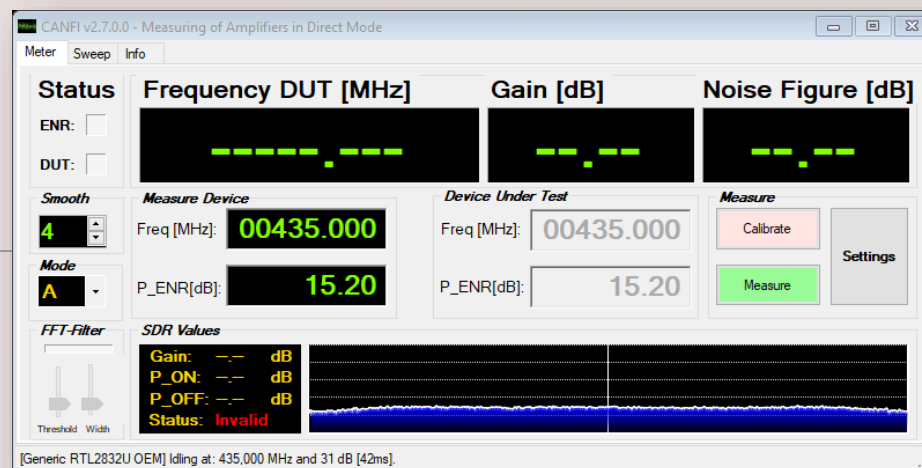


EL FACTOR DE RUIDO

¿Qué es y cómo medirlo?

Proyecto C.A.N.F.I



Alejandro Fernández – EA4BFB

Agenda

- Motivación
- El Ruido Térmico
- Relación Señal/Ruido, Factor de Ruido y Cifra de Ruido
- Cifra de Ruido y Temperatura Equivalente de Ruido
- ¿Cómo saber la Cifra de Ruido de mi receptor?
- Factor de Ruido de un conjunto de dispositivos
- ¿Cómo medir la Cifra de Ruido?
- ¿Qué es el ENR?
- Construyendo una Cabeza de Ruido
- Medidor CANFI
 - Hardware
 - Software
- Calibración de una Cabeza de Ruido
- Incertidumbre en las medidas de Cifra de Ruido
- Aprendizajes / Próximos pasos
- Agradecimientos
- Referencias y enlaces interesantes

Leyenda

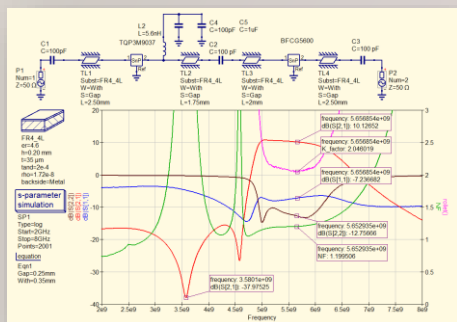
B = Magnitudes Lineales

G_{dB} = Magnitudes Logarítmicas

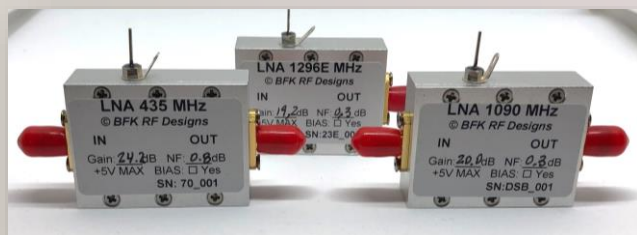
$\log G$ = Logaritmos en base 10

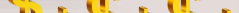

Motivación

- Trabajo en un diseño de LNA's conmutados para un transceptor de VHF/UHF/Microondas SDR basado en el Adalm Pluto
 - <https://www.youtube.com/watch?v=80r13qrW34c&t=138s>
 - https://micromet.org/MM/2021/MicroMeet2021-EA4BFBK-Pluto_RTX_EA_Diseño_de_RF_por_aficionados.pdf
- Evaluar prototipos de LNA's. Montaje vs. Simulación



