



INICIÁNDOSE EN MICROONDAS CON *ADALM PLUTO*

Alejandro Fernández – EA4BFK

AGENDA

- Las bandas de Microondas
- Soluciones para trabajar en microondas
- Adalm Pluto SDR
 - Estructura
 - Versiones de Hardware
 - Firmware y configuración para Radioafición
 - Mejoras del hardware del Pluto
 - Opciones de conexión
 - Firmwares Especiales
 - Características de RF
- Aplicaciones en Microondas
 - 144 – 5600 MHz
 - > 6000 GHz
- Pluto como Instrumento de Medida
- Agradecimientos
- Enlaces de interés

BANDAS MICROONDAS EN EA

BANDA	Frecuencias	Observaciones
23cm	1.240 – 1.300 GHz	Título secundario. No requiere autorización
13cm	2.300 – 2.450 GHz	La sub banda 2316 – 2332 MHz y no requiere autorización. El resto necesita autorización individual para su uso.
6cm	5.650 – 5.850 GHz	Las sub bandas 5700 – 5720 MHz y 5760 – 5762 MHz son de uso libre. El resto necesita autorización individual para su uso.
3cm	10.0 – 10.5 GHz	Título secundario. No requiere autorización
1.5cm	24.00 – 24.50 GHz	24.00 – 24.05 GHz. Título primario y no necesita autorización individual para su uso. 24.05 – 24.25 GHz. Título secundario y requiere autorización para su uso
6mm	47.0 – 47.2 GHz	Título primario
4mm	76.0 – 81.0 GHz	76,0-77.5 GHz Título secundario y requiere autorización 77.5-78.0 GHz Título primario. No requiere autorización 78.0-81.0 GHz Titulo secundario y requiere autorización

SOLUCIONES PARA TRABAJAR EN MICROONDAS

TRANSVERTERS

2.3 GHz

5.6 GHz

10 GHz

24 GHz

47 GHz



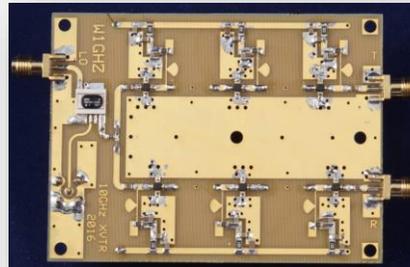
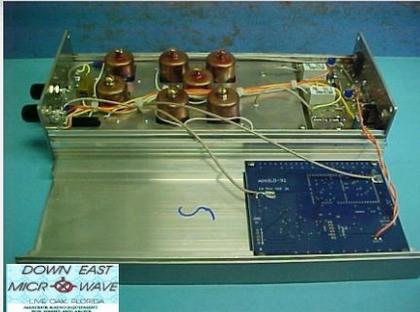
Multiband



SG Laboratory Ltd



Minikits.com.au



+



Micrommeet 2023

SOLUCIONES PARA TRABAJAR EN MICROONDAS

TRANSVERTERS

2.3 GHz

5.6 GHz

10 GHz

24 GHz

47 GHz

Y además...

70 MHz

145 MHz

432 MHz

1296 MHz



Y ...

1700 MHz (HRPT)

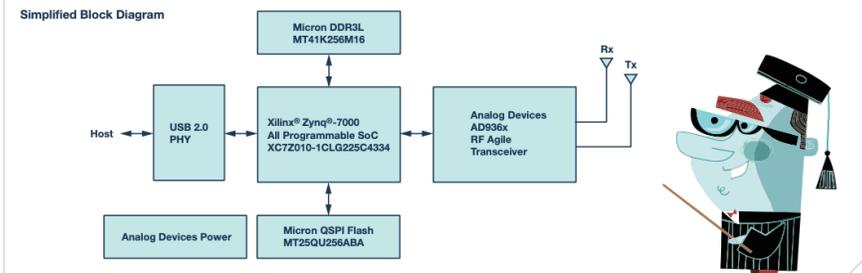
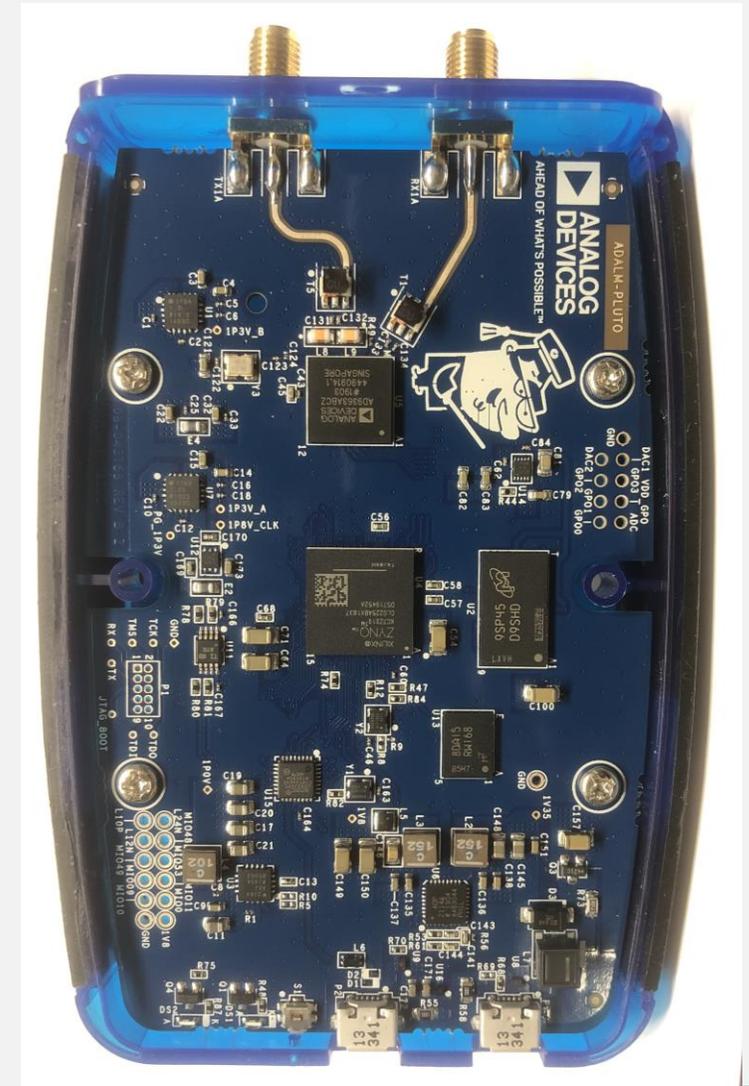
2250 MHz (DSN)

ADALM PLUTO



- Dispositivo de Aprendizaje desarrollado por Analog Devices
- Transmisor y Receptor SDR basado en el Transceiver AD9363 (12 bits)
- Controlador: Xylinix Zynq All Programmable SoC
- Half Duplex y Full Duplex
- Rango: 325MHz a 3.8GHz. Ampliable
- Control por USB y Ethernet con adaptador
- Ancho de Banda 10 MHz (limitado por el puerto USB 2.0)
- 4 GPIO's para control externo
- Coste razonable (225€ + IVA)

Specifications	Typical
Power	
DC Input (USB)	4.5 V to 5.5 V
Conversion Performance and Clocks	
ADC and DAC Sample Rate	65.2 kSPS to 61.44 MSPS
ADC and DAC Resolution	12 bits
Frequency Accuracy	±25 ppm
RF Performance	
Tuning Range	325 MHz to 3800 MHz
Tx Power Output	7 dBm
Rx Noise Figure	<3.5 dB
Rx and Tx Modulation Accuracy (EVM)	-34 dB (2%)
RF Shielding	None
Digital	
USB	2.0 On-the-Go
Core	Single ARM Cortex®-A9 @ 667 MHz
FPGA Logic Cells	28k
DSP Slices	80
DDR3L	4 Gb (512 MB)
QSPI Flash	256 Mb (32 MB)



ADALM PLUTO VERSIONES DE HARDWARE

- 2 Versiones del Hardware, NO SELECCIONABLES cuando lo compras.
- Rev. B. Venta entre 2018 y 2022.
- Rev C/D. Venta desde 2022 hasta la actualidad. En general es la versión disponible en los Distribuidores (Mouser, DigiKey).

Rev B

- Primera versión del hardware.
- Solo un canal RX y TX accesible
- Clock externo mediante modificaciones sencillas
- Requiere incluir una modificación de las masas de los USB's

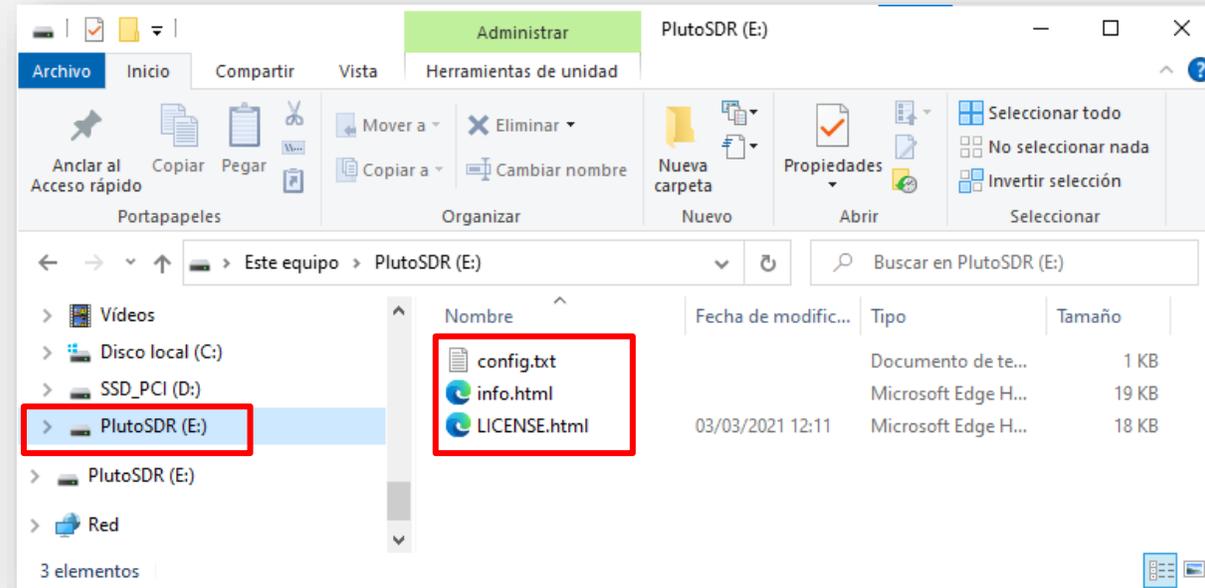


Rev C/D

- Conectores UFL para el segundo canal de RX y TX.
- Conector UFL entrada y salida del reloj del AD9363. Simplifica la inyección de un CLK externo
- Mejoras en las conexiones GND de los USB's

ADALM PLUTO ACTUALIZACIÓN DEL FIRMWARE

- Instalar los drivers para el Pluto (<https://github.com/analogdevicesinc/plutosdr-m2k-drivers-win/releases>)
- Conectar PC – PLUTO por USB.
- Se crean automáticamente una unidad de disco (E:/Pluto SDR), un puerto COM y un acceso de red donde el Pluto tiene la IP: 192.168.2.1
- Acceder a la consola del Pluto mediante SSH con Putty por ejemplo.



```
192.168.2.1 - PuTTY
login as: root
root@192.168.2.1's password:
Welcome to:

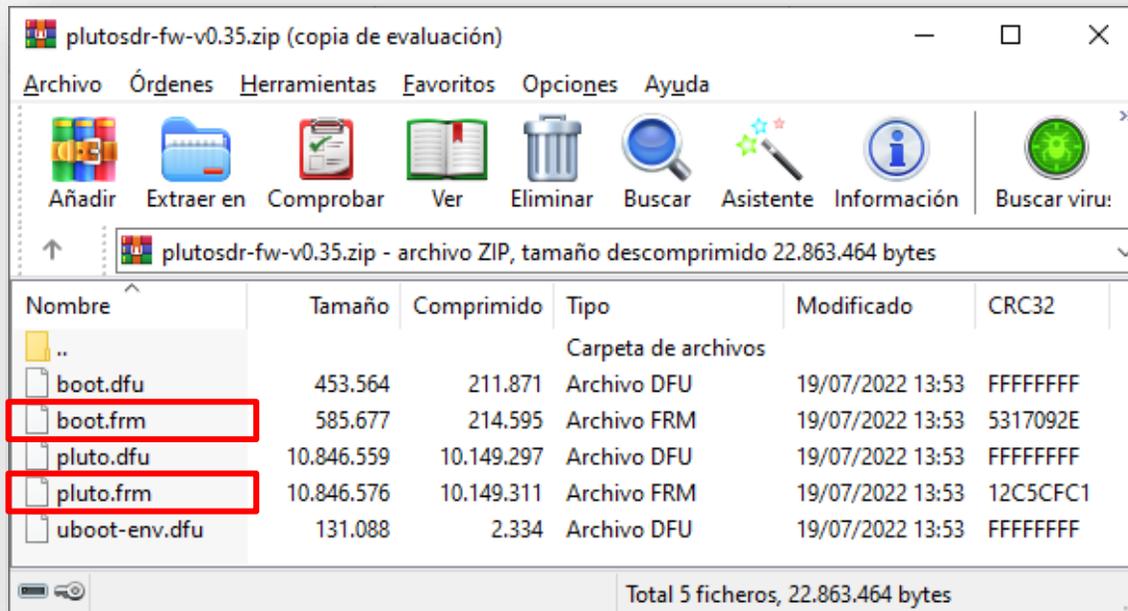
PlutoSDR

v0.35
https://wiki.analog.com/university/tools/pluto
#
```

