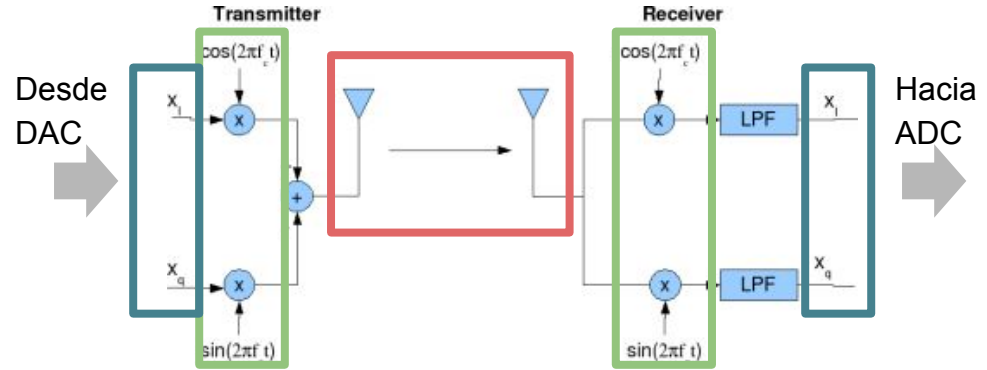
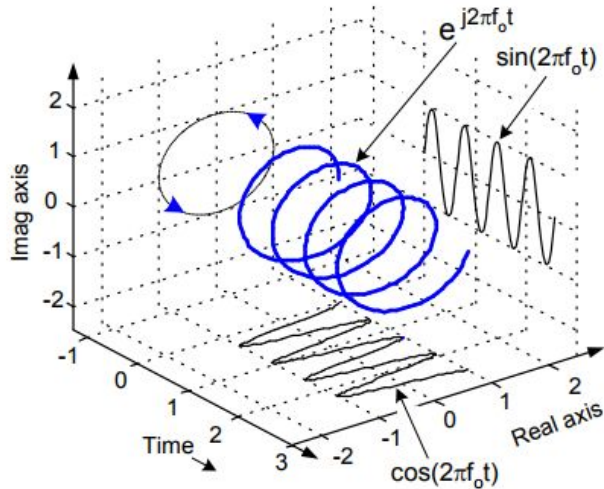


BB modulada en amplitud por un seno



BB modulada en fase por un seno

https://www.ece.uvic.ca/~elec350/lab_manual/data/35015-IQ-AM-SSB-FM-PSK16.pdf



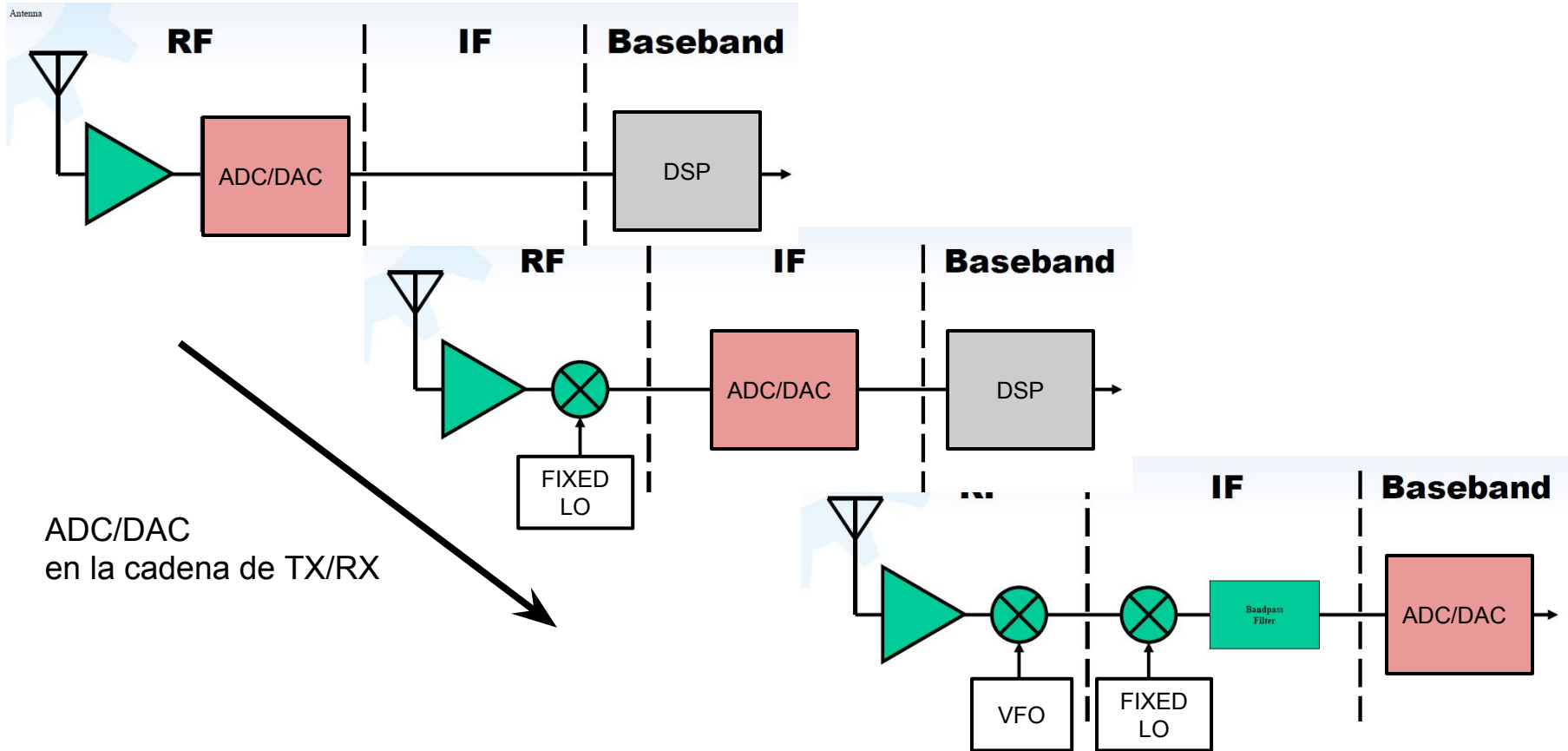
<https://dspguru.com/files/QuadSignals.pdf>

$$\cos(\omega_c t) + j\sin(\omega_c t) = e^{j\omega_c t} = c(t)$$

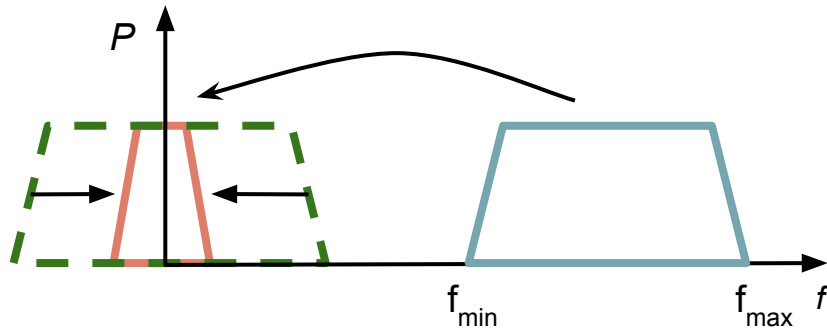
Portadora compleja

$$\mathbf{s(t)} = \mathbf{I(t)} \cos \omega_c t + \mathbf{Q(t)} \sin \omega_c t = \mathbf{a(t)} \cos [2 \omega_c t + \phi(t)]$$

Señal transmitida / recibida (real) - Señal tipo pasabanda

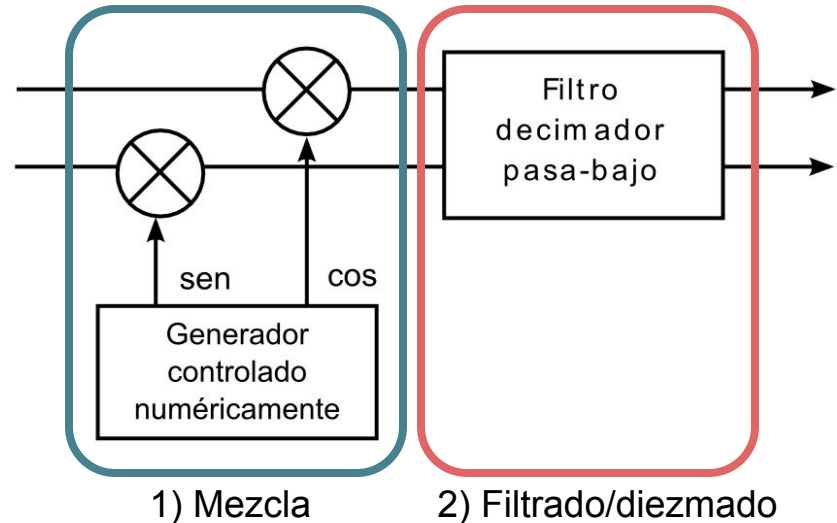


- Para trabajar con **señales pasabanda** (f_{\min} a f_{\max}), el front end de RF **traslada** el rango $[f_{\min}, f_{\max}]$ a $[0, (f_{\max}-f_{\min})/2]$. Así, la **tasa de muestreo debe ser** cómo mínimo $f_{\max}-f_{\min}$. El front end se **controla mediante la frecuencia central del rango pasabanda**. La frecuencia central del rango pasabajo es la **frecuencia intermedia IF**
- En el caso más simple, sin mezcla, el receptor captura la banda de frecuencias **0 a $(f_{\max}-f_{\min})/2$**



2) Filtrado /
diezmado

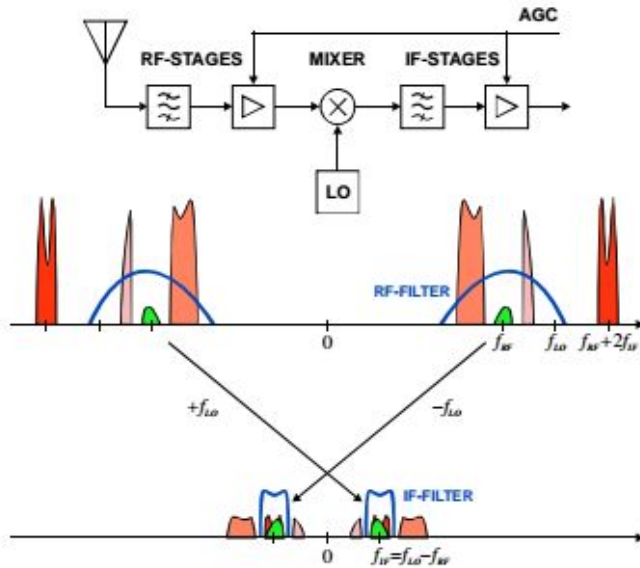
1) Mezcla



1) Mezcla

2) Filtrado/diezmado

Classical Receiver Architecture: The Superheterodyne



Example: One common choice in GSM900 receivers has been 1st IF = 71 MHz, 2nd IF = 13 MHz

Majority of all the receivers have been based on the superheterodyne principle in the past.