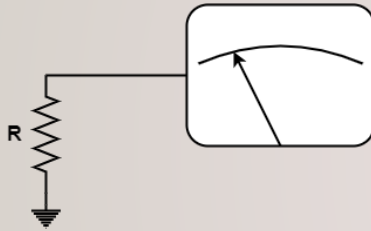
- Medidas de los LNA's finales



- Medidores profesionales 
- Mercado de 2ª mano de equipos profesionales  + Calibrado???
- Soluciones Amateur Disponibles (PANFI de los 90's / CANFI de 2015-18)

El Ruido Térmico

- Hay múltiples tipos de ruido, pero del que vamos a hablar es del **Ruido Térmico** generado en los amplificadores y otros circuitos de la cadena de recepción. Relevante desde VHF y en bandas superiores.
- Todos los materiales conductores generan **Ruido Térmico** debido al movimiento aleatorio de los electrones en los átomos del metal
- A temperatura ambiente = 17°C → **290K** la potencia de ruido generada por una resistencia R es:



$$P_{\text{noise (W)}} = k * B * T$$

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ Jul/K}$$

(Constante de Boltzman)

B = Ancho de Banda (Hz)

T = Temperatura (K)

- Transformando la potencia de W a dBm

$$P_{dBm} = 10 * \log(k * T * 10^3) + 10 * \log(B)$$

Para T=290K y B= 1 Hz

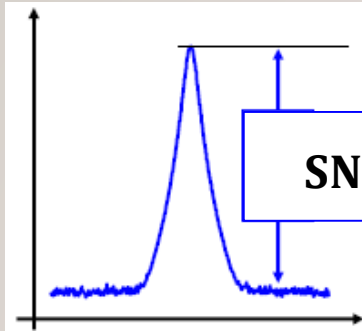
$$P_{dBm} = -174dBm$$

$$P_{dBm} = 10 * \log_{10}(P_W * 10^3)$$

(B)	10 * log(B)
500 Hz	27,0 db
2.400 Hz	33,8 dB
10.000 KHz	40,0 dB

- La potencia de ruido es independiente de R, pero el medidor debe tener una impedancia de entrada = R, para evitar reflexiones

■ Relación Señal Ruido **SNR** (*Signal to Noise Ratio*)



$$\text{SNR} = \frac{S}{N}$$

$$S/N_{dB} = 10 * \log S - 10 * \log N$$

$$S/N_{dB} = S_{dBm} - N_{dBm}$$

■ Factor de Ruido **F** (*Noise Factor*)

El Factor de Ruido de un dispositivo es la degradación que produce entre la relación señal/ruido de la entrada y la salida del mismo.



F siempre es mayor que 1

Cifra de Ruido y Temperatura Equivalente de Ruido

- Cifra de Ruido **NF** (*Noise Figure*)

La Cifra de Ruido es el Factor de Ruido expresado en decibelios

$$NF_{dB} = 10 * \log F$$

$$F = 10^{(\frac{NF_{dB}}{10})}$$

- Temperatura Equivalente de Ruido

Es otra forma de expresar el factor de ruido respecto a la temperatura estándar T_0 de 290K

$$T_e = 290 * (F - 1)$$

$$F = 1 + \frac{T_e}{T_0}$$

$$T_0 = 290K$$

Noise figure NF	Noise factor F	Noise temperature T_e
0 dB	1	0 K (absolute zero)
1 dB	1.26	75.1 K
3 dB	2.00	290 K
10 dB	10	2,610 K
20 dB	100	28,710 K