- Usuario: **root**
- Password: **analog**

ADALM PLUTO ACTUALIZACIÓN DEL FIRMWARE

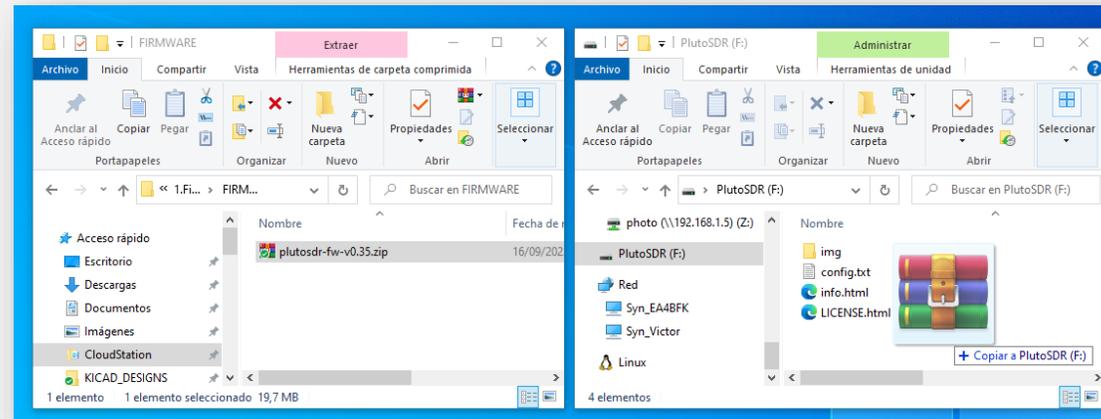
- Recomendable actualizar el Firmware Completo a la última versión oficial dado que corrige algunos “Bugs”.
- Actualizar todos los ficheros incluidos en el zip descargado, no solo **pluto.frm**



Filename	Purpose
boot.dfu	DFU file for First Stage Boot Loader, and U-Boot
boot.frm	Firmware file for First Stage Boot Loader, U-Boot and it's default environment
pluto.dfu	DFU file for Pluto Firmware, this would include FPGA Bit File, Linux kernel (all drivers), and ram based file system
m2k.dfu	DFU file for M2k Firmware, this would include FPGA Bit File, Linux kernel (all drivers), and ram based file system
pluto.frm	Firmware file for Pluto Firmware, this would include FPGA Bit File, Linux kernel (all drivers), and ram based file system
m2k.frm	Firmware file for M2k Firmware, this would include FPGA Bit File, Linux kernel (all drivers), and ram based file system
uboot-env.dfu	DFU file which includes the default U-Boot environment

ADALM PLUTO ACTUALIZACIÓN DEL FIRMWARE

- Para actualizar el firmware Oficial hay que copiar el fichero zip descargado en la unidad de disco del Pluto.
- Para instalar otros firmwares (ie: F5OEO) solo hay que copiar el **pluto.frm** que nos proporcionan.



- Una vez copiado, expulsar solo la unidad de disco, no todo el USB. El led Ready parpadea rápido durante al menos un minuto y se reiniciará el Pluto con el nuevo firmware.



ADALM PLUTO AJUSTES DEL FIRMWARE

- Las posibilidades del AD936x

RF Transceiver	LO tuning range	Bandwidth	Number Channels
▶ AD9363 (Default ADALM-PLUTO)	325 - 3800 MHz	20 MHz	2 Rx, 2 Tx
▶ AD9364	70 - 6000 MHz	56 MHz	1 Rx, 1 Tx
▶ AD9361	70 - 6000 MHz	56 MHz	2 Rx, 2 Tx

- En los Plutos Rev B la extensión de frecuencias se consigue “diciéndole” al Adalm Pluto que tiene un AD9364 en lugar del AD9363.
- En los Plutos Rev C/D la extensión de frecuencias se consigue “diciéndole” al Adalm Pluto que tiene un AD9361 en lugar del AD9363, para activar los dos canales de RX y TX.
- En ambos casos se pueden activar las dos cpu’s que tiene el Xylinix.

ADALM PLUTO

AJUSTES DEL FIRMWARE

- **REV C/D.** Extensión de Frecuencia a 70 MHz – 6 GHz y activar 2 RX y 2 TX

```
# fw_setenv attr_name compatible
# fw_setenv attr_val ad9361
# fw_setenv compatible ad9361
# fw_setenv mode 2r2t
# reboot
```

REV. B

Sustituir
ad9361 por ad9364 y no
activar mode 2r2t

- Revisar que se han implementado los cambios

```
# fw_printenv attr_name
attr_name=complete
# fw_printenv attr_val ad9361
attr_val=ad9361
# fw_printenv compatible
compatible=ad9361
# fw_printenv mode
mode=2r2t
```

ADALM PLUTO

AJUSTES DEL FIRMWARE

- **REV, B y REV. C/D.** Extensión del número de CPU's

```
# fw_setenv maxcpus 2  
# reboot
```

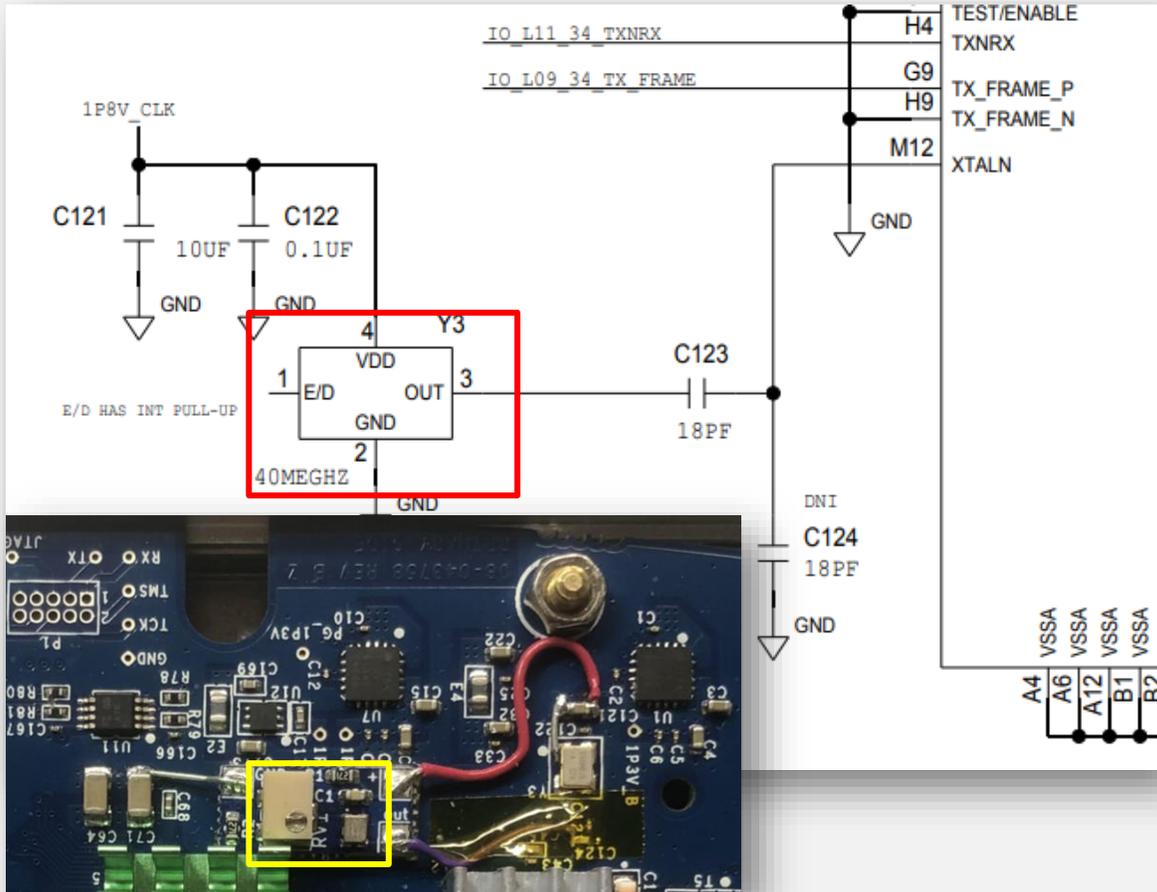
- Revisar que se han implementado los cambios

```
# fw_printenv maxcpus  
maxcpus=2
```

ADALM PLUTO

MEJORA ESTABILIDAD DE FRECUENCIA

REV. B - Oscilador del AD9363



RAKON

RXO3225M 40.000 MHz

- OCXO CMOS
- Volt: 1,8v
- Salida 0,8Vpp
- Temp. Estability: 25ppm
- Excelente Ruido de Fase

MEJORA

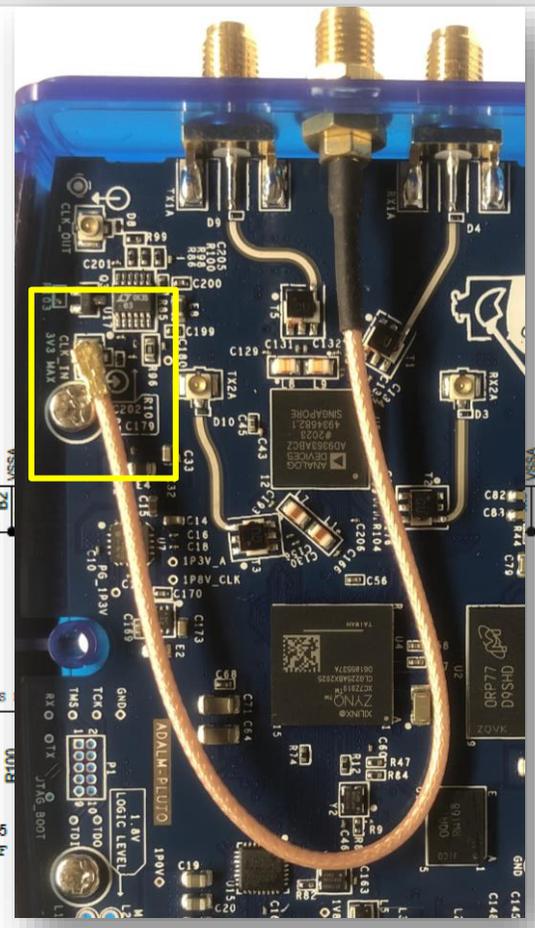
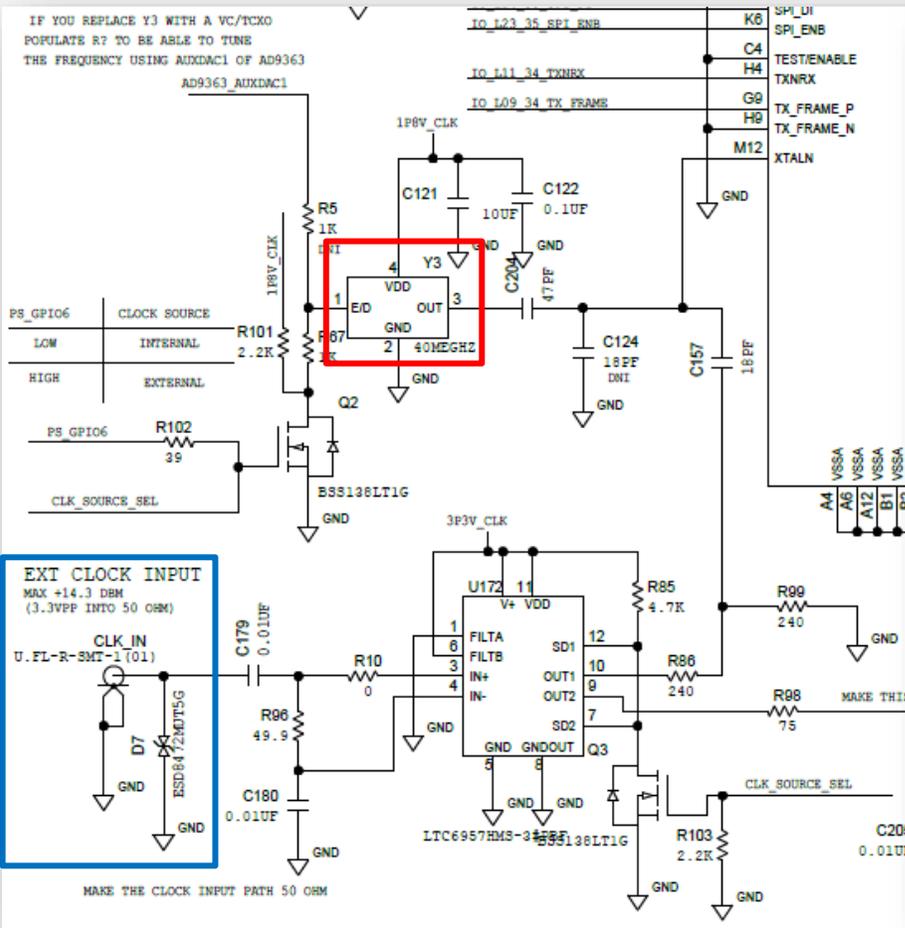
Instalar un OCXO más estable y compatible.

ABRACON ASVTX-13-C-40.000MHZ-I05-T

- a) Deshabilitar el OCXO instalado conectando el Pin 1 a GND
- b) Conectar el nuevo OCXO mediante un C de 18pF (0603) al punto de unión de C123 y C124
- c) Alimentar con 1,8V

ADALM PLUTO MEJORA ESTABILIDAD DE FRECUENCIA

REV. C/D - Oscilador del AD9363



- ### RAKON RXO3225M 40.000 MHz
- OCXO CMOS
 - Volt: 1,8v
 - Salida 0,8Vpp
 - Temp. Estability: 25ppm
 - Excelente Ruido de Fase
 - Conector UFL para Clock externo
 - Conmutación por firmware

MEJORA
Instalar un cable UFL – SMA y conectar un oscilador externo disciplinado de 40 MHz.