Front-end analógico : Arquitecturas super-heterodinas

- Arquitectura clásica
- La selectividad se logra llevando la señal recibida a una o más frecuencias intermedias (IF) donde se implementan filtros de muy buena calidad, en especial el último
- Se incluye un *filtro de rf* para rechazar *frecuencia imagen*
- El mezclador en cuadratura (I/Q), por minimizar una de las bandas laterales, puede reducir los requerimientos del filtro de RF

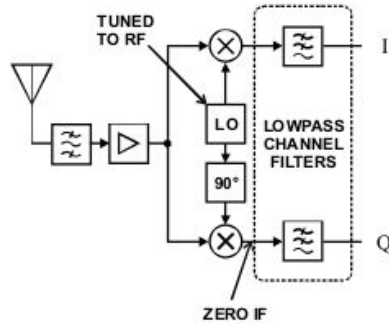
Problemas

- Filtros de RF/IF y osciladores de implementación compleja y difíciles de integrar
- Las armónicas de IF/LO se inducen en otras partes del circuito

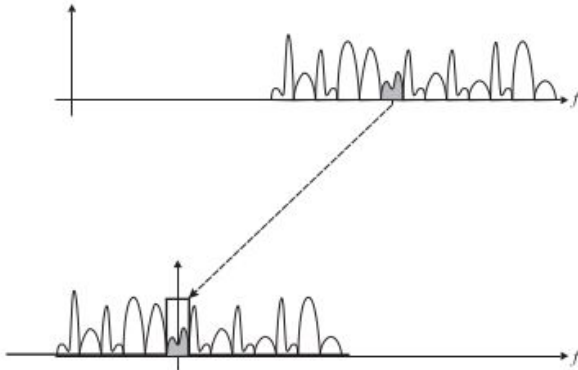
B. Razavi, *RF Microelectronics*, 1998

M. Valkama & M. Renfors, *Radio Architectures and Signal Processing* - TUT/DCE, 2011

Direct-Conversion Receiver Architecture



"Zero IF" –principle, simply I/Q down-convert the target radio channel directly to baseband.



Front-end analógico: Arquitecturas homodinas o de conversión directa (frecuencia intermedia cero o *zero-IF*)

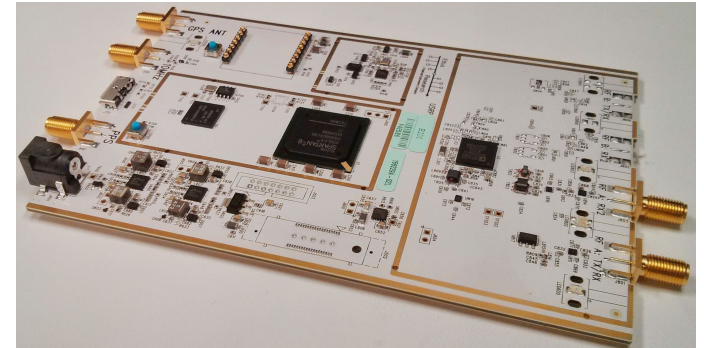
- Solución ampliamente adoptada, especialmente en telefonía celular
- Se reduce el problema de la frecuencia imagen ya que sus productos de mezcla caen en la parte negativa del eje de frecuencias
- Utilizan una sola etapa de conversión -> arquitectura más simple, no se necesitan componentes externos
- Por partir de 0 Hz, preparan la señal para ser detectada en el dominio digital -> *SDR*

Problemas

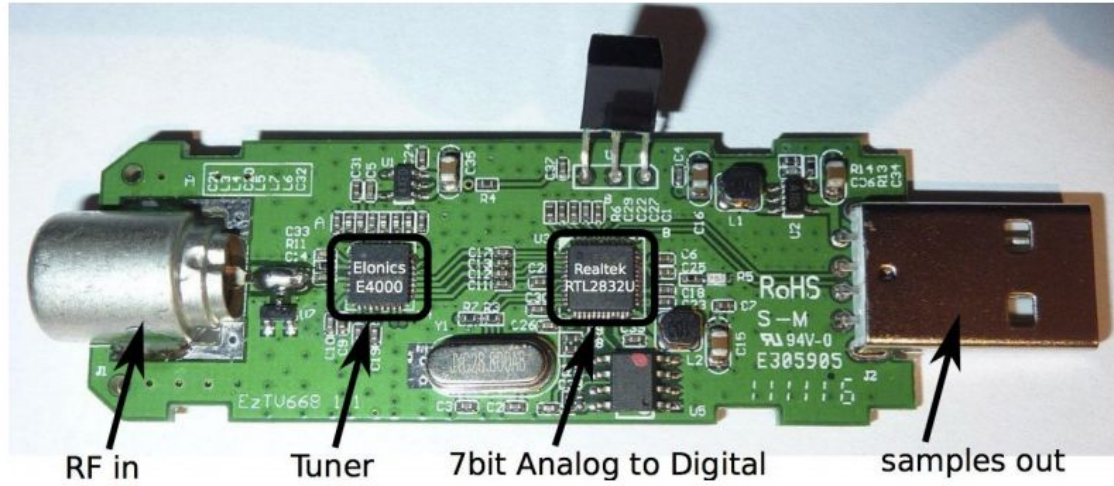
- Errores de continua de los componentes
- La fuga del oscilador local aparece en 0 Hz y no se puede filtrar -> error de DC
- Desbalances entre los caminos de I y de Q -> f_{imagen}

2) Plataformas hardware

- Hardware sólo receptor
- Hardware receptor y transmisor (una o múltiple antenas)

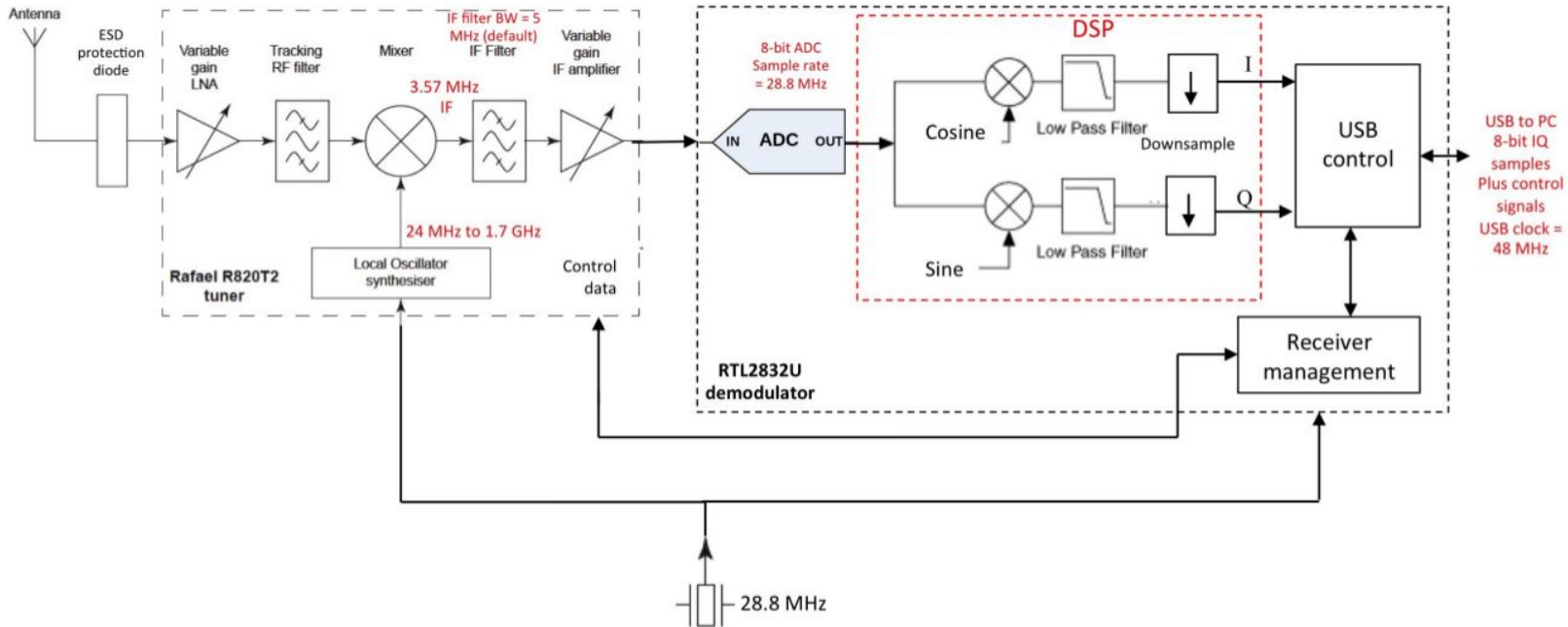
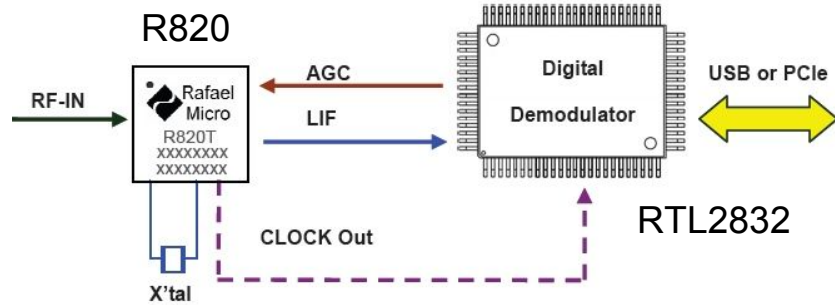


Receptores RTL-SDR (conocidos como *dongle rtl-sdr*)