Es muy empleada sistemas de comunicación satelital y en Radioastronomía



OBSERVATORIO DE YEBES CENTRO DE DESARROLLOS TECNOLÓGICOS – IGN			
Apartado 148 19080 Guadalajara, SPAIN		Phone: Fax:	+34 949 29 03 11 +34 949 29 00 63
CRYOGENIC LNA DATA SHEET			DATE: 15/02/17
BAND:	32-38 GHz	S/N:	MQ 2001
MMIC:	IAF	Run:	740a
		Wafer:	11
		Cell:	30
ROOM TEMPERATURE DATA T = 288.2			
NOMINAL BIAS	$V_{g1} = 1.1$	$I_{g1} = 14.0$	$V_{g1} = 0.62$
	$V_{g2} = 1.1$	$I_{g2} = 14.0$	$V_{g2} = 1.1$
	$V_{g3,4} = 1.5$	$I_{g3} = 28.0$	$V_{g3} = 1.28$
COAXIAL MEASUREMENTS	FREQUENCY BAND: 31.0-50.0 32-38 33.5-34.5		
	AVERAGE NOISE TEMP: 191.3 176.7 178.2		
	AVERAGE GAIN: 26.9 28.9 28.9		
	MIN. INPUT RETURN LOSS: -8.9 -13.3 -13.5		
	MIN. OUTPUT RETURN LOSS: -8.8 -10.4 -12.5		

¿Cómo saber la Cifra de Ruido de mi receptor?

- La respuesta está en el Manual del equipo ☺

RECEIVER (Continued)	
TS-2000/TS-B2000	
Sensitivity	
Main: SSB/CW/FSK (S/N 10 dB)	Less than 4 µV (500 kHz ~ 1.705 MHz), Less than 0.2 µV (1.705 ~ 24.5 MHz), Less than 0.13 µV (24.5 ~ 30 MHz), Less than 0.13 µV (50 ~ 54 MHz), Less than 0.11 µV (144 ~ 146 MHz), Less than 0.11 µV (430 ~ 440 MHz), Less than 0.11 µV (1240 ~ 1300MHz)*
AM (S/N 10 dB)	Less than 31.6 µV (500 kHz ~ 1.705 MHz), Less than 2 µV (1.705 ~ 24.5 MHz), Less than 1.3 µV (24.5 ~ 30 MHz), Less than 1.3 µV (50 ~ 54 MHz), Less than 1.0 µV (144 ~ 146 MHz), Less than 1.0 µV (430 ~ 440 MHz), Less than 1.0 µV (1240 ~ 1300MHz)*
FM (12 dB SINAD)	Less than 0.22 µV (28 ~ 30 MHz), Less than 0.22 µV (50 ~ 54 MHz), Less than 0.18 µV (144 ~ 146 MHz), Less than 0.18 µV (430 ~ 440 MHz), Less than 0.18 µV (1240 ~ 1300MHz)*
Sub: AM (S/N 10 dB)	Less than 1.55 µV (144 ~ 146 MHz), Less than 1.55 µV (430 ~ 440 MHz)
FM (12 dB SINAD)	Less than 0.28 µV (144 ~ 146 MHz), Less than 0.28 µV (430 ~ 440 MHz)
Selectivity	
Main: SSB (Low: 300MHz, Hi: 2600MHz)	More than 2.2 kHz (-6 dB), Less than 4.4 kHz (-60 dB)
AM (Low:100MHz, Hi:3000MHz)	More than 6.0 kHz (-6 dB), Less than 12.0 kHz (-50 dB)
FM	More than 12.0 kHz (-6 dB), Less than 25.0 kHz (-50 dB)
FM (Narrow)	More than 8.0 kHz (-6 dB), Less than 20.0 kHz (-50 dB)
Sub: AM	More than 12.0 kHz (-6 dB), Less than 25.0 kHz (-50 dB)
FM	More than 12.0 kHz (-6 dB), Less than 25.0 kHz (-50 dB)

$$Sens_{(dBm)} = 10 * \log\left(\frac{(Sens_{(uV)} * 10^{-6})^2}{50} * 1000\right)$$