ADALM PLUTO MEJORA ESTABILIDAD DE FRECUENCIA

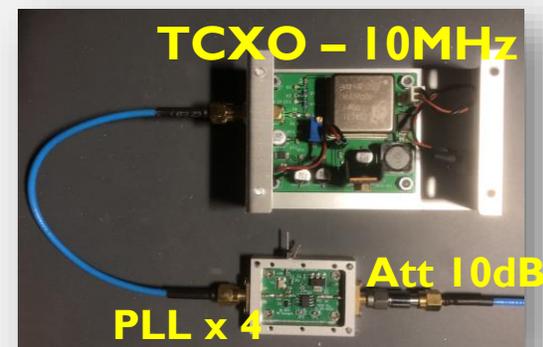
- **REV. C/D** - Comandos para activar el oscilador externo

```
# fw_setenv refclk_source external  
# fw_setenv ad936x_ext_refclk_override 40000000  
# reboot
```

Verificación →

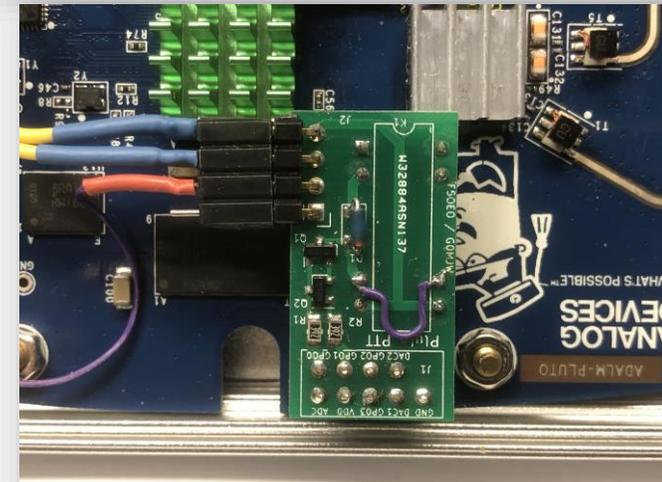
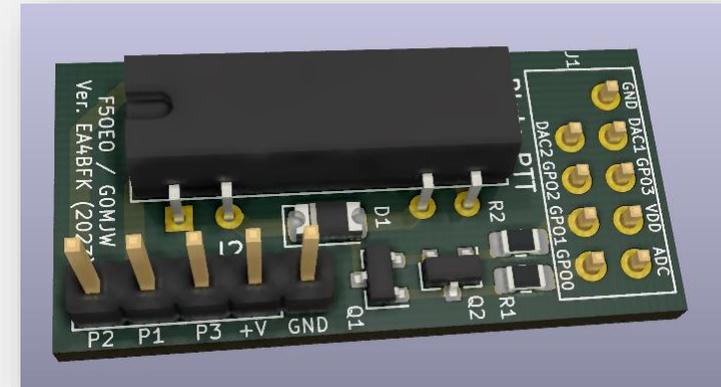
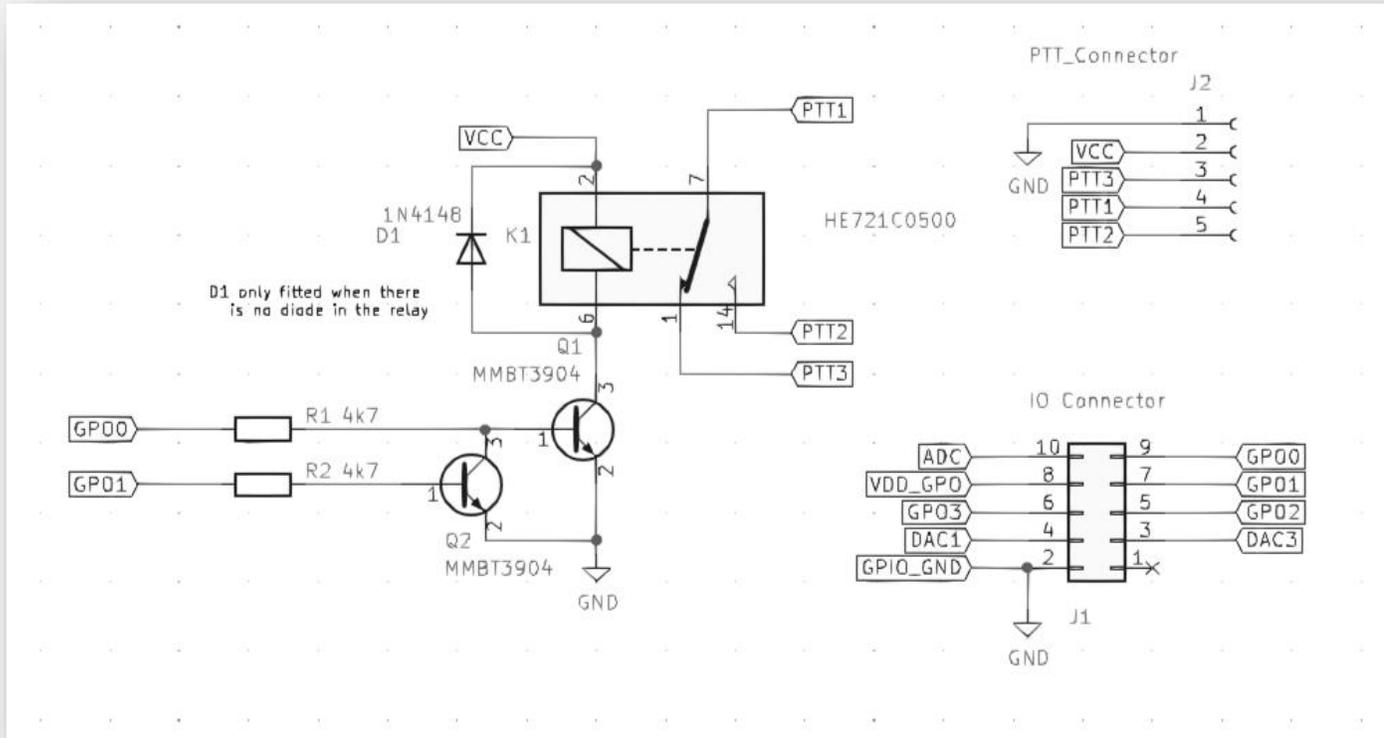
```
# fw_printenv refclk_source  
refclk_source=external  
# fw_printenv ad936x_ext_refclk_override  
ad936x_ext_refclk_override=40000000
```

- Opciones de Osciladores disciplinados de 40 MHz



ADALM PLUTO CONTROL DE PTT

- El control del PTT se realiza mediante el GPIO 0 y GPIO 1



ADALM PLUTO CONEXIÓN ETHERNET / WIFI

- Conectividad a Red Ethernet o WiFi, mediante un adaptador USB – Ethernet con conexión OTG



USB – Ethernet Adapters Chipsets

- ASIX AX88xxx Based USB 2.0 Ethernet Adapters
- ASIX AX88179/178A USB 3.0/2.0 to Gigabit Ethernet
- Microchip LAN78XX Based USB Ethernet Adapters
- Realtek RTL8152/RTL8153 Based USB Ethernet Adapters
- SMSC LAN75XX based USB 2.0 gigabit ethernet devices
- SMSC LAN95XX based USB 2.0 10/100 ethernet devices

WiFi -Chipsets

- Ralink rt2501/rt61
- Ralink rt73
- Ralink rt27xx/rt28xx/rt30xx
- Realtek 81xx
- Realtek 87xx
- Realtek 88xx

- La dirección IP del *Adalm Pluto*, se puede configurar en el fichero config.txt que hay en la unidad de disco que crea el Pluto.

```
[USB_ETHERNET]
ipaddr_eth = 192.168.3.111
netmask_eth = 255.255.255.0
```

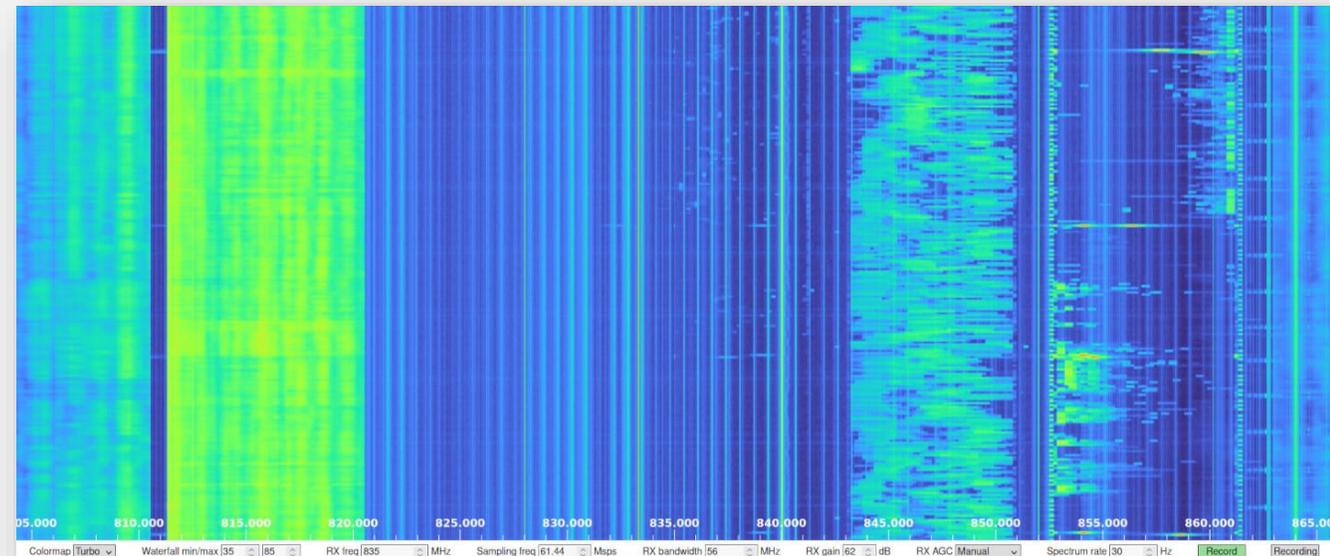
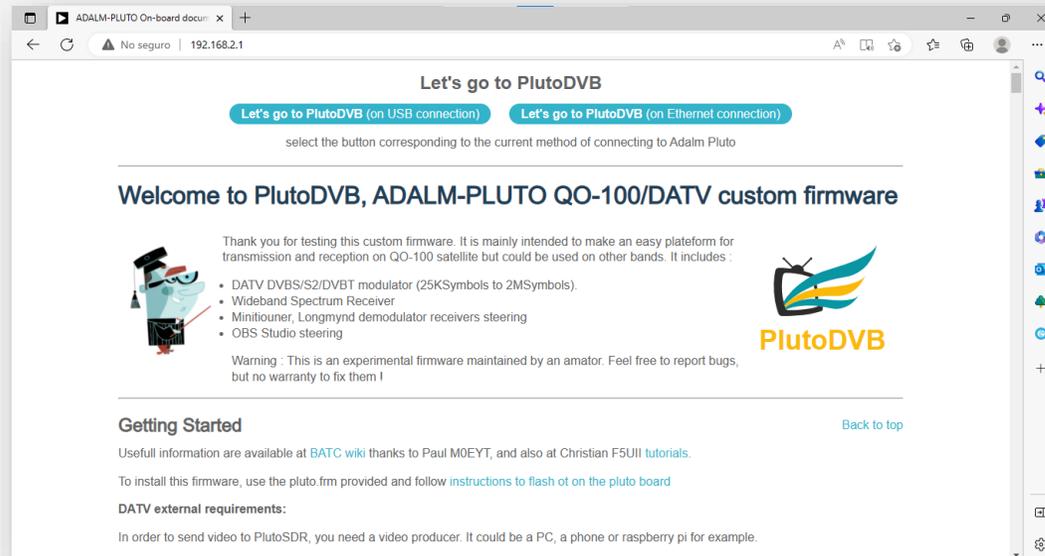
ADALM PLUTO FIRMWARES ESPECIALES

FIRMWARE DATV - F5OEO

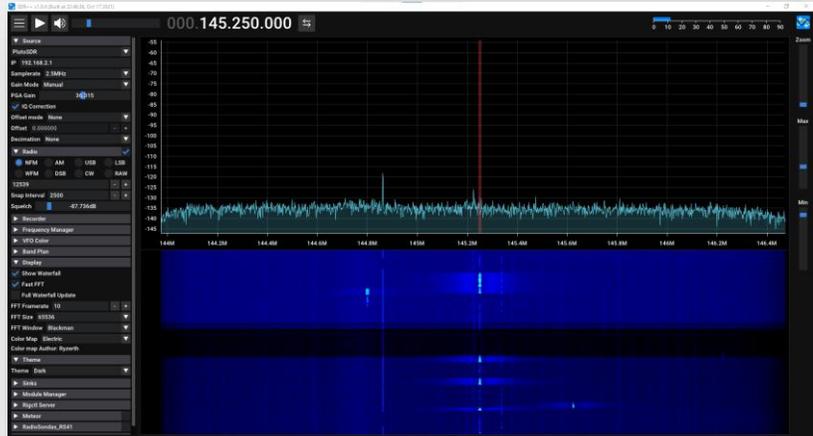
- Transmisión de DATV.
- Control del PTT mediante GPIO para DATV y SDR Console.
- REV C. Requiere instalar un Patch de IS0GRB.

FIRMWARE MAIA – EA4GPZ

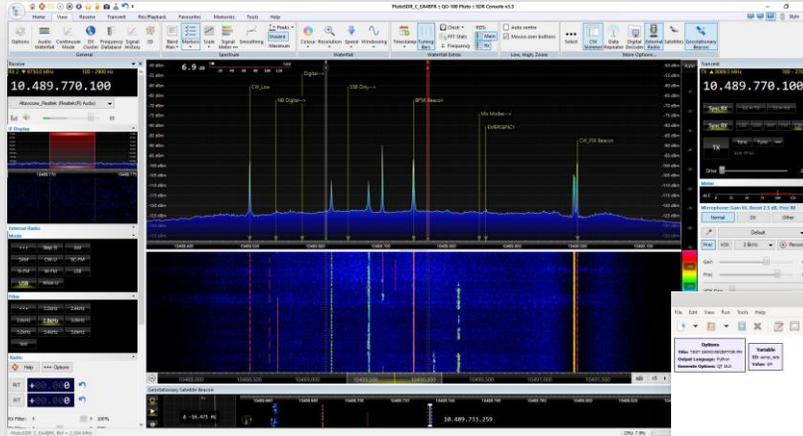
- Interface Web accesible desde PC o teléfono.
- Waterfall en tiempo real soportando hasta 61.44Msps.
- Grabación IQ en formato SigMF de hasta 61.44MsPs con un max. de 400Mb descargable posteriormente en PC o teléfono.