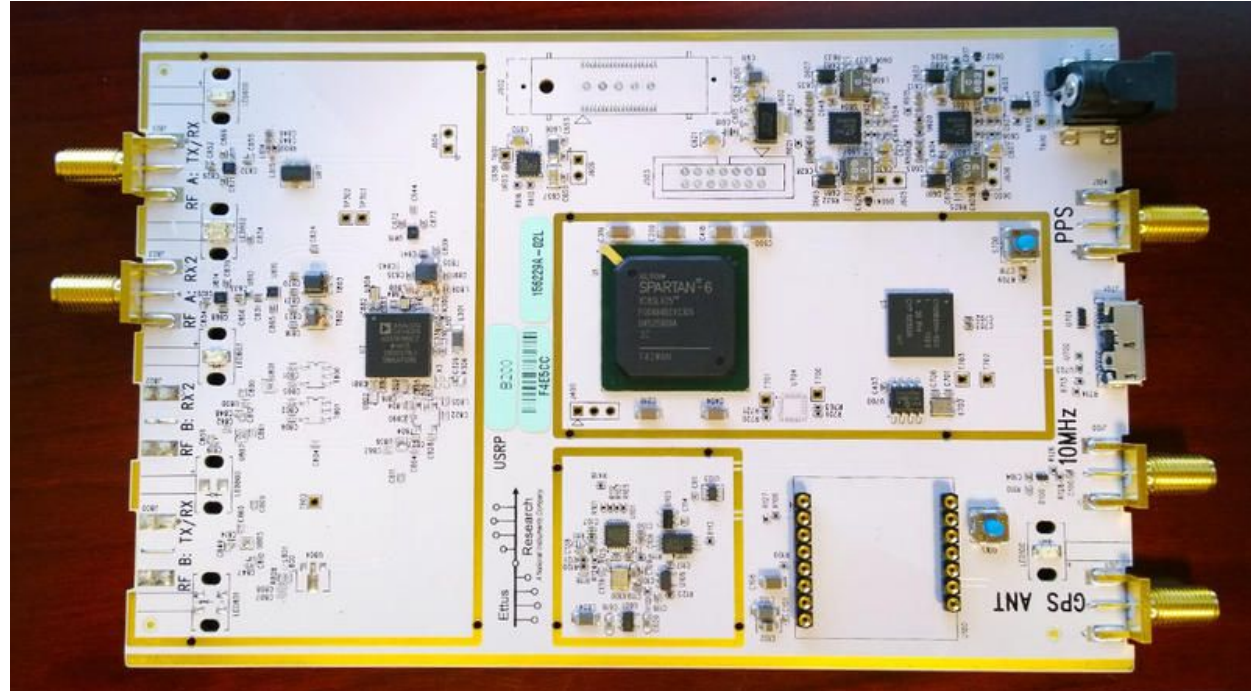
Receptores RTL-SDR

- Sintonizador para televisión digital terrestre (DVB-T)
- Ancho de banda 24 - 1766 MHz (teórico)
- ADC de 8 bits (teórico)

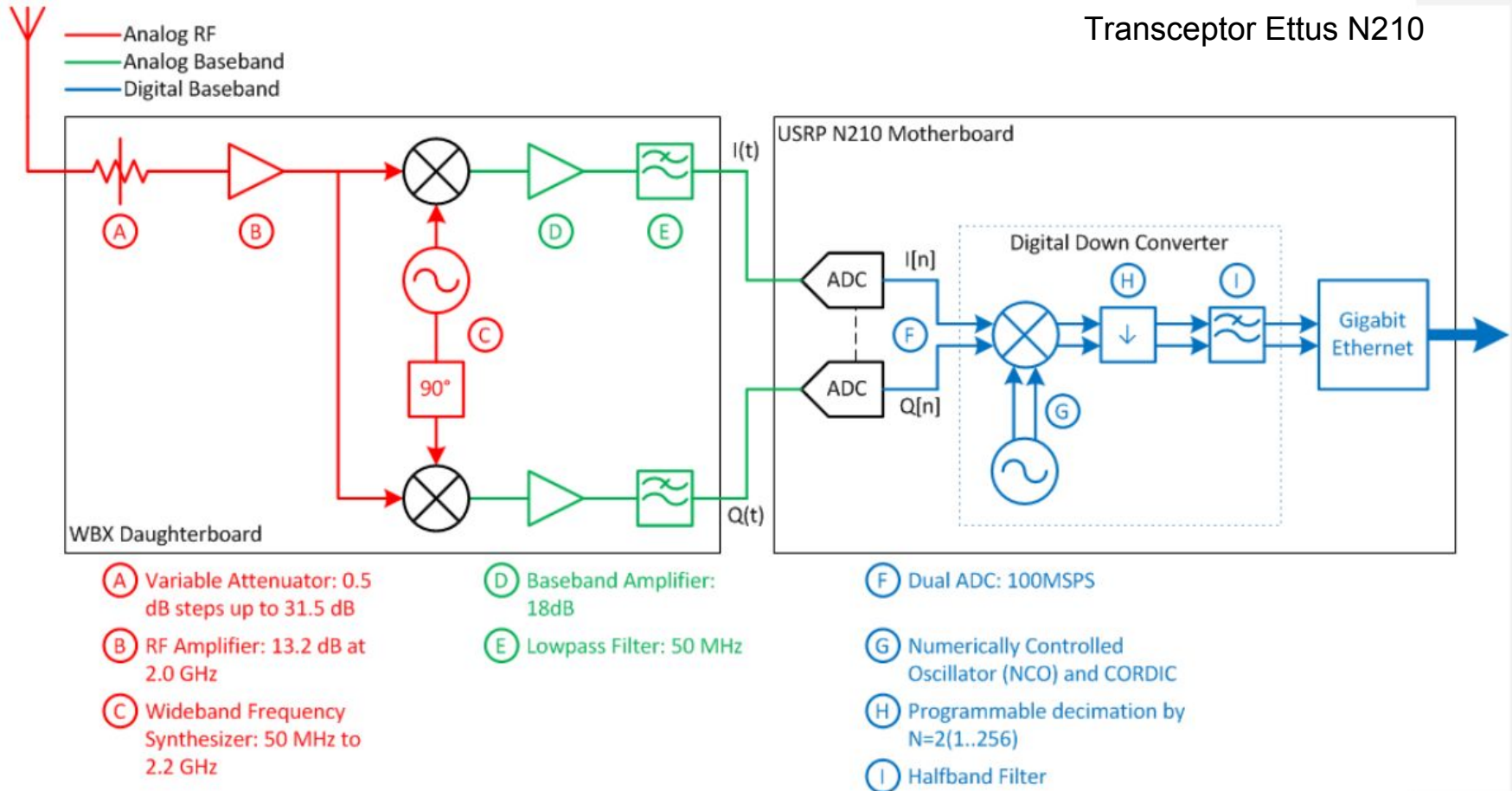


Transceptor Ettus B200

- Solución de SDR en placa única
- Cobertura continua de 70 MHz a 6 GHz
- Full duplex
- Ancho de banda en tiempo real hasta 56 MHz (señal pasabanda)
- Interface USB 3.0
- Drivers para Gnuradio y OpenBTS
- **Analog Devices AD9364 RFIC**
- **Spartan 6 XC6SLX75 FPGA**

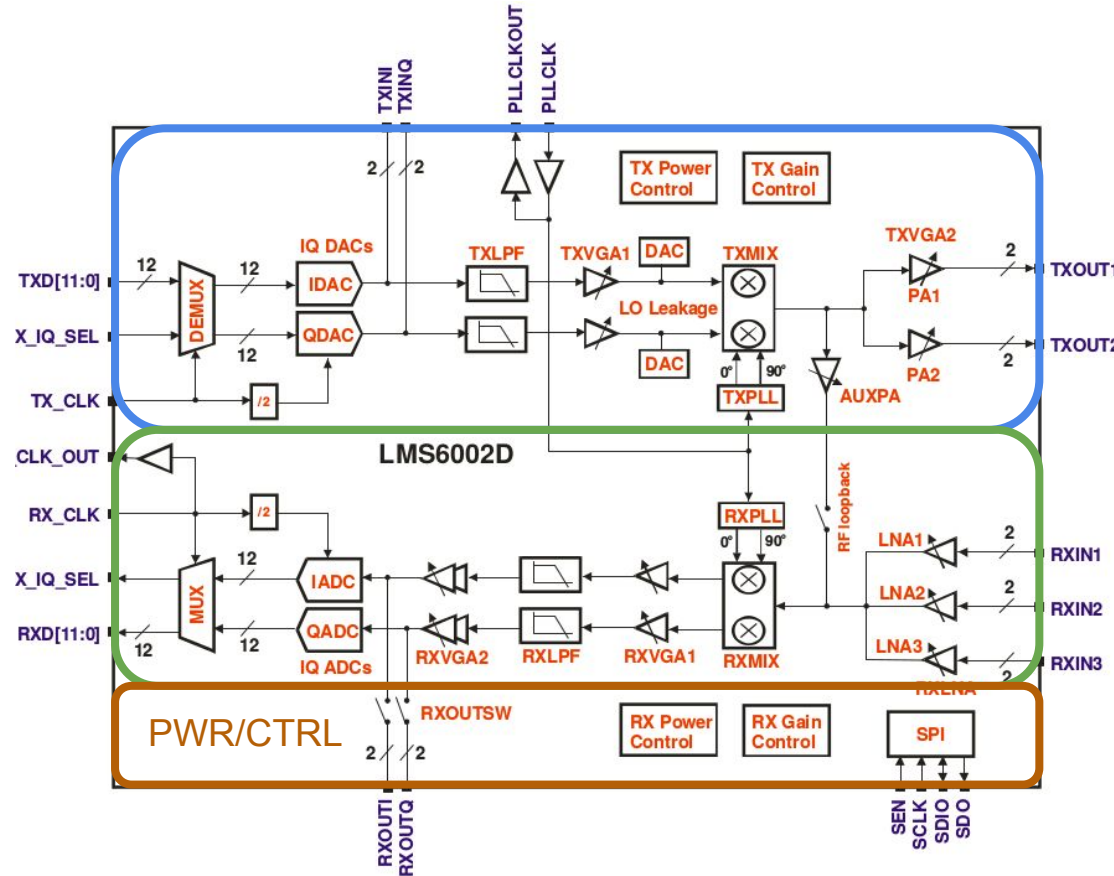


Transceptor Ettus N210



Front-end analógico reconfigurable (RFIC) Lime Micro LMS6002

- Incluido en placas monolíticas como BladeRF y UmTRX
- Cobertura 300 MHz a 3,8 GHz (2G, 3G, 4G)
- Ancho de banda configurable hasta 28 MHz (14 MHz en banda base)
- ADC/DACs de 12 bits
- 3 receptores, 2 transmisores optimizados para diferentes bandas de trabajo
- Interfaz de control SPI
- Interfaz de datos diferencial de alta velocidad



PicoSDR Series for Wireless Multi-Standard Prototyping

Accelerating next-gen wireless development

Rapidly prototype demanding waveforms in a model-based design environment



Soluciones llave en mano



Mobile Networks Reinvented

Search fairwaves.co

Subscribe to Fairwaves News

Home Products Our Solution Blog About Contact

Docs Equipment Regulatory Information Software Defined Radio

Home / Technology

A complete mobile network in a single tower mounted base station



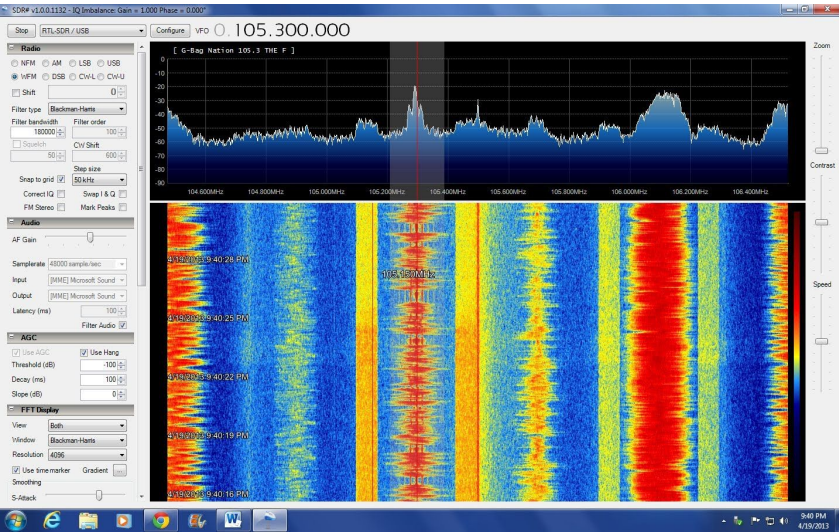
Products

Software-Defined Radio (SDR) is a virtualised radio where software is used to configure the operating parameters of commodity hardware. Until now programmability has been the missing piece in the virtualised communications network and extends software control from the core to the Radio Access Network (RAN).