$$Sens_{(uV)} = 0,11$$



$$Sens_{(dBm)} = -126,16 \text{ dBm}$$

$$SNR_{(dB)} = 10 \text{ dB}$$

$$BW_{(Hz)} = 2200 \text{ Hz}$$



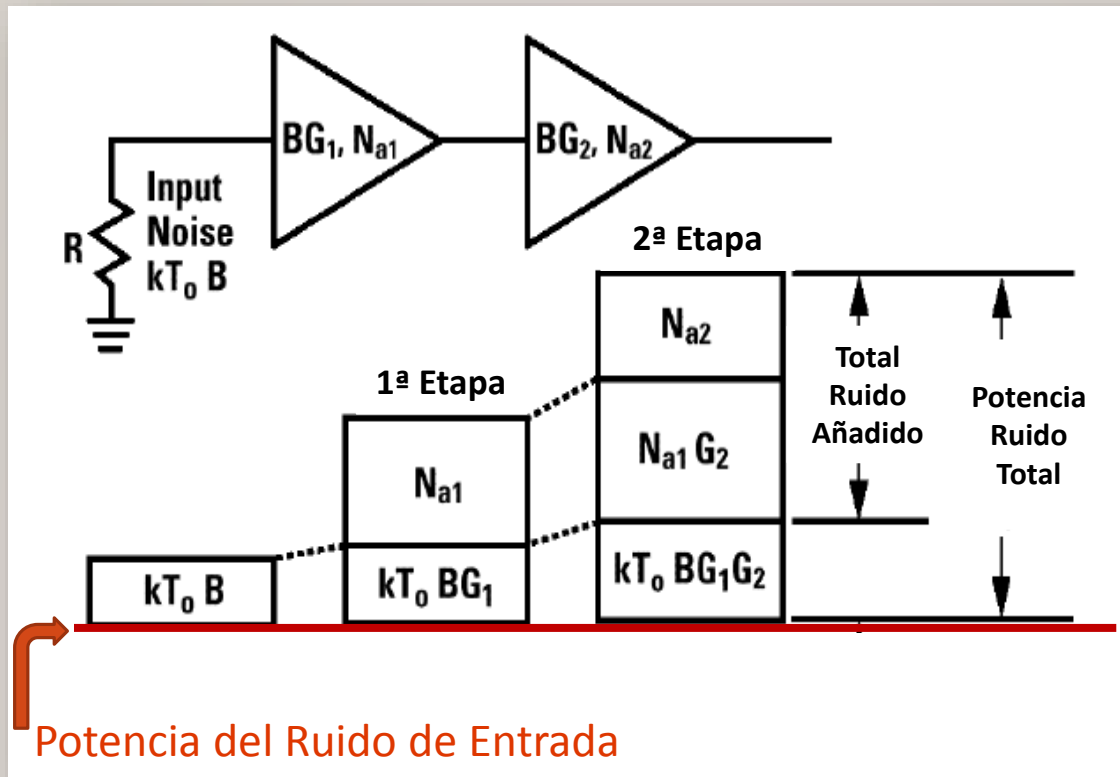
$$NF_{RX} = 174 + Sens_{(dBm)} - SNR_{(dB)} - 10 * \log(BW_{(Hz)})$$

$$NF_{RX} = 174 - 126,16 - 10 - 10 * \log(2200) = 4,41 \text{ dB}$$

- PREGUNTA:** Significa que si llega una señal de -126,16 dBm, la recibiré con 10dB de SNR?

No necesariamente, porque TAMBIEN HAY OTROS RUIDOS que llegan a la antena, si estos tienen más potencia, ese ruido establece el suelo del ruido de recepción

Factor de Ruido de un conjunto de dispositivos



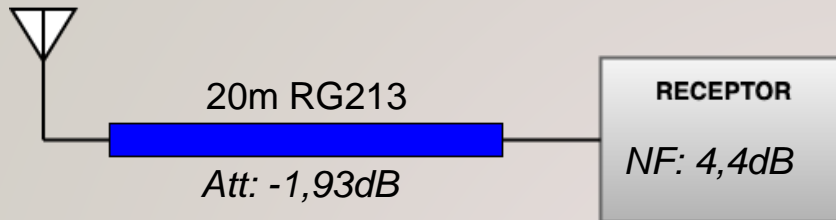
F, G, N son valores lineales no $dB's$

$$F_{\text{tot}} = F_1 + \frac{(F_2 - 1)}{G_1} + \frac{(F_3 - 1)}{G_1 G_2} + \frac{(F_4 - 1)}{G_1 G_2 G_3} + \dots$$