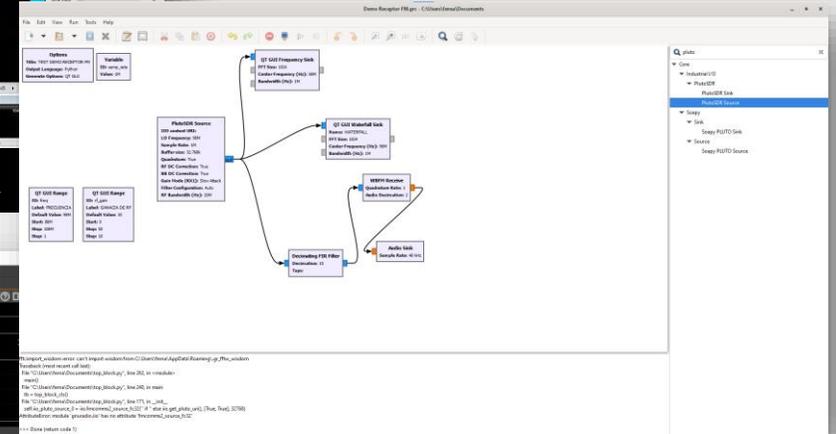
ADALM PLUTO SOFTWARE UTILIZABLE



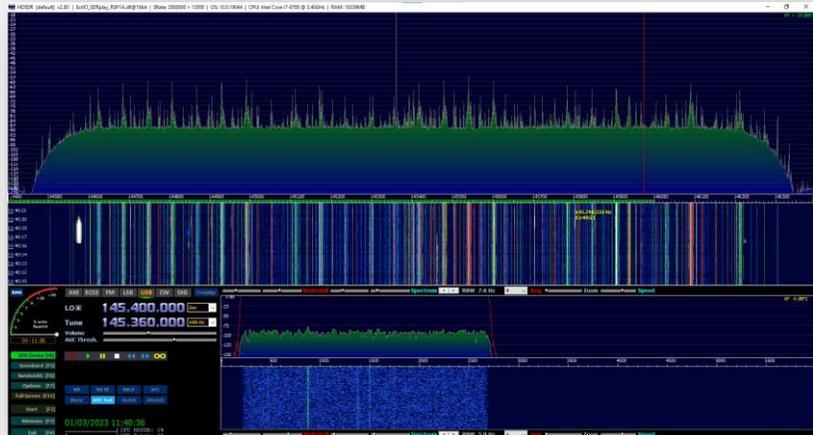
SDR++ RX only



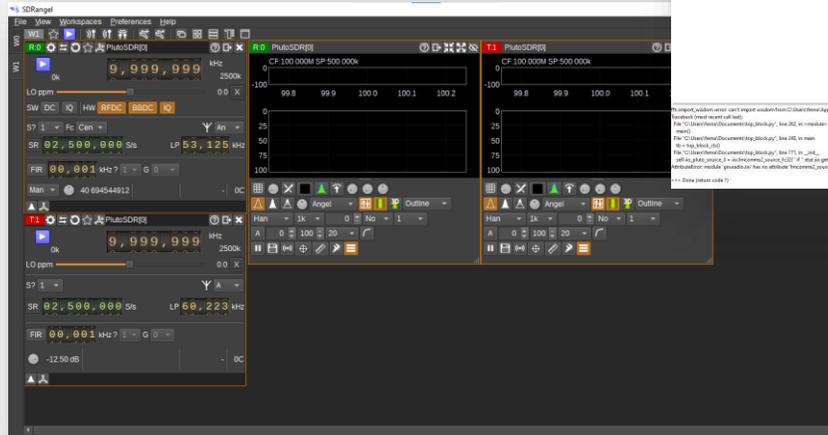
SDR Console RX/TX



GNU Radio RX/TX

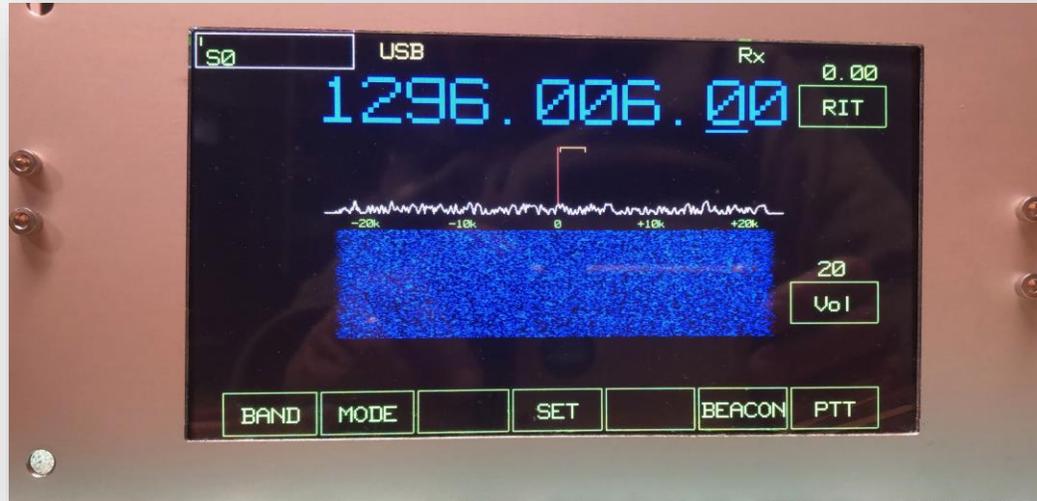


HSDR RX only

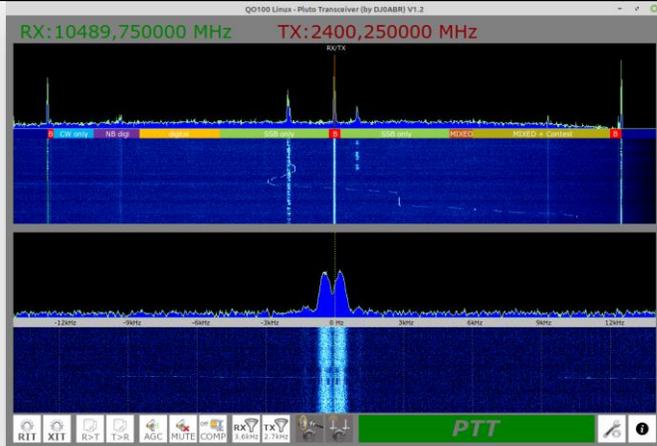
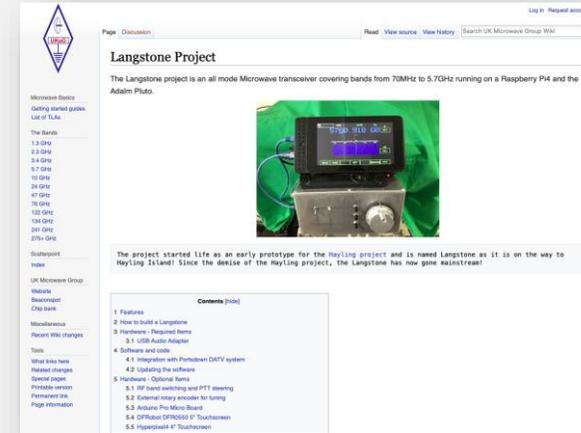


SDRAngel RX/TX

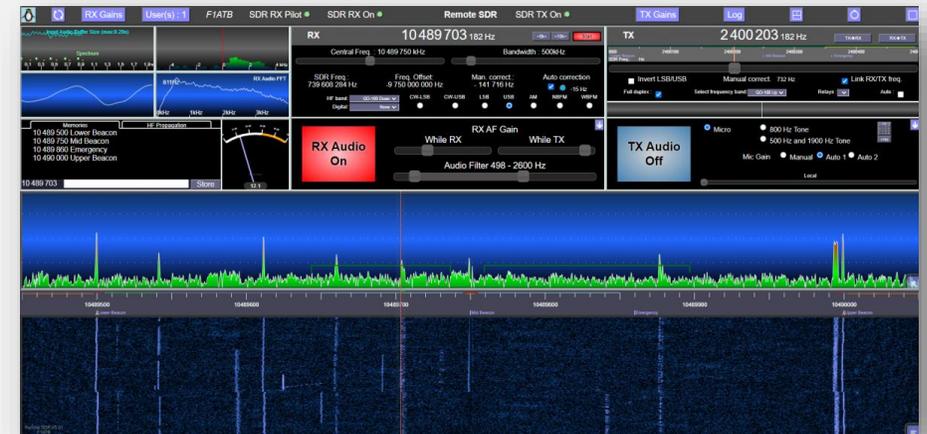
ADALM PLUTO SOFTWARE UTILIZABLE



Raspberry Pi 4 + Langstone SDR Transceiver (G4EML)



Raspberry Pi 4 + QO100_Transceiver (DJ0ABR)

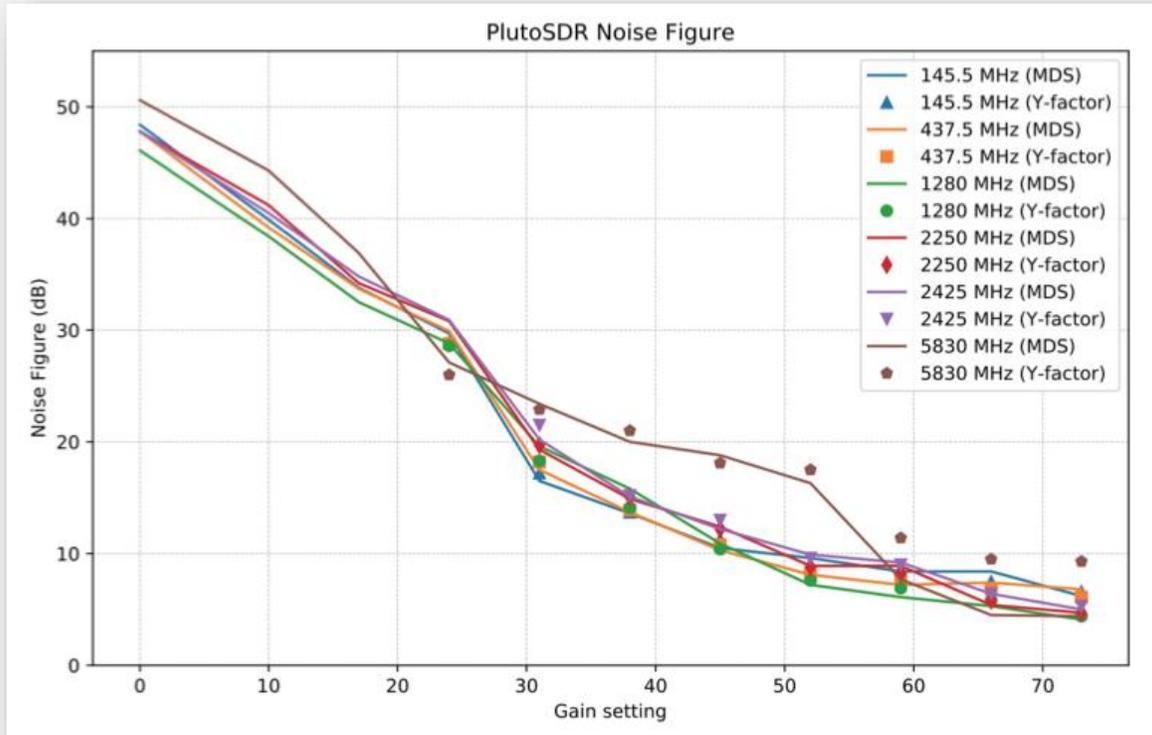


Raspberry Pi 4 + Remote SDR v5 (FIATB)

ADALM PLUTO SECCIÓN DE RF - RECEPCIÓN

RECEPCIÓN

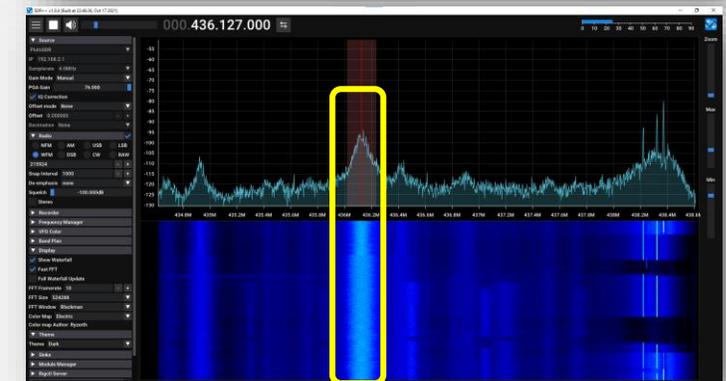
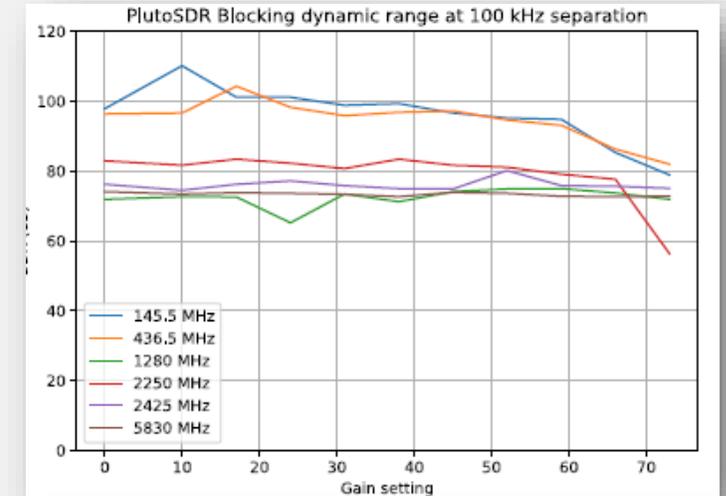
- Sensibilidad (NF @ 500Hz) *
- Entrada sin ningún tipo de filtrado de RF



Frecuencia	NF** (dB)
145 MHz	6,2
437 MHz	6,1
1.280 MHz	4,1
2.250 MHz	4,7
2.425 MHz	5,0
5.830 MHz	9,3