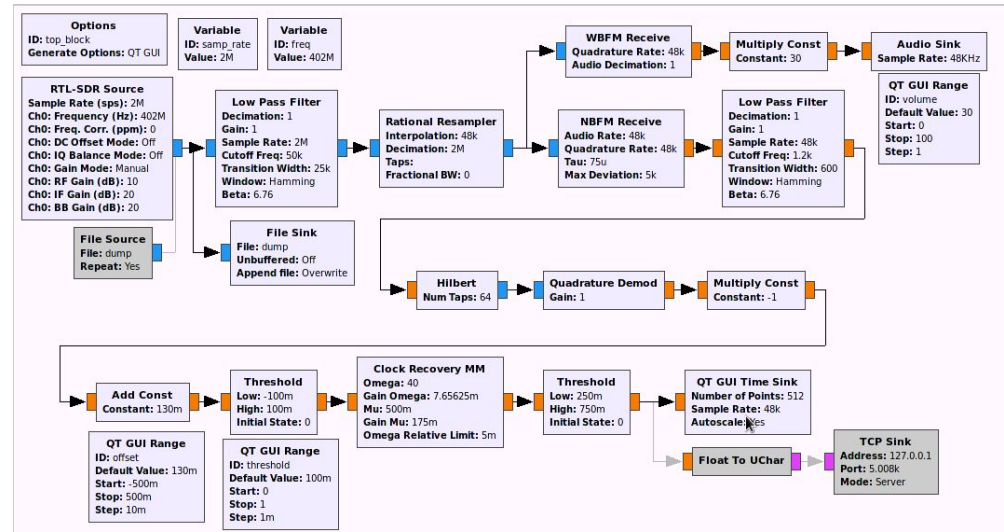


3) Software de procesamiento de señales

- SDRSharp, rtlpower, Gqrx, Linrad: aplicaciones para un fin específico
- **GNU Radio: librerías para investigación y desarrollo en SDR**



SDR Sharp



GNU Radio

GNURadio

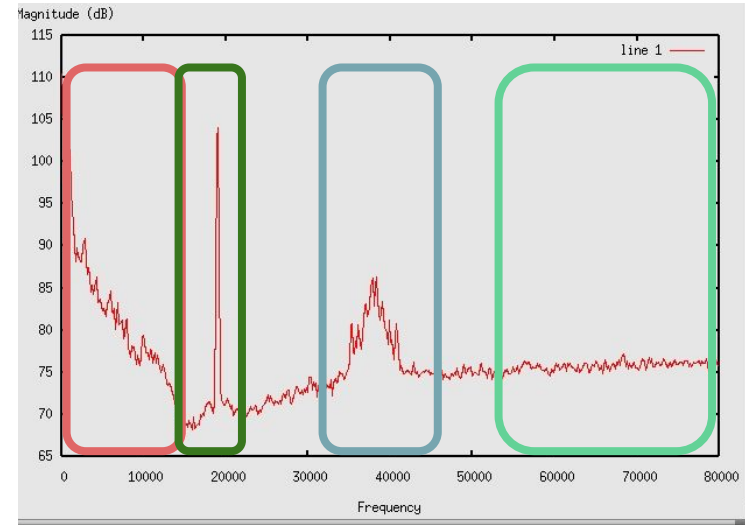
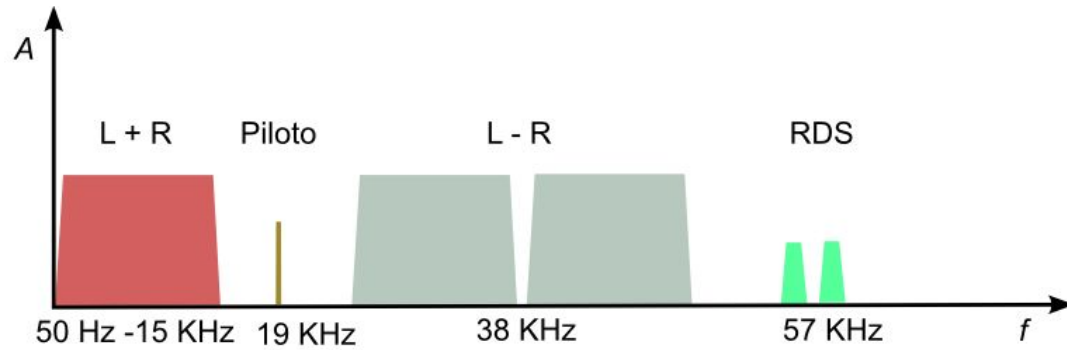
- Librería de **primitivas de procesamiento de señales y medios para interconectarlas**
- Relativamente independiente del hardware: una placa de audio es suficiente, pero el **ancho de banda** obtenido sería bastante limitado
- Se crean **grafos**, donde los **nodos** son las **primitivas** y las **uniones** son el **flujo** de información
- **Primitivas** implementadas en lenguaje **C++**. **Interconexiones** definidas mediante **Python**
- Características generales: # de puertos de E/S, tipo de dato de E/S (short, float, complex)
- Primitivas de **sólo entrada (sources)**: archivo, bloque que representa un ADC
- Primitivas de **sólo salida (sinks)**: escritura a un archivo, DAC, display gráfico, placa de audio
- Se pueden escribir **nuevas primitivas** sin excesiva complejidad

GNURadio

- Operaciones matemáticas y lógicas básicas
- Diseño de filtros y algoritmos de DSP
- Conversiones de tipo de datos
- Modulaciones analógicas (AM / FM / BLU)
- Algoritmos de sincronización (PLL, Lazo de Costas, etc.)
- Modulaciones digitales, OFDM
- Audio vocoders
- Codificación de canal
- Herramientas de visualización (osciloscopios, análisis espectral, constelación)
- Activa comunidad contribuyendo con librerías especializadas

4) Caso 1: Recepción de FM

Estructura de una señal compuesta de FM-Stereo comercial



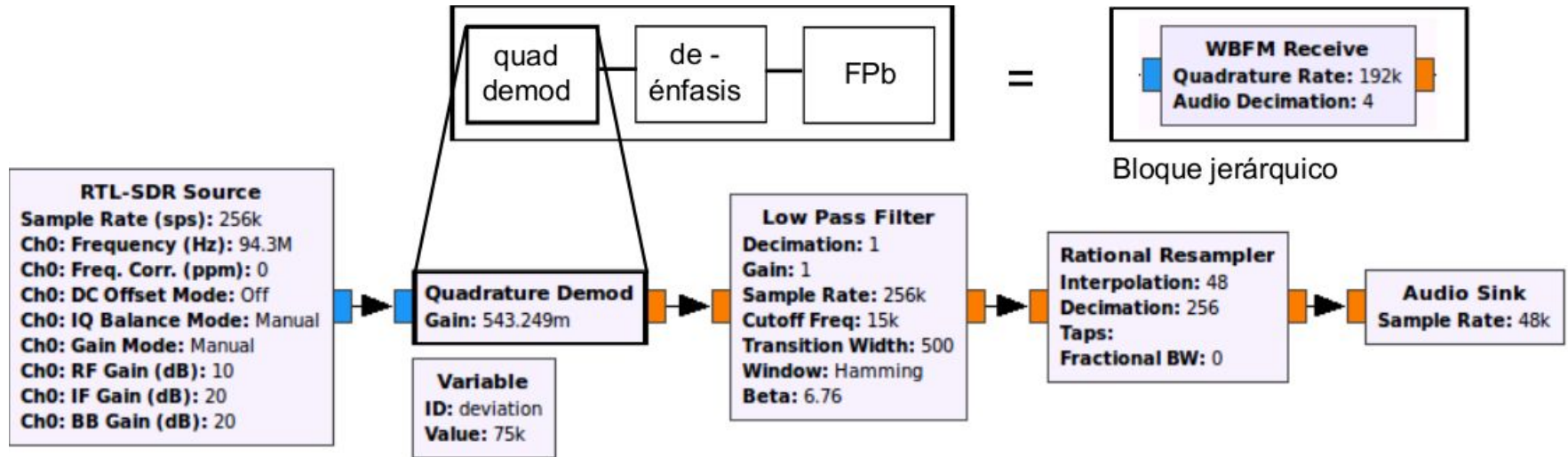
$$f_i(t) = k * m(t) + f_c$$

Frecuencia instantánea sensibilidad frec. Señal entrada portadora

Para recuperar $m(t)$ se requieren dos pasos:

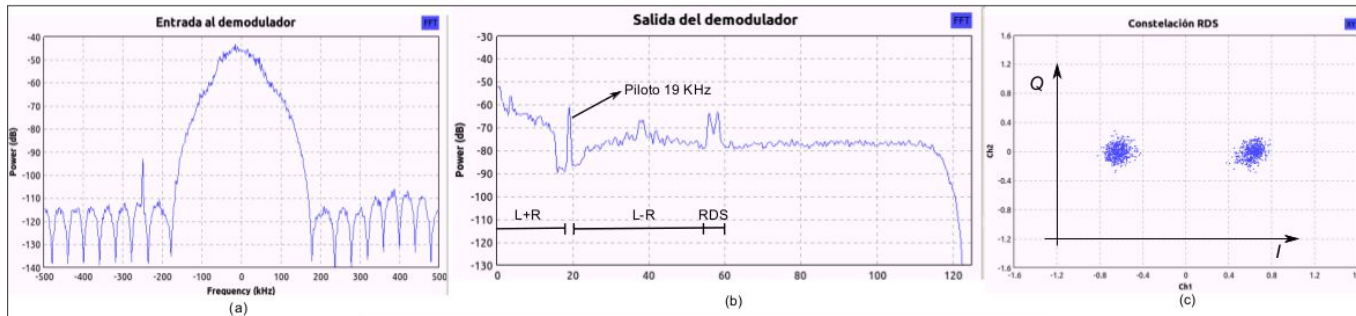
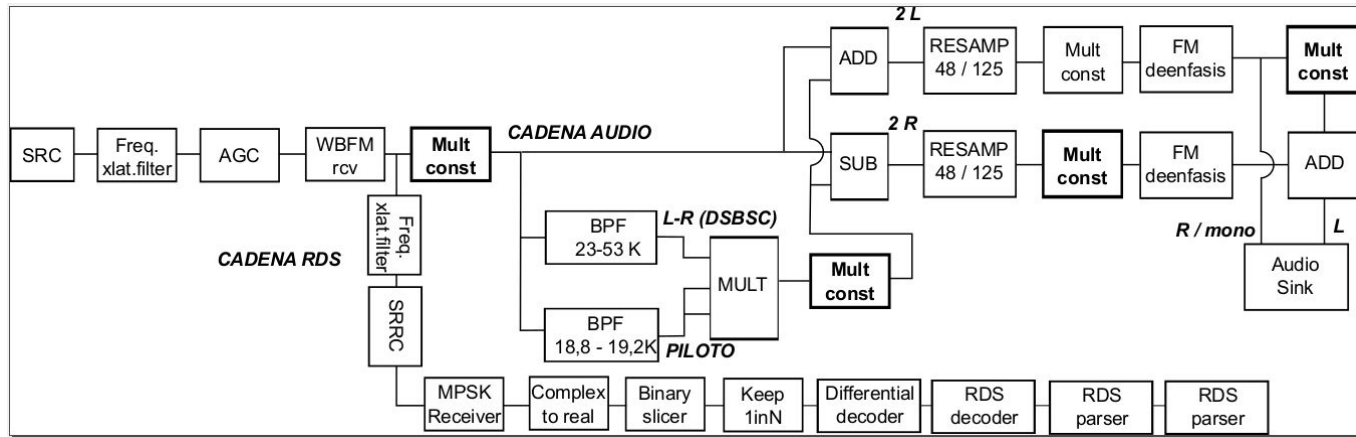
- Eliminar la portadora f_c , obteniendo una banda base que tiene **frecuencia instantánea proporcional al mensaje original $m(t)$** : este paso se realiza mediante el DDC, implementado **en parte en el dongle y en parte en software**. La señal resultante es la que ingresa al bloque jerárquico *wbfm_rcv*
- Obtener la **frecuencia instantánea de la banda base**: la integral de la frecuencia con el tiempo es fase (ángulo), y **la derivada de la fase respecto al tiempo es frecuencia**. Utilizamos este último concepto para nuestro demodulador implementado en software.

Implementación en gnuradio (1)

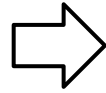
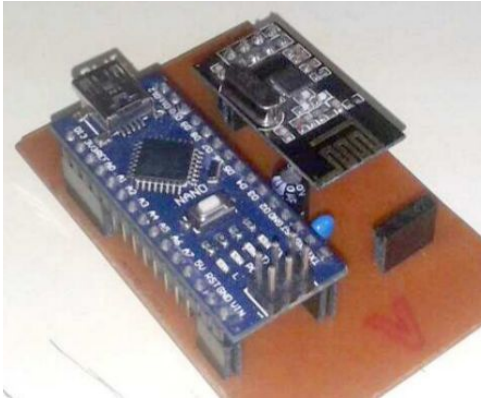


$$y[i] = g \cdot \tan^{-1}(x[i]x^*[i-1])$$

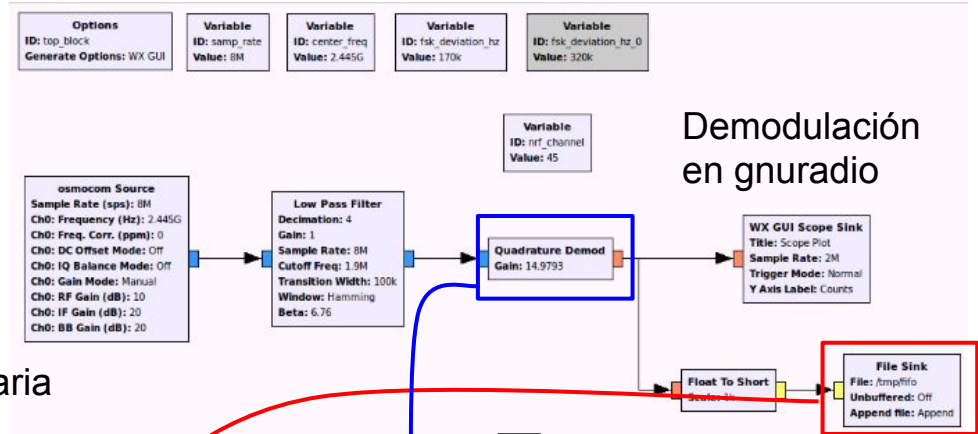
Implementación en gnuradio (2)



5) Caso 3: módulos de RF NORDIC NRF24L



Transmisor utilizando
Implementación propietaria
(GFSK)

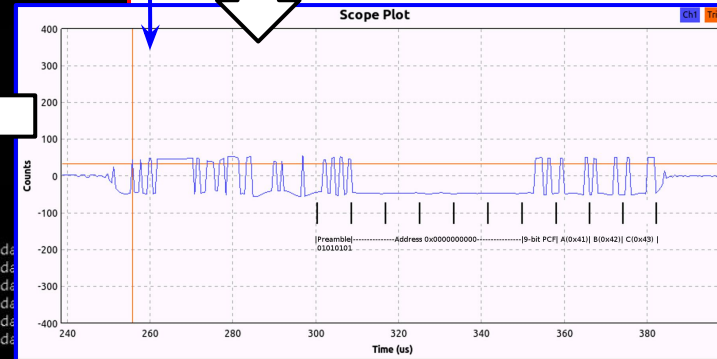


Demodulación
en gnuradio

```
Found 1 device(s):
 0: Realtek, RTL2830UHIDIR, SN: 00000001

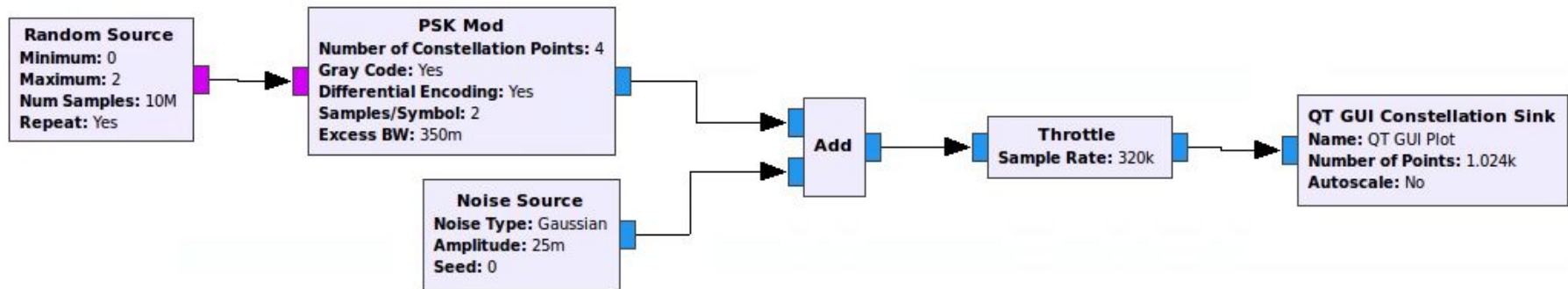
Using device 0: ezcup USB 2.0 DVB-T/DAB/FM dongle
Found Rafael Micro R820T tuner
Tuner gain set to 0.00 dB.
Tuner error set to 239 ppm.
Tuned to 402500000 Hz.
Oversampling input by: 1x.
Oversampling output by: 1x.
Buffer size: 4.10ms
Exact sample rate is: 2000000.052982 Hz
Sampling at 2000000 S/s.
Output at 2000000 Hz.
1390301688.886075 NRF24 Packet start sample 5045441, Threshold:4621, Address: 0x504030201 length:1, pid:3, no_ack:0, CRC:0xFEB1 d
1390301688.887077 NRF24 Packet start sample 5045774, Threshold:2889, Address: 0x504030201 length:0, pid:1, no_ack:0, CRC:0x2576 d
1390301689.878132 NRF24 Packet start sample 6939712, Threshold:4473, Address: 0x504030201 length:1, pid:0, no_ack:0, CRC:0xB7F9 d
1390301689.879134 NRF24 Packet start sample 6940045, Threshold:2887, Address: 0x504030201 length:0, pid:2, no_ack:0, CRC:0x45B0 d
1390301690.916192 NRF24 Packet start sample 8833984, Threshold:4565, Address: 0x504030201 length:1, pid:1, no_ack:0, CRC:0xC1BA d
1390301690.917192 NRF24 Packet start sample 8834317, Threshold:3222, Address: 0x504030201 length:0, pid:3, no_ack:0, CRC:0x65F2 d
Signal caught, exiting!
```