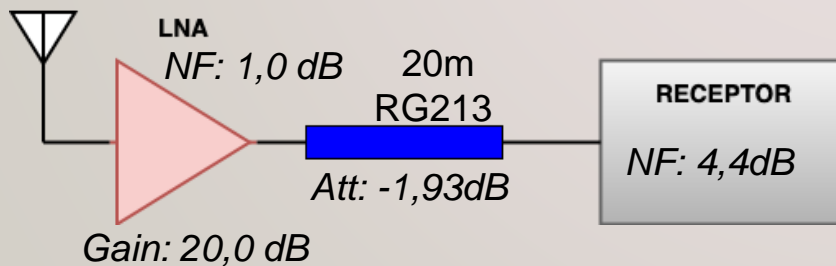
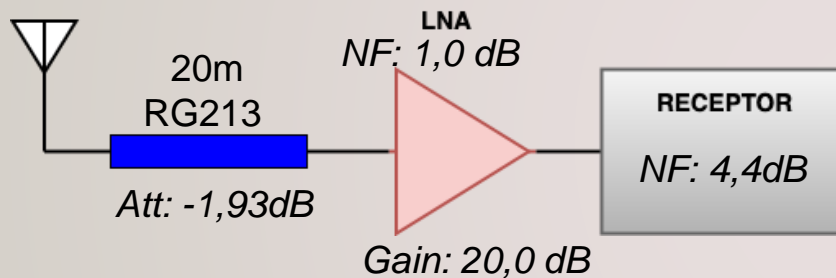
- El Factor de Ruido / Cifra de Ruido de un conjunto de dispositivos está fundamentalmente relacionado con el Factor de Ruido de la primera etapa y la ganancia de la misma