** Max Gain

$$\text{MDS} = -174\text{dBm} + \text{NF} + \log_{10}(B)$$



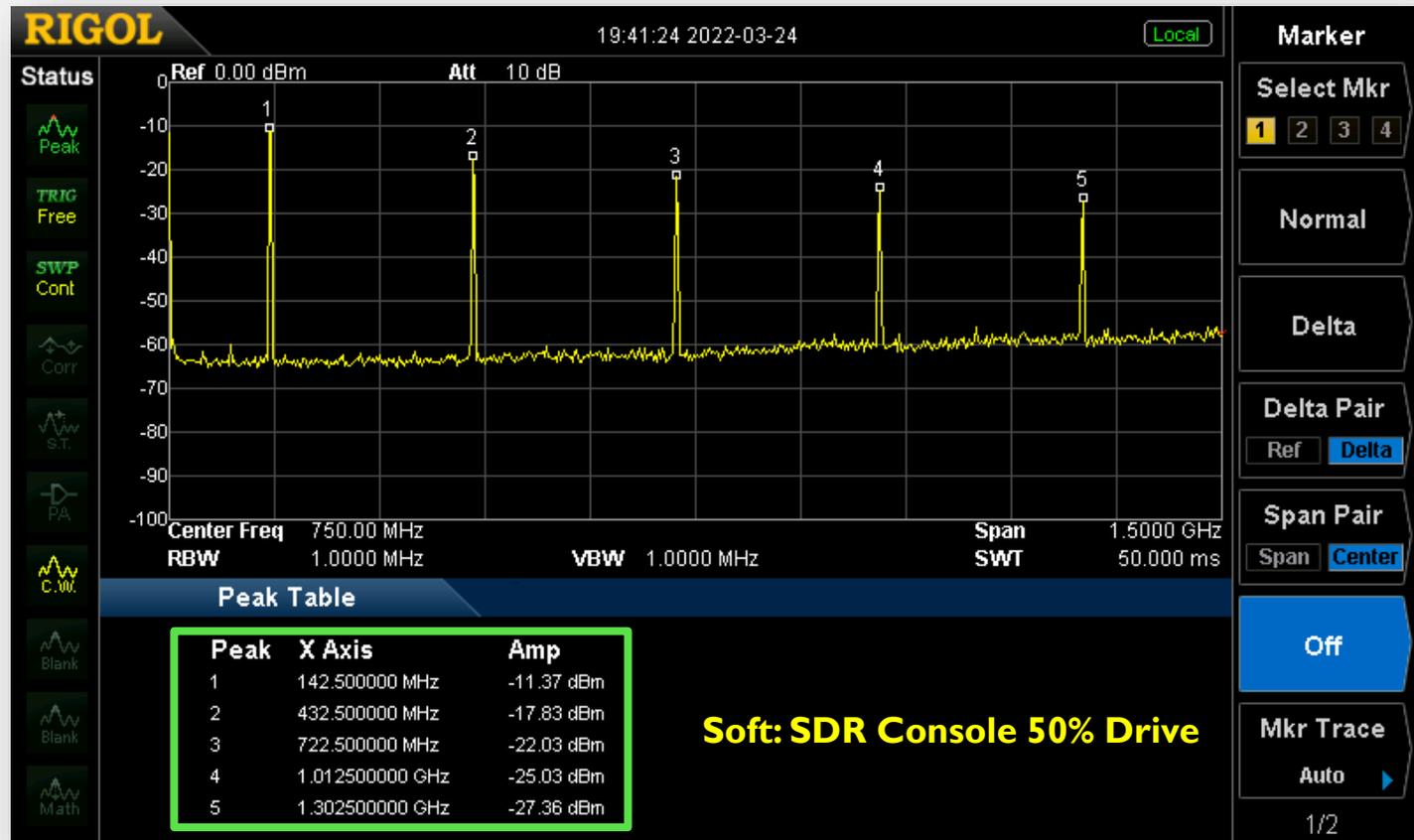
* Medidas: "Evaluation of SDR Boards and Toolchains" – SDR Makerspace

ADALM PLUTO SECCIÓN DE RF - TRANSMISIÓN

TRANSMISIÓN

- Salida de onda cuadrada sin ningún tipo de filtrado de RF.
- Potencia de salida:

Frecuencia	Pw (dBm)
145 MHz	3,7
437 MHz	8,4
1.280 MHz	7,7
2.250 MHz	6,7
2.425 MHz	6,3
5.830 MHz	1,8

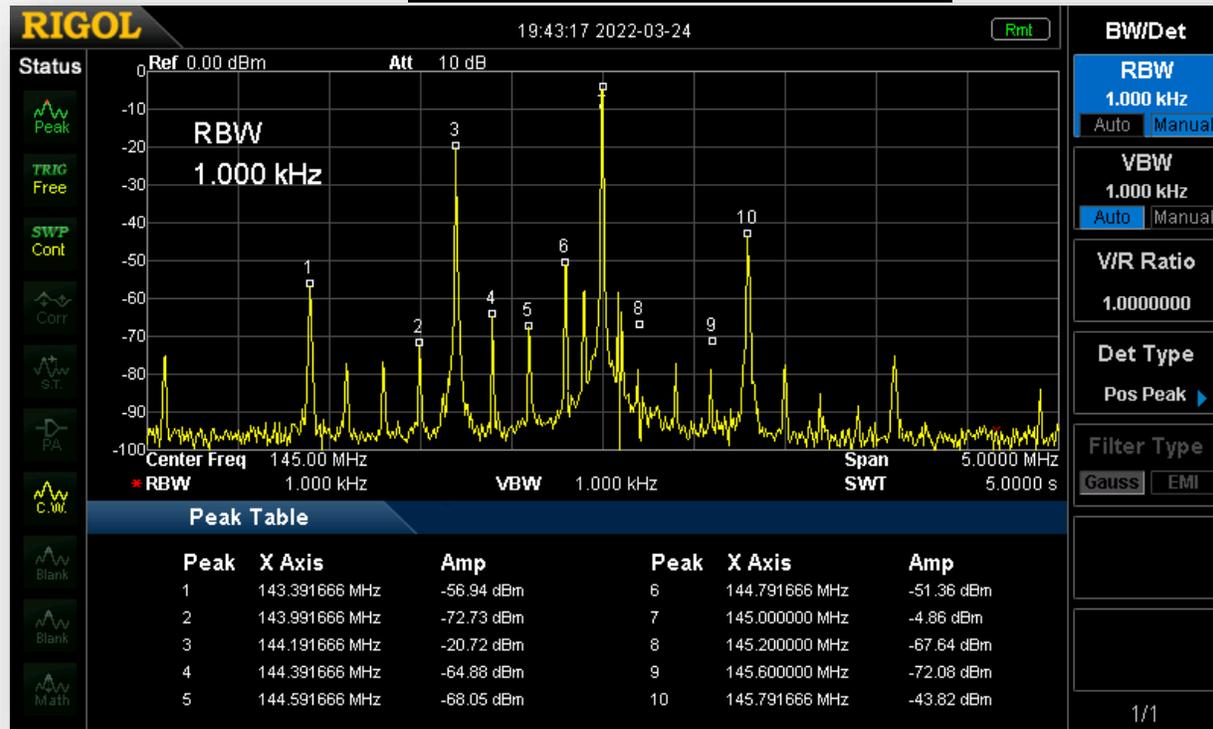


ADALM PLUTO SECCIÓN DE RF - TRANSMISIÓN

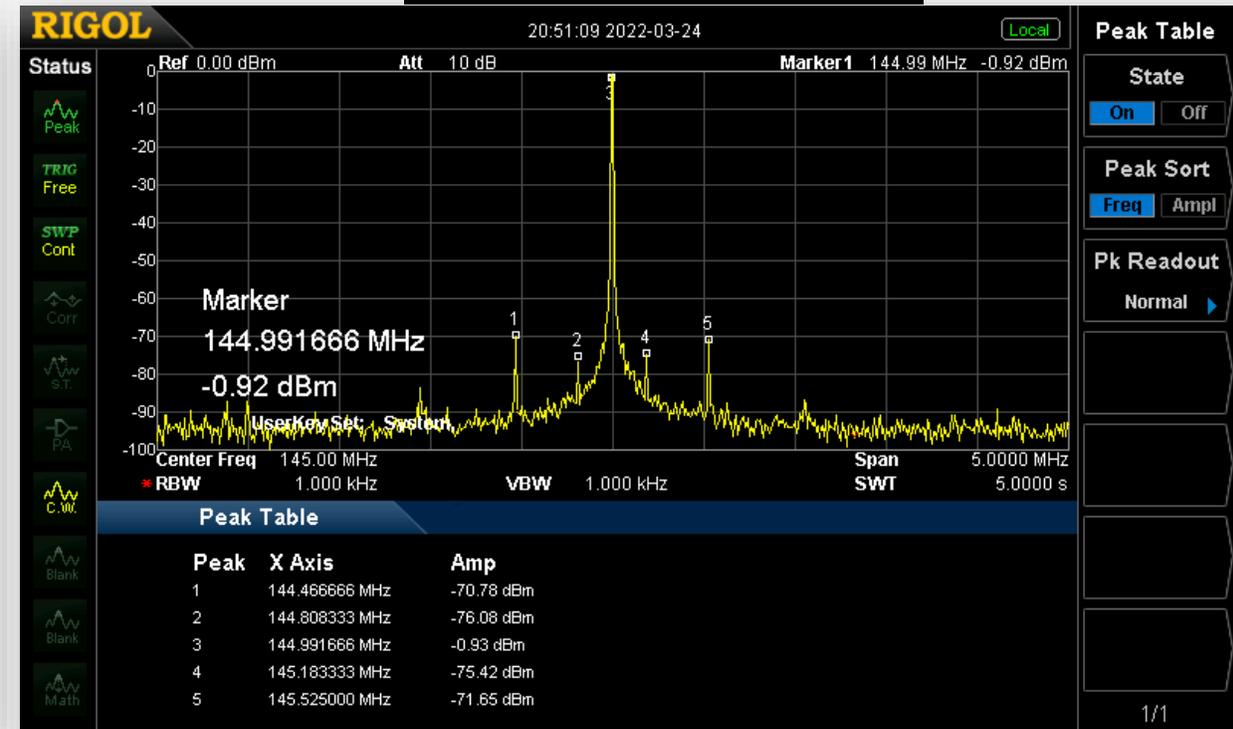
TRANSMISIÓN

- Nivel de señales espúreas dependiente del software empleado

Soft: SDR Console 70% Drive

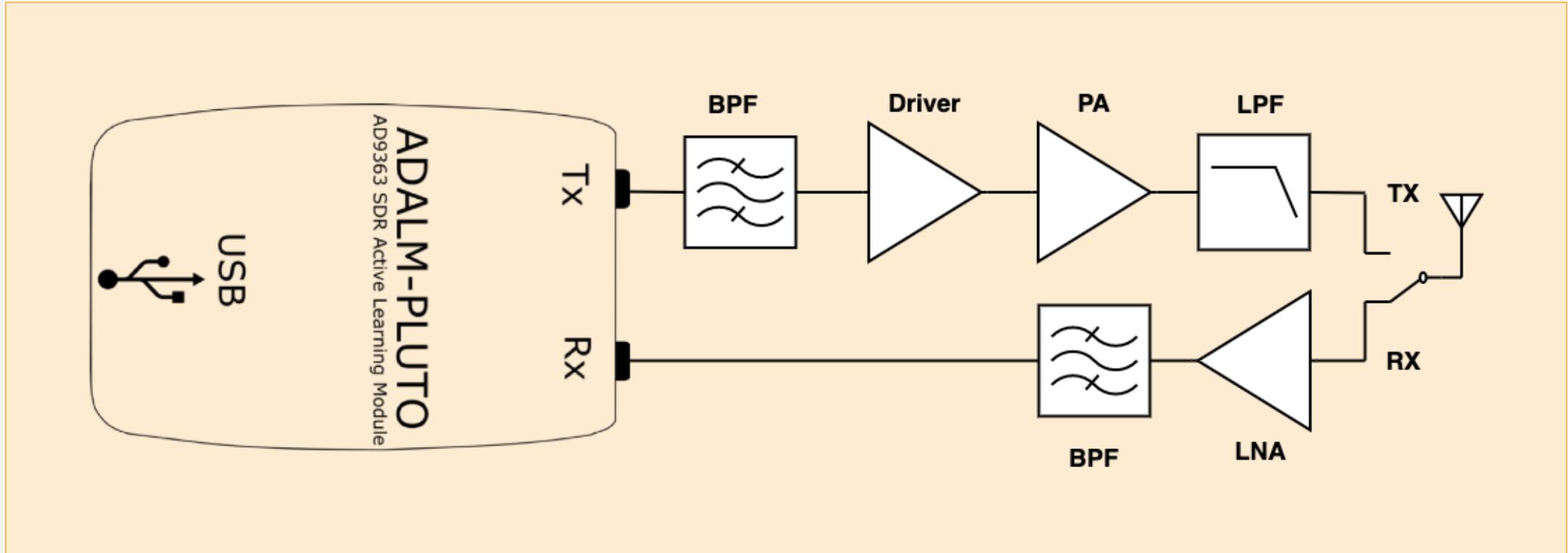


Soft: Pi+Langstone 0dB Att.