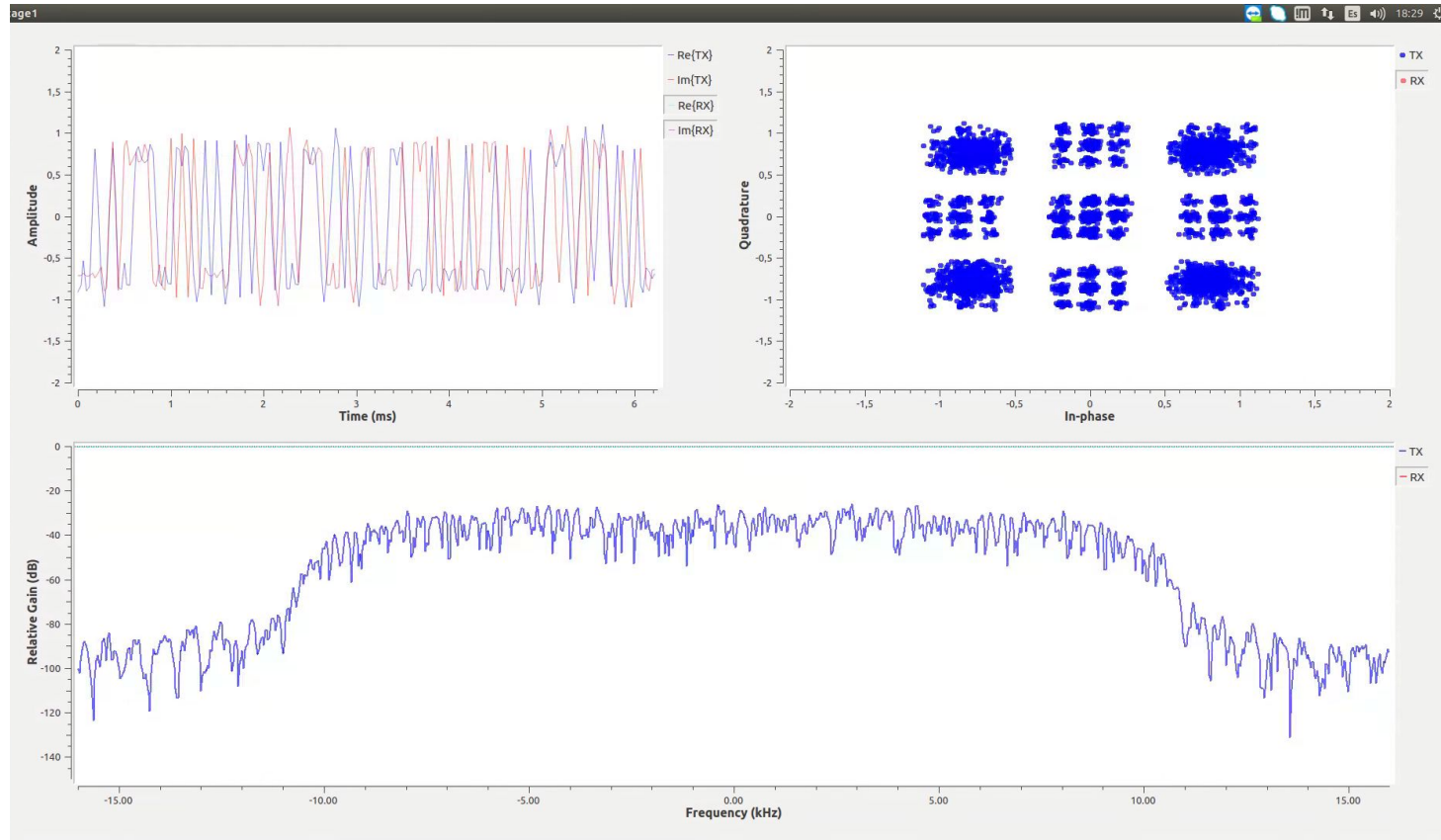
Decodificación utilizando
Implementación abierta



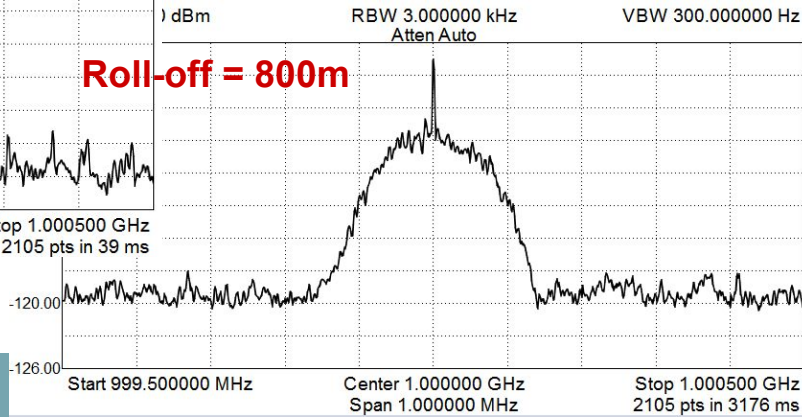
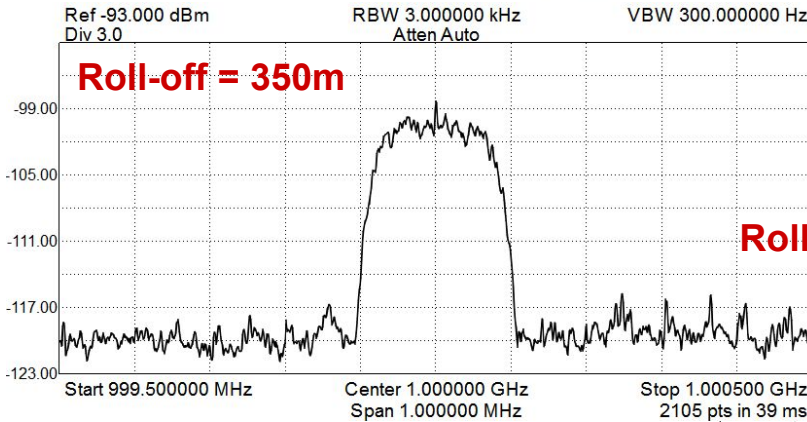
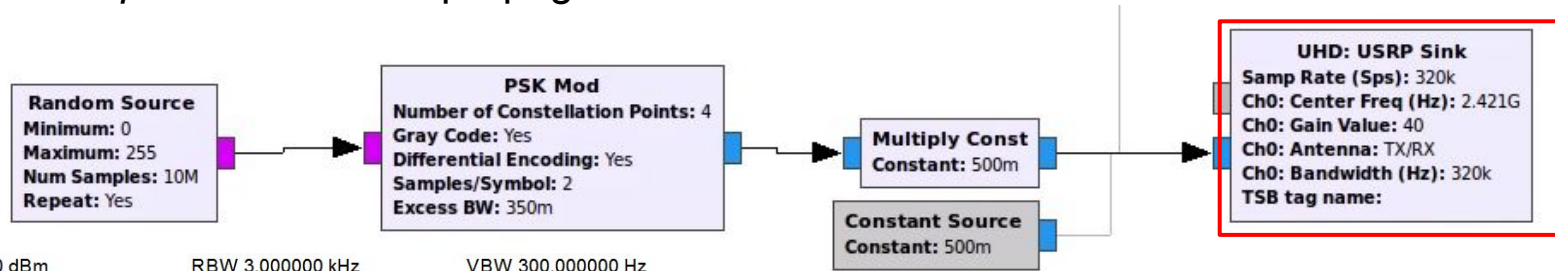
6) Caso 3: transmisión / recepción de una señal M-PSK

- **Etapa 1:** generar la señal modulada en M-PSK y enviar los canales I/Q al transmisor
 - Se **mapea** un stream de bits a los símbolos correspondientes
 - Como opción, se puede utilizar modulación **diferencial** (*Gray coding*)
 - #samples/símbolo: mínimo 2 sp/sym. *Se ajusta según tasa de hardware*
 - **Filtro conformador:** para reducir *interferencia inter-símbolo (ISI)* a costa de ancho de banda adicional. Utilizaremos un *filtro de coseno realzado (RRC)*.





- **Etapa 2:** transmitir por un canal
 - Opcional (simulación): generar un modelo de canal para simulación, generar *múltiples caminos* de propagación

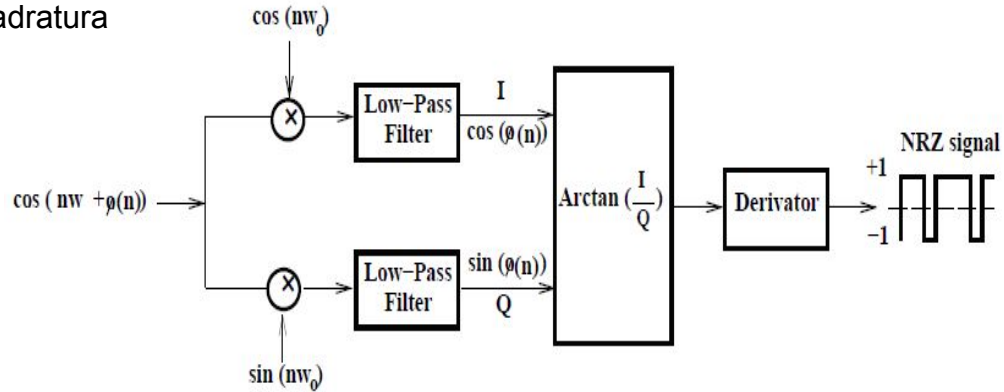
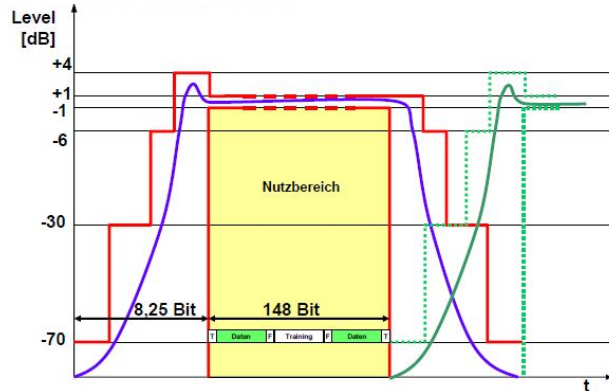
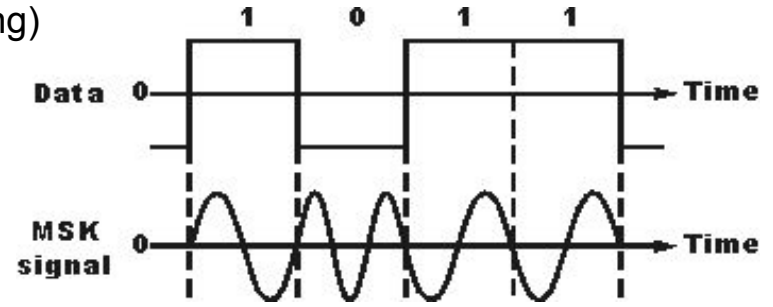
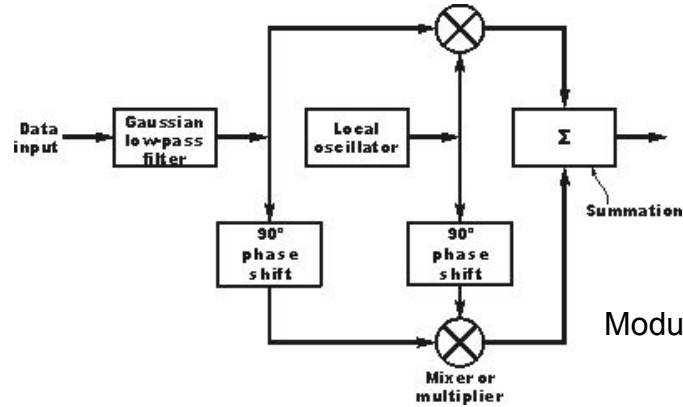