Factor de Ruido de un conjunto de dispositivos. Ejemplo

■ LNA para 145 MHz



A temperatura ambiente el NF_{dB} de un atenuador es igual a su atenuación en dB



$$G = 10^{\left(\frac{Gain_{dB}}{10}\right)}$$

$$F = 10^{\left(\frac{NF_{dB}}{10}\right)}$$

Etapas		dB	Lineal
1	Gain Coax	-1,9	0,6412
	NF Coax	1,9	1,5596

2	NF Rx	4,4	2,7542
---	-------	-----	--------

NF Sistema	6,33	4,2954
------------	------	--------

Etapas		dB	Lineal
1	Gain Coax	-1,9	0,6412
	NF Coax	1,9	1,5596

2	Gain LNA	20,0	100,0000
	NF LNA	1,0	1,2589

3	NF Rx	4,4	2,7542
---	-------	-----	--------

NF Sistema	2,99	1,9907
------------	------	--------

Etapas		dB	Lineal
1	Gain LNA	20,0	100,0000
	NF LNA	1,0	1,2589

2	Gain Coax	-1,9	0,6412
	NF Coax	1,9	1,5596

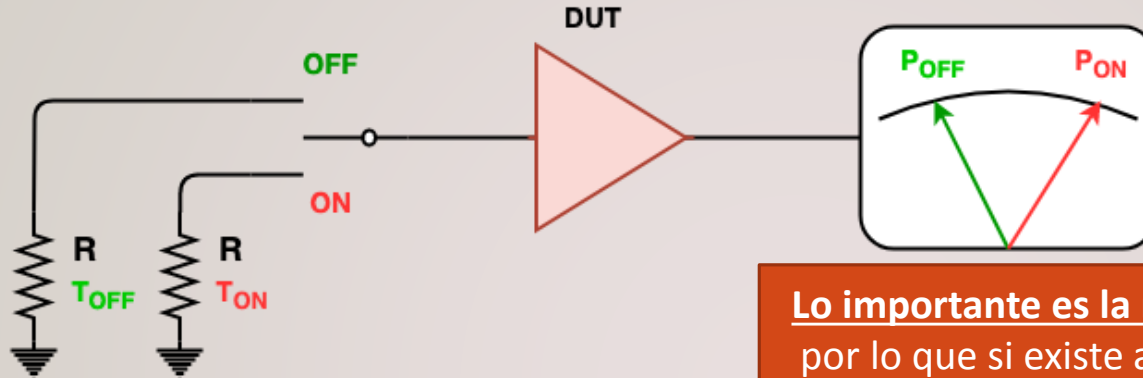
3	NF Rx	4,4	2,7542
---	-------	-----	--------

NF Sistema	1,11	1,2919
------------	------	--------

¿Cómo medir la Cifra de Ruido?

■ Empleando el método del **Factor Y**

Mediante un medidor de potencia medimos la potencia generada por una resistencia a dos temperaturas diferentes (P_{OFF} y P_{ON}) su cociente es el factor Y



$$Y = \frac{P_{ON}}{P_{OFF}}$$

Lo importante es la relación, no la medidas en si, por lo que si existe algún error en la medida y es igual en ambas medidas, la relación se mantiene

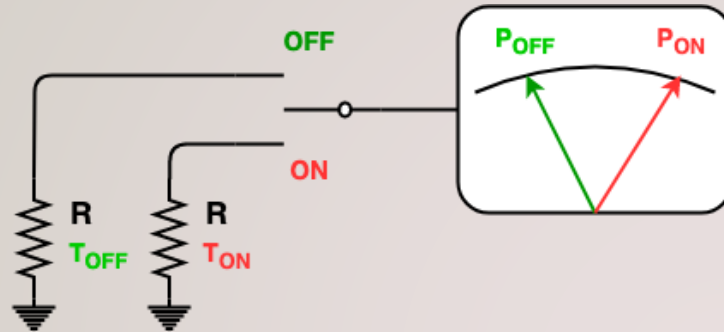
- Para evitar el “soplete” + “el termómetro” se emplean cabezas de ruido calibradas, donde la diferencia de potencia de ruido entre los estados OFF/ON es conocida para cada frecuencia. Eso es el **ENR_{dB}**



¿Qué es el ENR de una Cabeza de ruido?

■ ENR (Excess Noise Ratio)

Es la diferencia de potencia de ruido, medido en dB entre los estados OFF y ON de una generador de ruido calibrado respecto a la temperatura T_0 de 290K



$$ENR_{(dB)} = 10 \log\left(\frac{T_{ON} - T_{OFF}}{T_0}\right)$$

Si asumimos que T_{OFF} es igual a la temperatura ambiente T_0 el y el ancho de banda (B) es de 1 Hz

$$ENR_{(dB)} = P_{ON} (dBm/Hz) - 174 dBm/Hz$$

Ejemplo: Generador de ruido con $P_{ON} (dBm/Hz) = -159 dBm/Hz$

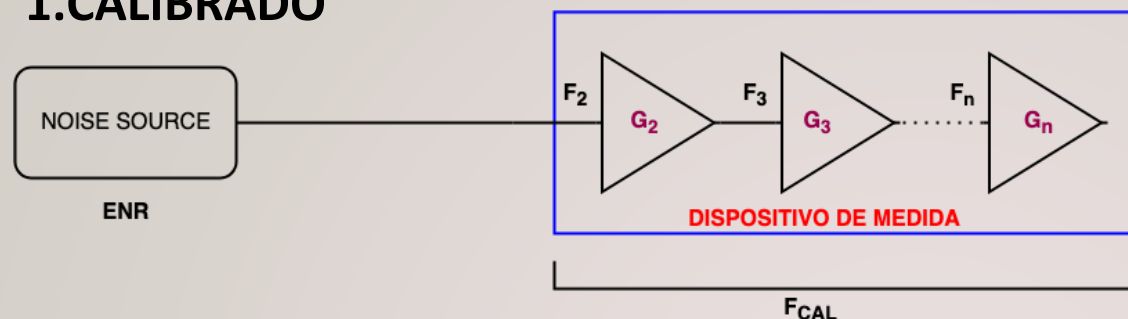
$$ENR_{(dB)} = 15 dB$$

■ La clave está en como medir potencias tan débiles, ... luego veremos como lo podemos hacer