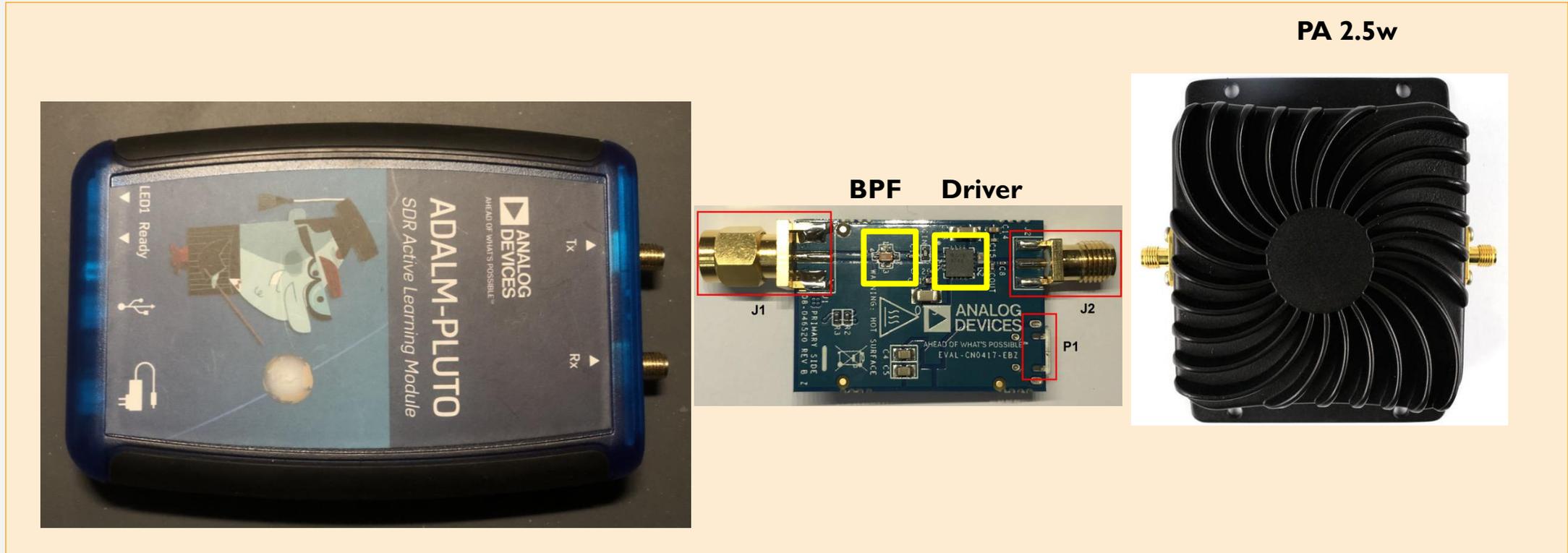
ADALM PLUTO RTX MONOBANDA SIMPLE

Esquema de Bloques



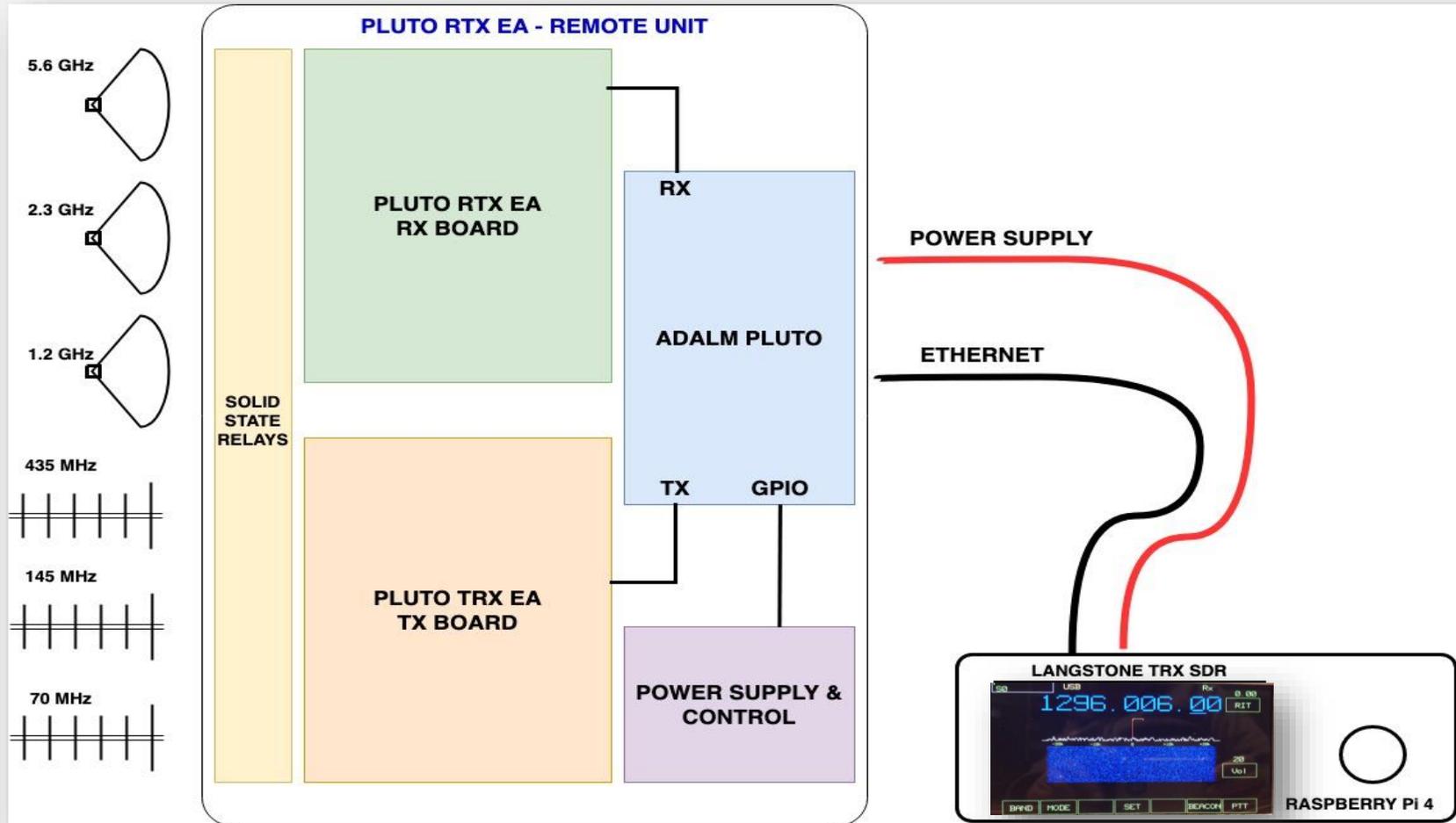
ADALM PLUTO RTX MONOBANDA SIMPLE

- TX para SSB en QO-100 (2.4 GHz)



ADALM PLUTO RTX MULTIBANDA (PLUTO RTX_EA)

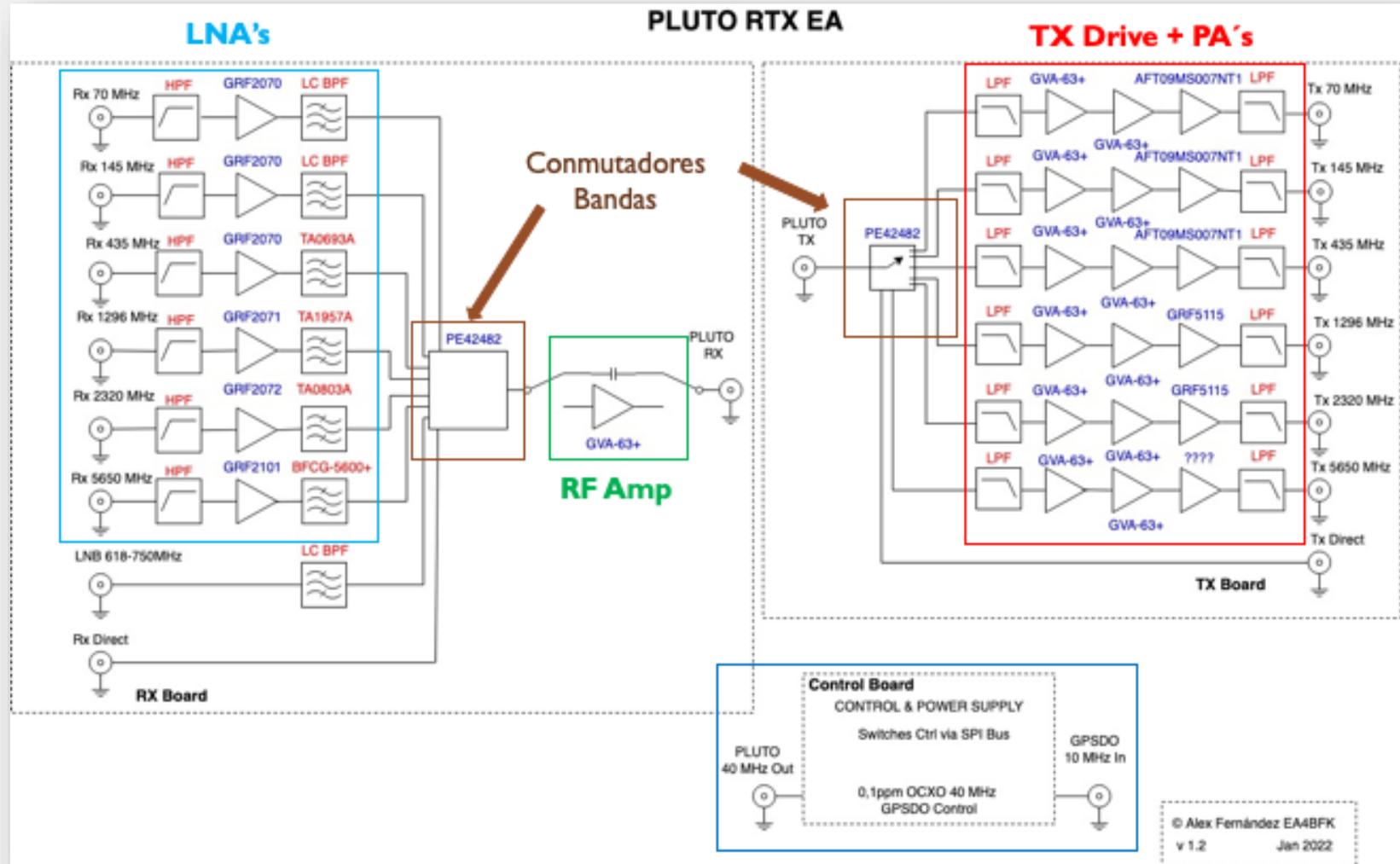
Esquema General



- Unidad Remota para instalar junto a las antenas
- Unidad de Control y Display (Rpi 4 + Langstone)
- Conexión Ethernet standard sin necesidad de router
- Conexión de Alimentación
- Modular
- Compatible con Lime SDR

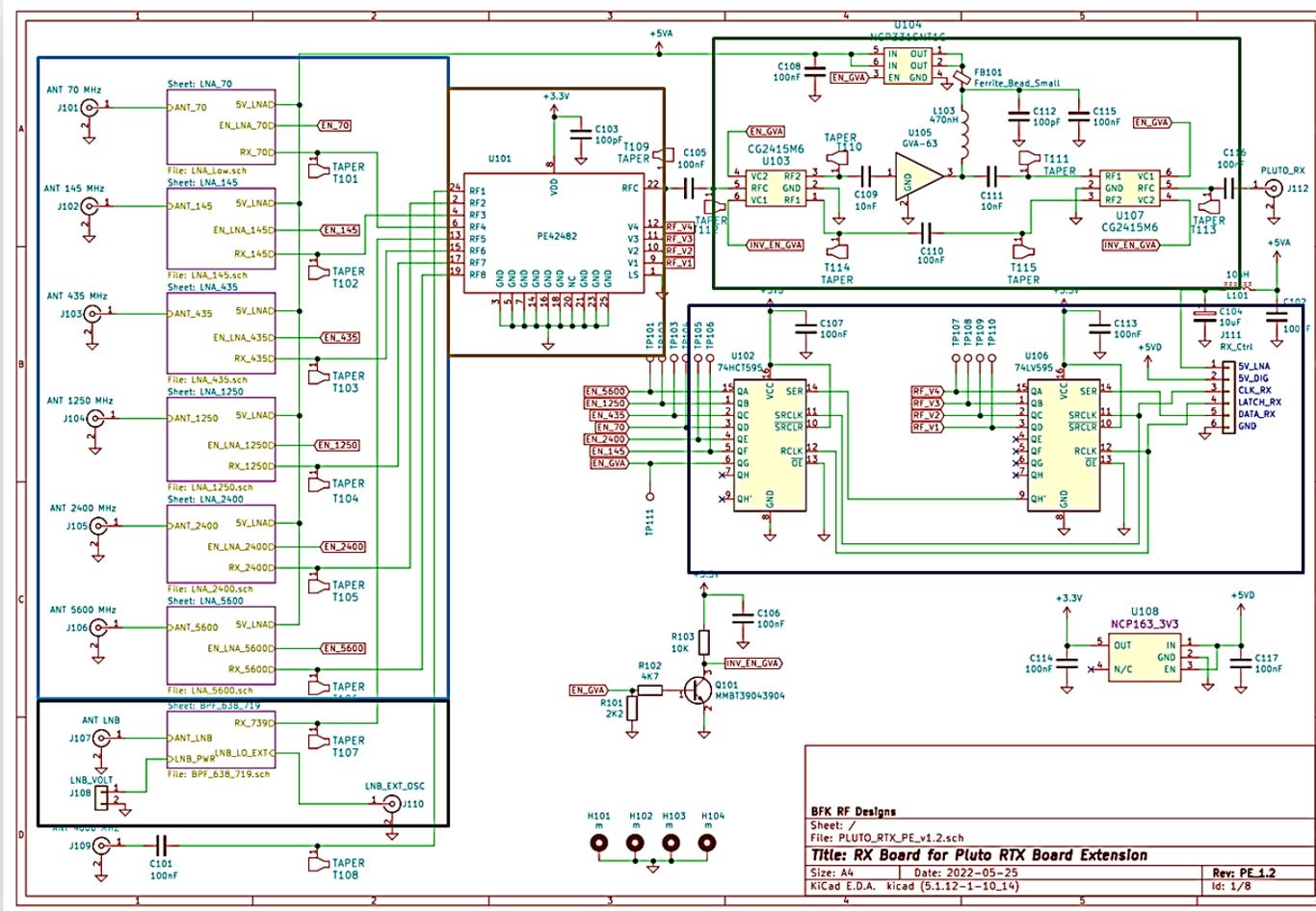
ADALM PLUTO RTX MULTIBANDA (PLUTO RTX_EA)

- Esquema de Bloques



ADALM PLUTO RTX MULTIBANDA (PLUTO RTX_EA)

Esquema



MMIC LNA's GRF207x

GUERRILLA Released
GRF2070
 Ultra-Low Noise Amplifier
 Tuning Range: 0.1 to 1.5 GHz

Product Description
 GRF2070 is a broadband, linear, ultra-low noise amplifier designed for small cell, wireless infrastructure and other high performance RF applications requiring ultra-low NF, high gain and linearity.

Features
 Reference: 5V/70mA/0.9 GHz
 • Gain: 20.8 dB
 • Eval Board NF: 0.38 dB
 • OP1dB: 20.1 dBm
 • OIP3: 38.8 dBm
 • Flexible Bias Voltage and Current
 • Process: GaAs pHEMT

Product Description
 This device is a member of a family of pin compatible, ultra low noise devices which cover a wide range of frequency bands with industry leading NF and gain.