Etapas utilizadas para recuperar la información digital

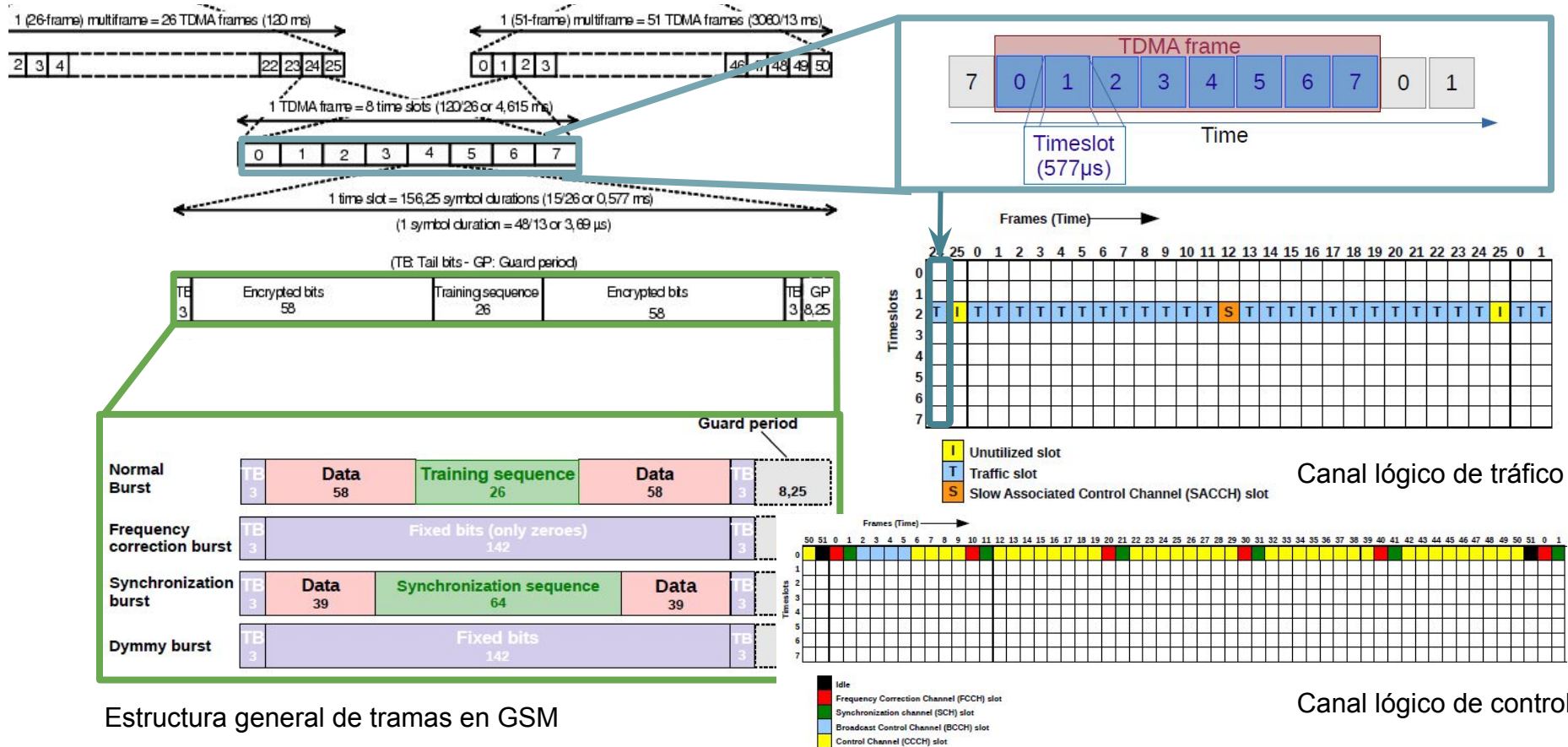
- **Etapas 3:** Recuperar el *sincronismo* de los símbolos (puntos óptimos de muestra)
- **Etapas 4:** Estimación y corrección de canal mediante un *ecualizador* (por ej. CMA)
- **Etapas 5:** Corrección de fase y offsets finos de frecuencia mediante un *Lazo de Costas* implementado en software

7) Caso 4: telefonía móvil, standard GSM

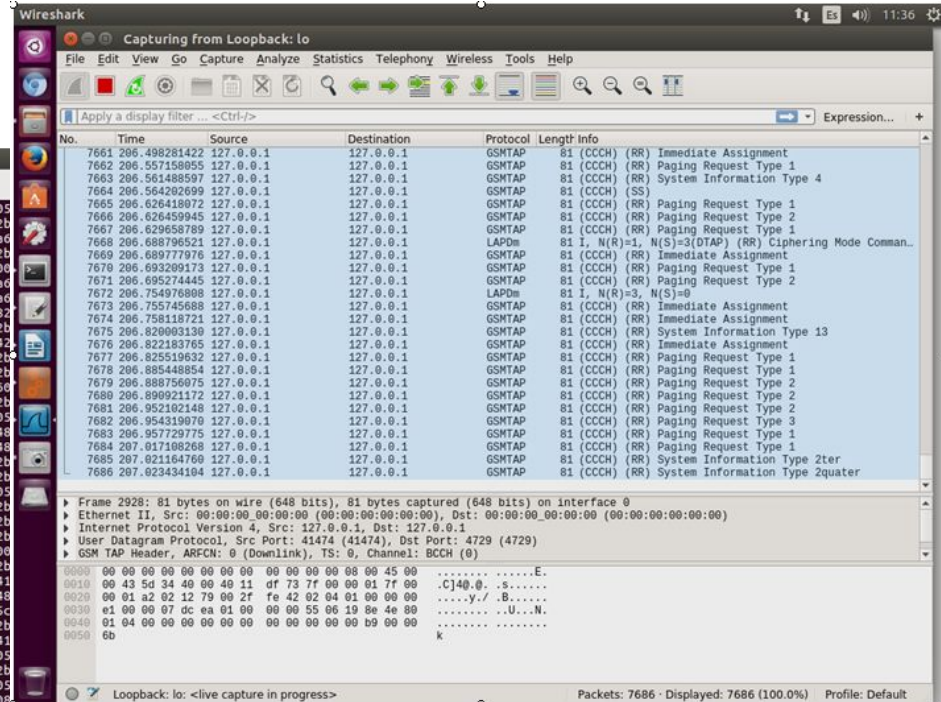
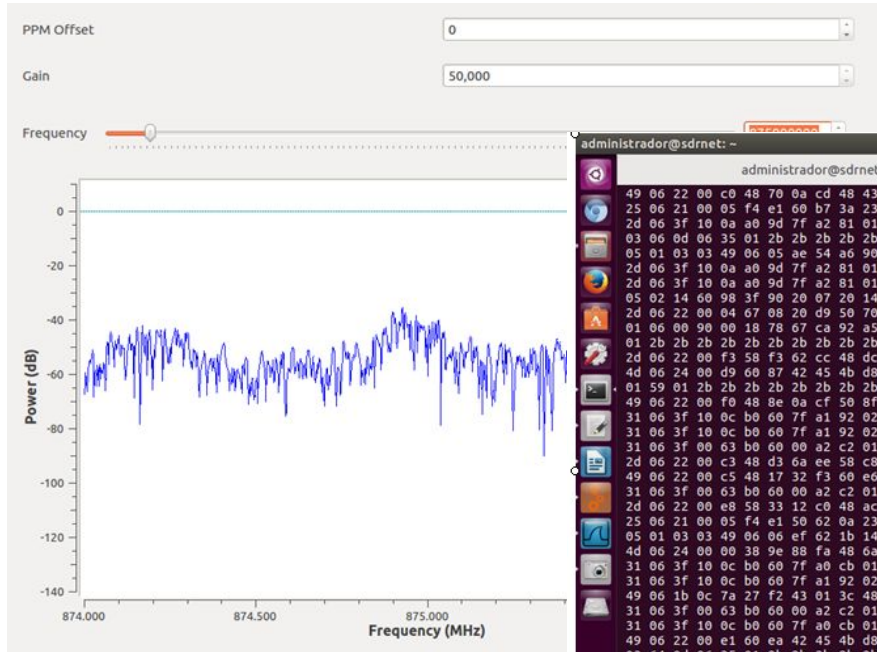
Estudio modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)



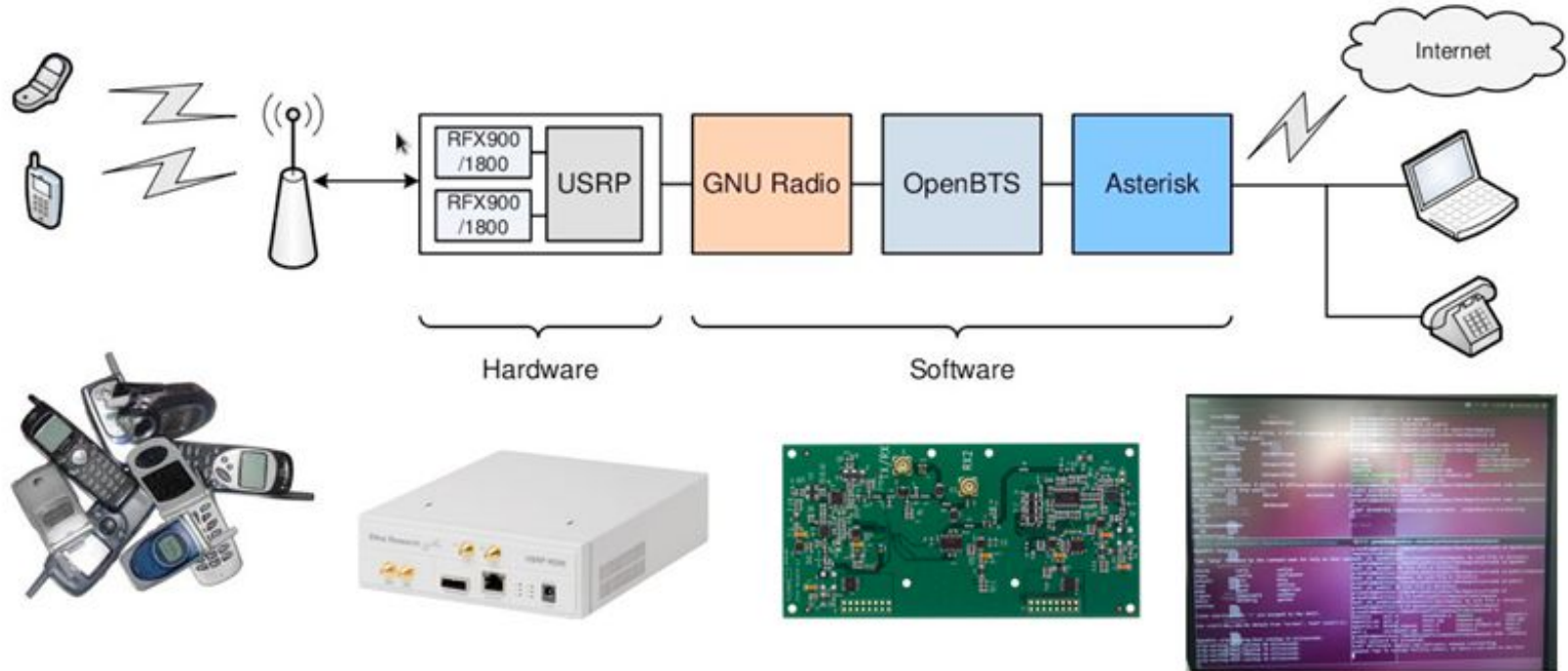
Demodulador en cuadratura



Monitoreo de canal de control GSM (slot C0)