Features
 GRF2070: 0.1 to 1.5 GHz
 GRF2071: 0.7 to 2.7 GHz
 GRF2072: 1.5 to 3.8 GHz
 GRF2073: 2.0 to 6.0 GHz (next-gen process)
 GRF2074: 1.0 to 6.0 GHz (next-gen process)

Consult with the GRF applications engineering team for application notes, custom tuning/evaluation board data and device s-parameters.

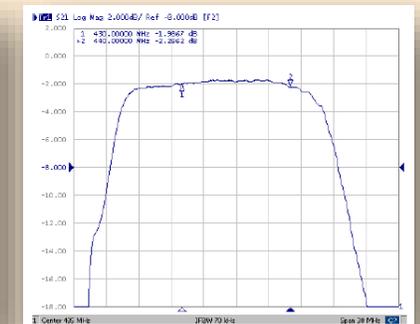
Filtros SAW

SAW Filter 435 MHz
 MODEL NO: TA0693A
A. MAXIMUM RATING:
 1. Input Power Level: 10 dBm
 2. DC Voltage: 3 V
 3. Operating Temperature: -40°C to +85°C
 4. Storage Temperature: -40°C to +85°C

B. ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Item	Item	Fc	Min	Typical	Max
Center frequency	Fc	435 MHz	-	435	-
Insertion loss	IL	430 - 440 MHz	-	2.5	3.3
Amplitude ripple	AR	430 - 440 MHz	(dB)	-	0.8
Attenuation (Reference level from 0 dB)	Att	Fc-100 to Fc+5 MHz	(dB)	40	45
Fc±20	Att	MHz	(dB)	50	57
Fc±45	Att	MHz	(dB)	50	40
Fc±55 to Fc±100	Att	MHz	(dB)	40	50
Source impedance	Zs	(Ω)	-	50	-
Load impedance	ZL	(Ω)	-	50	-

Note 1: No matching network required for operation at 50 Ω.
C. MEASUREMENT CIRCUIT:

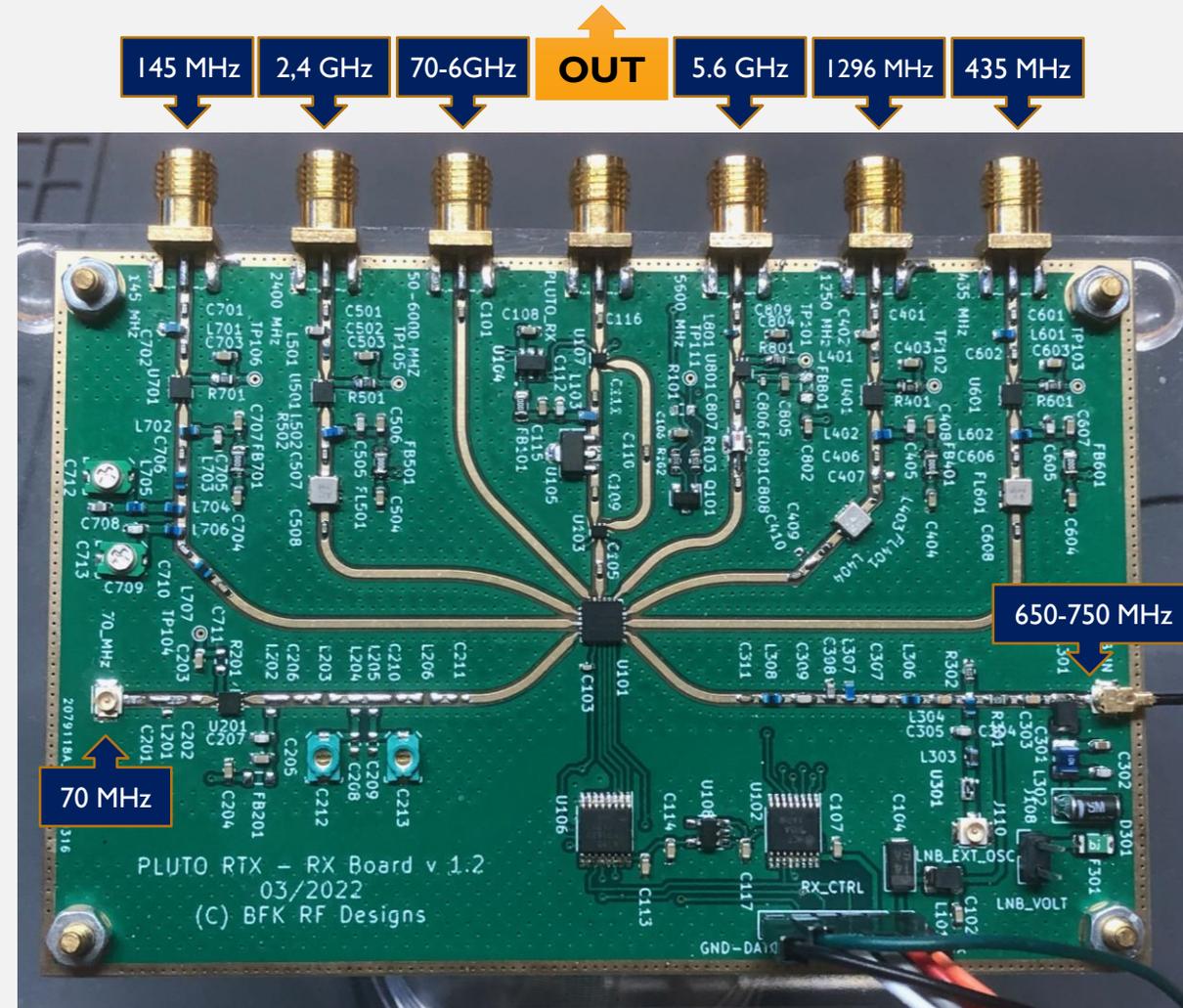
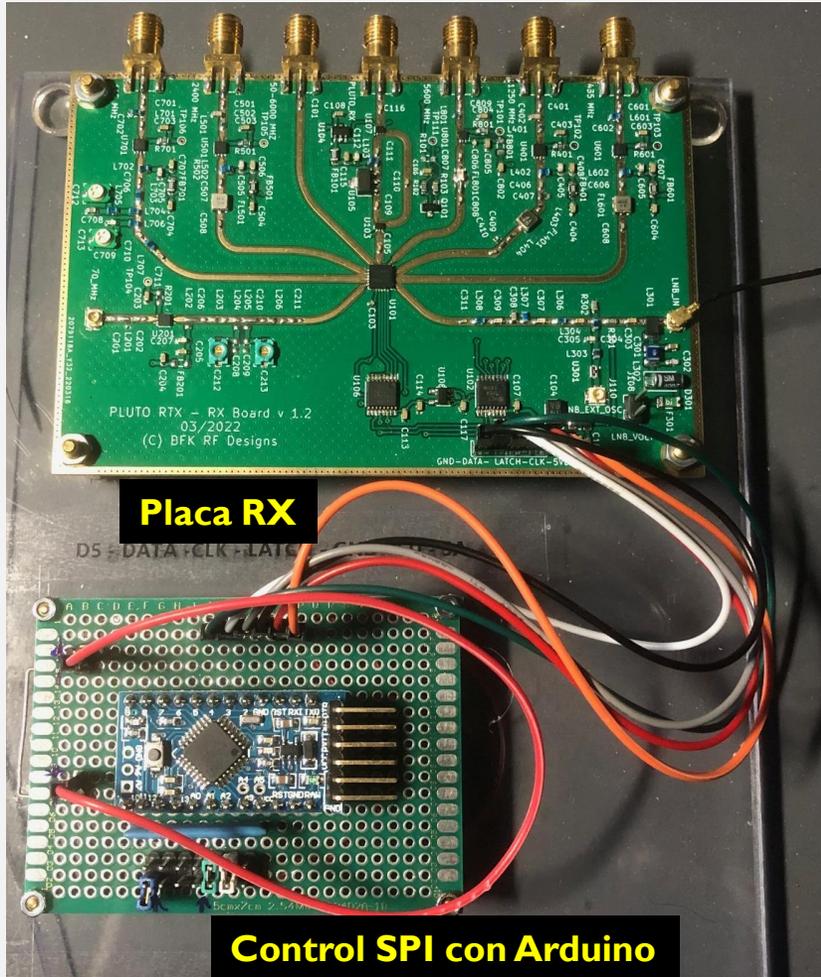


Conmutador PE42482

- IL: 1.1dB @ 6GHz

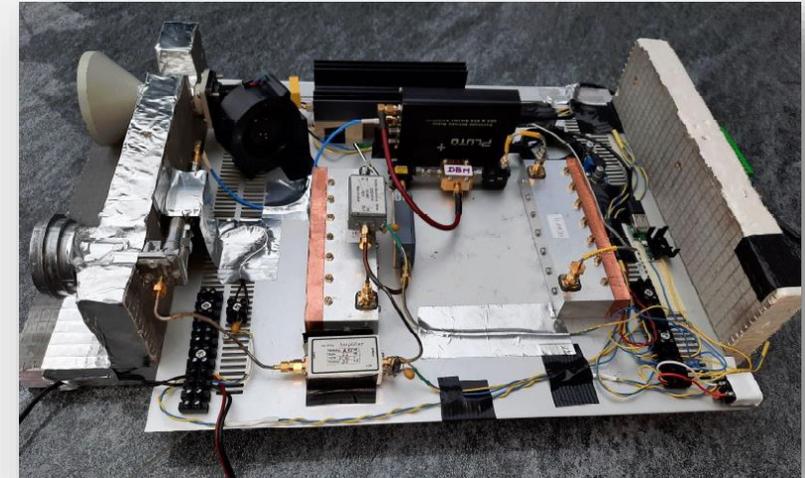
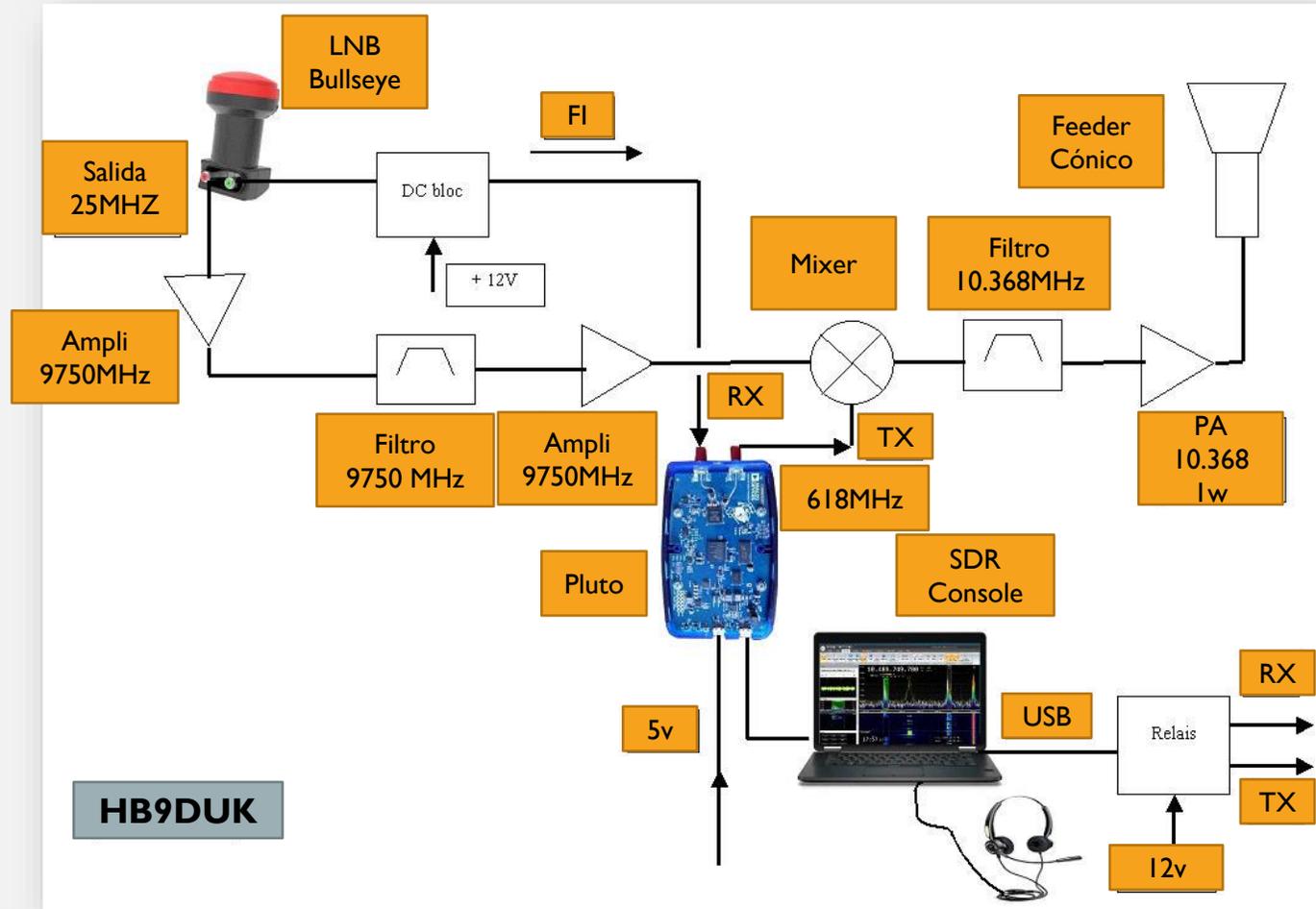
ADALM PLUTO RTX MULTIBANDA (PLUTO RTX_EA)

- Placa de RX



ADALM PLUTO RTX 10 GHZ

- TRX 10GHz de Volk (HB9DUK) (*HYPER Bulletin Jan 2023*)

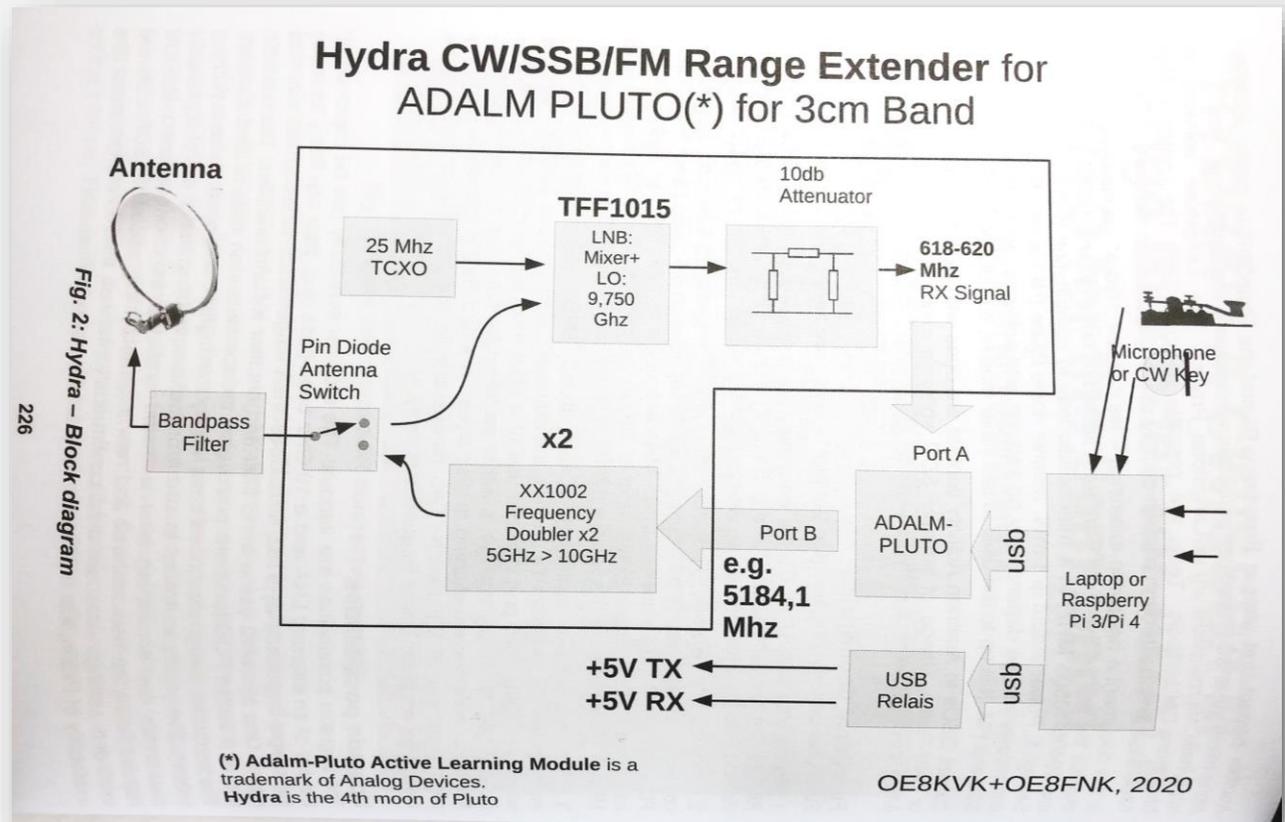
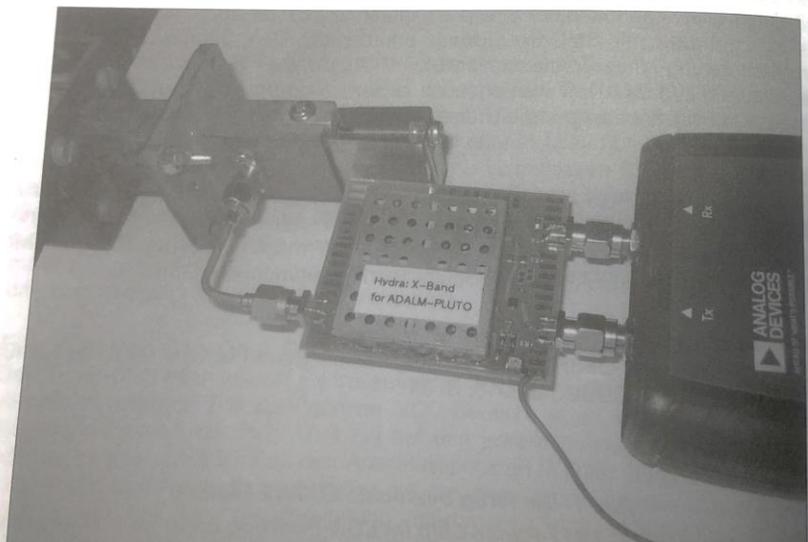


ADALM PLUTO RTX 10 GHZ

- Extensión “Hydra” 10GHz de Werfried (OE8FNK) (*DUBUSTECHNIK XVIII Pag 224*)

“HYDRA”: A CW/SSB/FM Range Extender for ADALM PLUTO for the 3cm Band

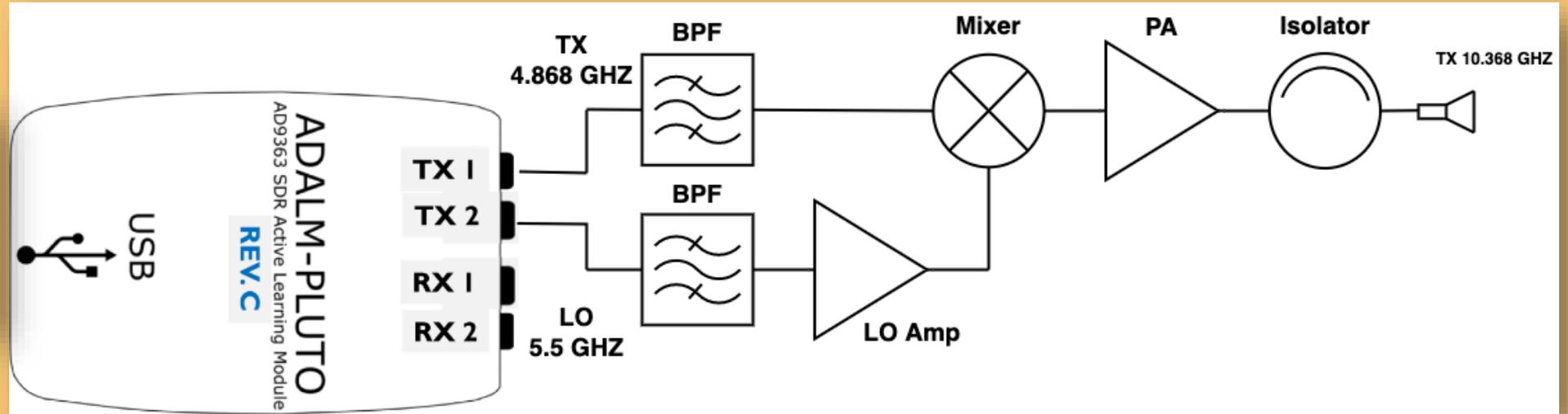
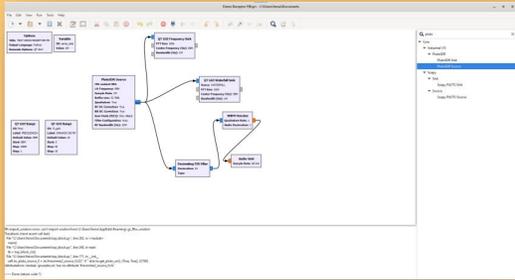
by Werfried Kuneth, OE8FNK - oe8fnk@aon.at



ADALM PLUTO RTX 10 GHZ

- 10GHz Simple

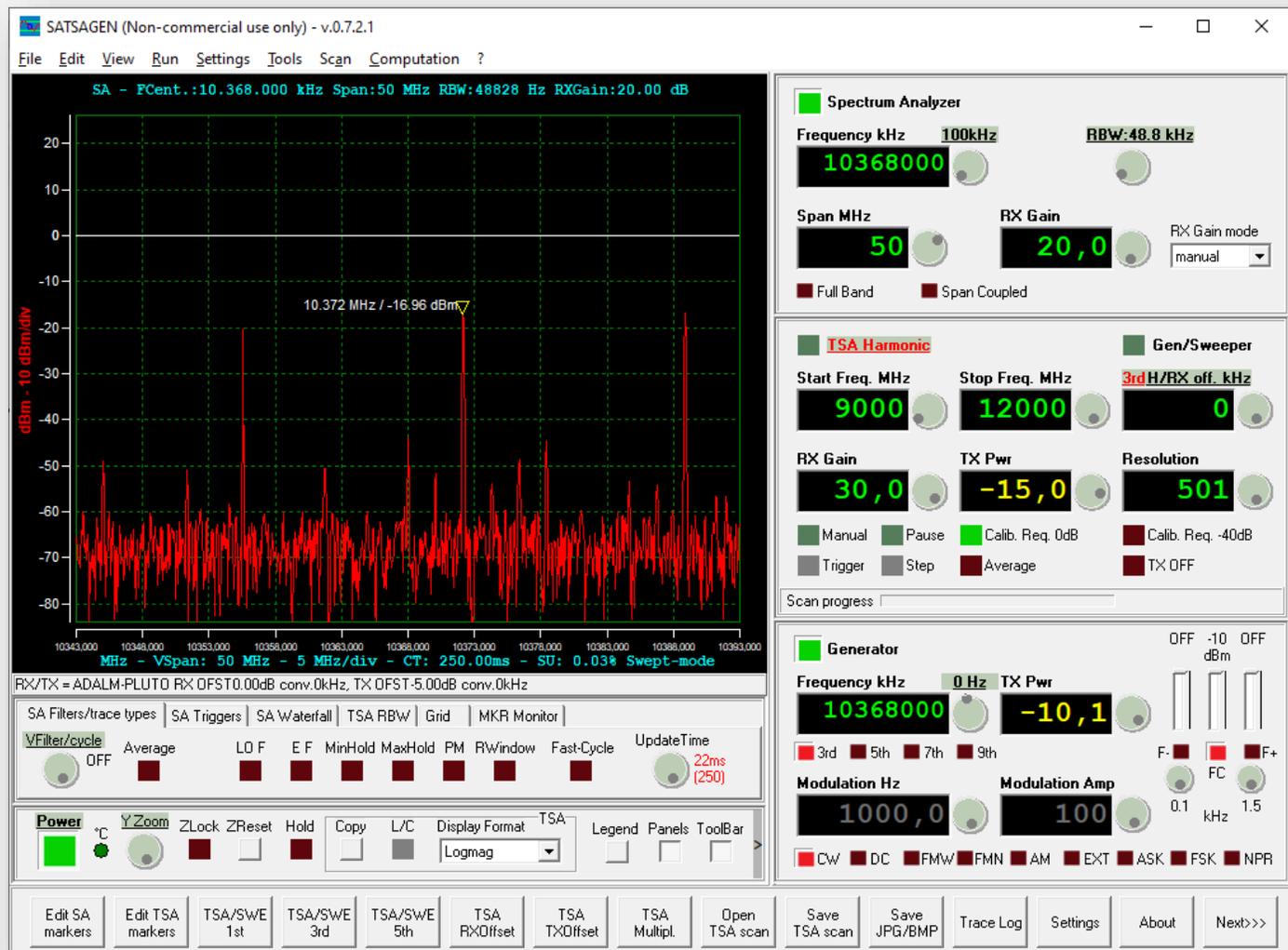
GNU Radio



ADALM PLUTO INSTRUMENTO DE MEDIDA

■ SATSAGEN

- *Analizador de Espectro*
- *Analizador Escalar S21 y S11 con Acoplador Direccional*
- *Analizador Vectorial (Requiere Rev. C)*



**INICIÁNDOSE EN MICROONDAS
CON ADALM PLUTO**

GRACIAS

y como siempre no dejéis de...

Experimentar, Aprender y Compartir



ADALM PLUTO ENLACES INTERESANTES



■ ADALM PLUTO Analog Devices Wiki

- **Información General:** <https://wiki.analog.com/university/tools/pluto>
- **Modelos:** <https://wiki.analog.com/university/tools/pluto/marketing>
- **Hardware, Esquemas, Gerbers:** <https://wiki.analog.com/university/tools/pluto/hacking/hardware>
- **Drivers PC:** <https://wiki.analog.com/university/tools/pluto/drivers/windows>
- **Descarga Firmware Analog:** <https://github.com/analogdevicesinc/plutosdr-fw/releases>
- **Instalación Firmware:** <https://wiki.analog.com/university/tools/pluto/users/firmware>
- **Ajustes Firmware:** <https://wiki.analog.com/university/tools/pluto/devs/booting>
- **Ajustes AD9363:** [https://wiki.analog.com/university/tools/pluto/users/customizing#updating to the ad9364](https://wiki.analog.com/university/tools/pluto/users/customizing#updating%20to%20the%20ad9364)
- **Información sobre AD936x: Información General:** <https://wiki.analog.com/university/tools/pluto>
- **Conexión Ethernet / WiFi:** https://wiki.analog.com/university/tools/pluto/usb_otg_host_function_support
- **Seminarios Analog:** <https://wiki.analog.com/sdrseminars>
- **Aplicaciones Python:** <https://analogdevicesinc.github.io/pyadi-iio/>
- **Ejemplos Python:** <https://github.com/analogdevicesinc/pyadi-iio/tree/master/examples>

ADALM PLUTO ENLACES INTERESANTES

- **F5OEO Firmware:** <http://websdr.is0grb.it/Pluto-DATV-Firmware-Patch/F5OEO-DATV-Firmware/2021/F5OEO-alpha-03-03-2021-Perseverance/>
- **Patch IS0GRB:** <http://websdr.is0grb.it/Pluto-DATV-Firmware-Patch/IS0GRB-DATV-Patch/Pluto-Rev.B/>
<http://websdr.is0grb.it/Pluto-DATV-Firmware-Patch/IS0GRB-DATV-Patch/Pluto-Rev.C-D/>
- **MAIA SDR Firmware:** <https://maia-sdr.org/>
- **SATSAGEN:** <http://www.albfer.com/en/2020/02/21/satsagen-2/>
- **Langstone Project:** https://wiki.microwavers.org.uk/Langstone_Project
- **Proyecto Pluto RTX_EA:** https://github.com/EA4BFK/IberRadio-Presentations-2016_2022/blob/master/IberRadio2022_EA4BFK_PlutoRTX_vf_PDF.pdf