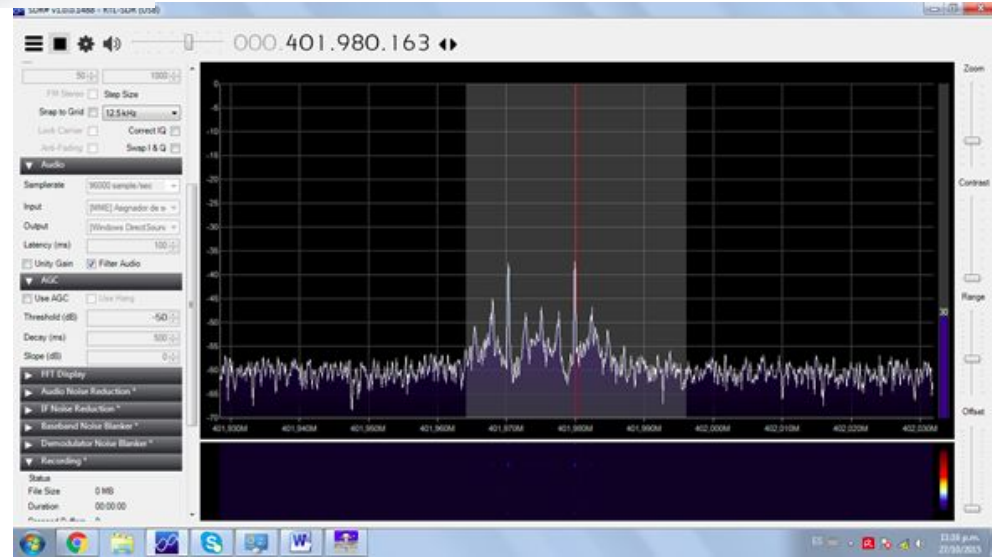


Implementación de una BTS de GSM

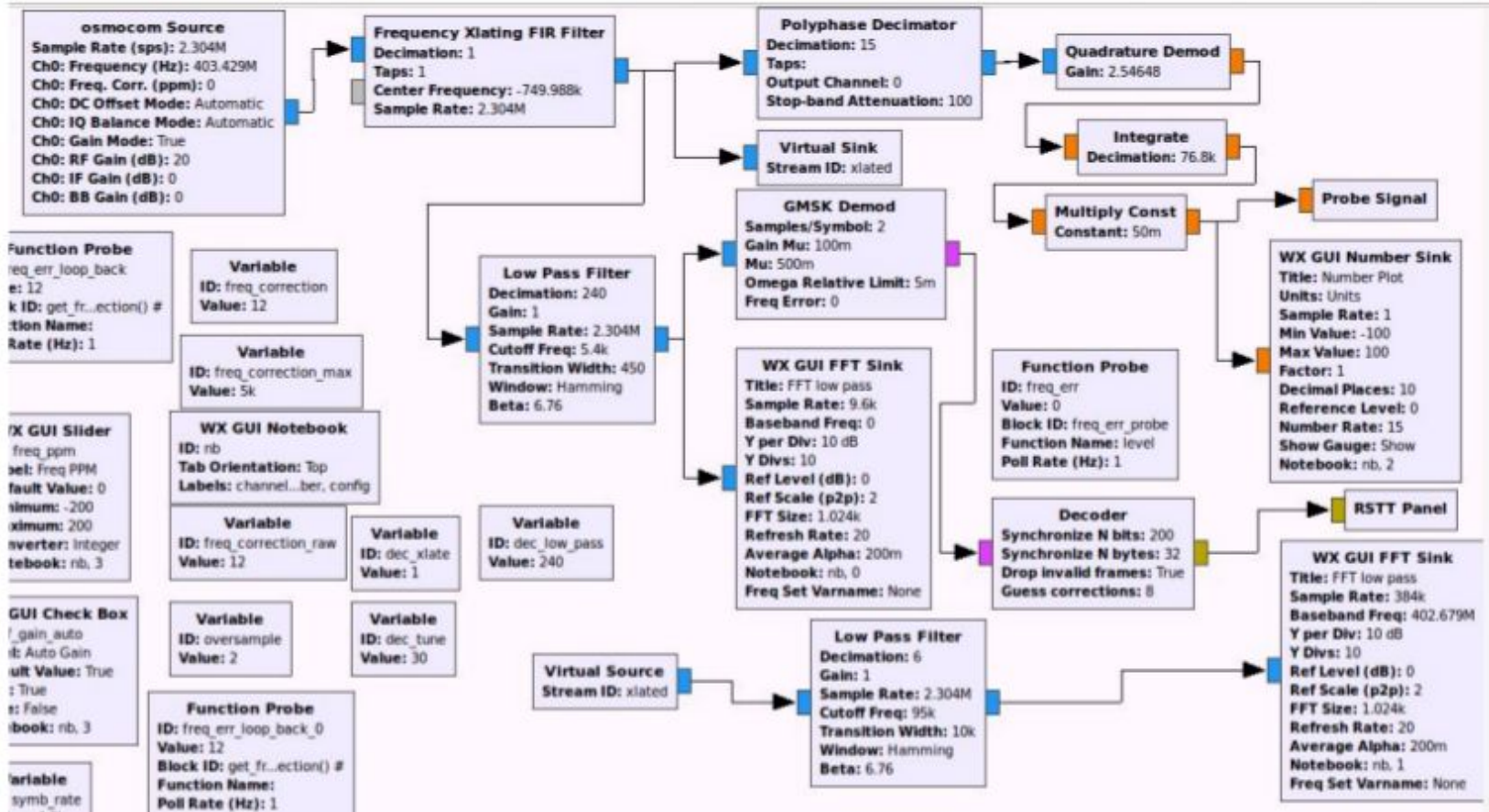


8) Caso 5: Demodulación y Decodificación de Radiosondas

Demodulación y Decodificación de Radiosondas Meteorológicas



SDR: conceptos y aplicaciones

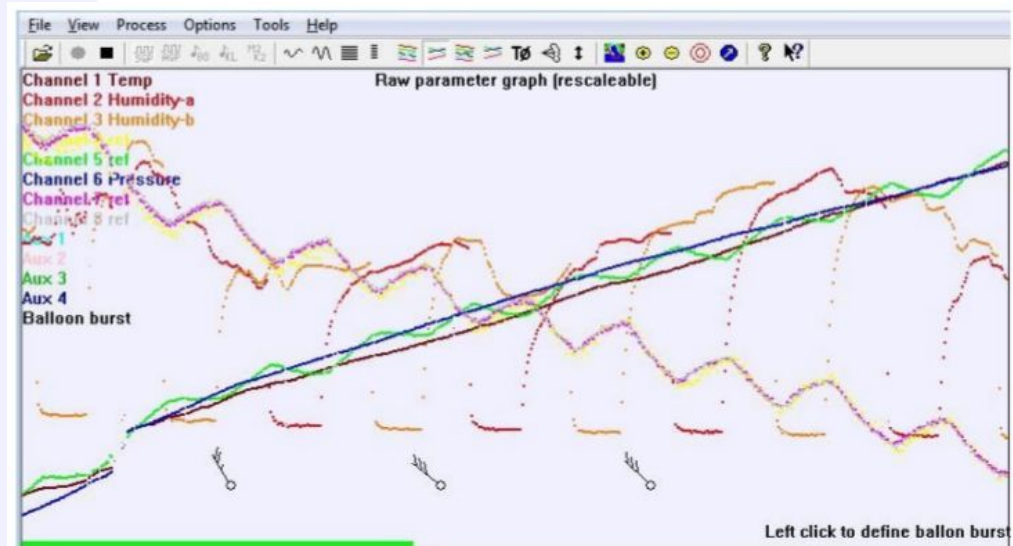


Sonde Monitor

File View Process Options Tools Help

Raw parameter table

955159	1030663	1017060	1118056	1123589	975927	873253	873695
2979925	7278468	200975	5771557	2494180	3214675	16156549	9967736
955500	1031114	1016886	1118058	1123585	975981	873254	873699
955498	1031319	1016898	1118063	1123588	976011	873256	873704
955477	1031456	1016864	1118063	1123585	976030	873259	873706
955579	1031585	1016813	5574511	283989	7361877	5592405	5592405
1031673	1016792	1118063	1123579	976099	873268	873709	6793480
955693	1031746	1016779	1118067	1123563	976107	873267	873708
955642	1031740	1016717	1118065	1123558	976110	873268	873715
5592435	13522261	5592405	5592405	5588053	5592405	5601622	15535436
955422	1031825	1016716	1118059	1123545	976081	873284	873725
955412	1031773	1016703	1118066	1123535	976071	873281	873732
955416	1031708	1016707	1118062	1123532	976058	873281	873727
11556181	5592405	5592405	5592405	4722261	265555	7933269	4024241
955508	1031752	1016715	1118063	1123526	976033	873290	873733
955572	1031858	1016767	1118072	1123523	976024	873296	873743
955154	1031933	1016813	1118062	1123510	975986	873298	873741
955252	1031834	1016813	1118068	1123507	975991	873305	873742
5592562	5592405	12052565	5592405	5592405	5592405	14570837	5592394
955601	1031778	1016737	1118066	1123500	975984	873304	873755
5592405	5592405	12342613	4478293	5592405	5592658	873813	6811713
955589	1031812	5604210	5592405	5618372	5584213	5592917	5592456
954963	1032317	1016673	1118062	1123467	975982	873312	873756
954689	1032187	1018709	1118064	1123450	975973	873317	873763
5592405	5592405	5592405	5592405	5592405	5592405	12801365	4412743



9) Otras Aplicaciones

Recepción de imágenes satelitales

Televisión Digital terrestre y satelital (DVBT, DVBS)

Monitoreo del espectro

Radar

Telefonía Móvil, LTE

Gracias por su atención, preguntas?

Guillermo Riva - griva@frc.utn.edu.ar

Carlos Zerbini - czerbini@frc.utn.edu.ar

GInTEA / LdC - UTN-FRC