¿Cómo Funciona un medidor de Cifra de Ruido?

- Con una cabeza de Ruido de ENR_{dB} conocida, medimos en dos pasos:

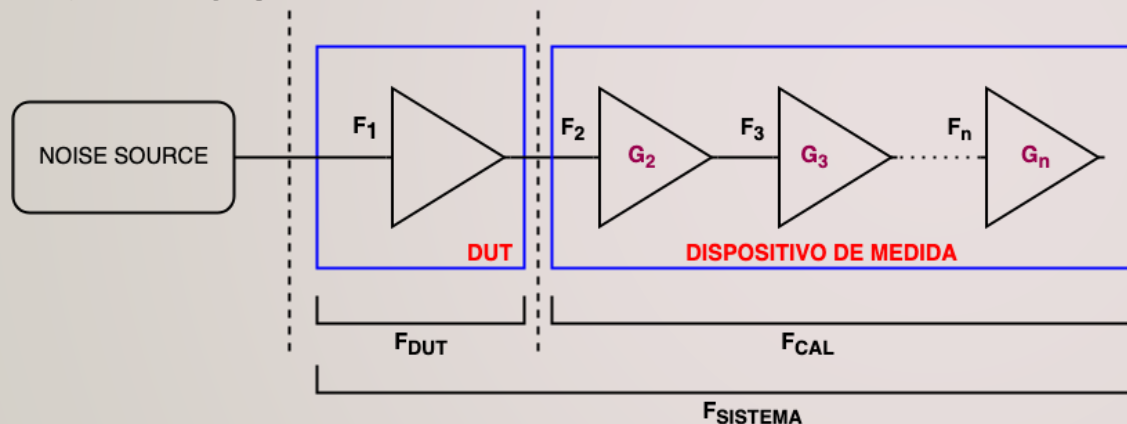
1. CALIBRADO



$$1 \quad Y_{CAL} = \frac{P_{CAL_ON}}{P_{CAL_OFF}}$$

$$2 \quad F_{CAL} = \frac{ENR_{CAL}}{Y_{CAL} - 1}$$

2. MEDICIÓN



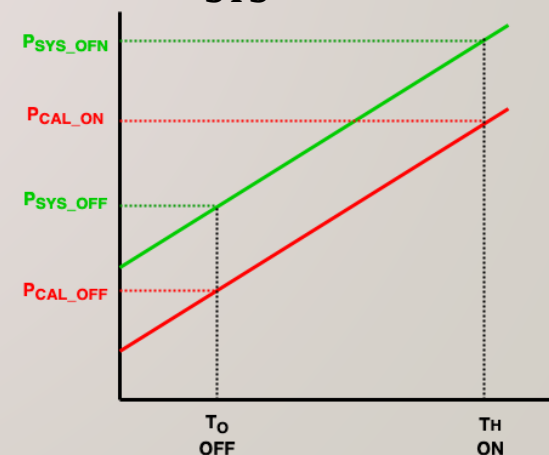
$$3 \quad Y_{SYS} = \frac{P_{SYS_ON}}{P_{SYS_OFF}}$$

$$4 \quad F_{SYS} = \frac{ENR_{CAL}}{Y_{SYS} - 1}$$

$$5 \quad G_{DUT} = \frac{P_{SYS_ON} - P_{SYS_OFF}}{P_{CAL_ON} - P_{CAL_OFF}}$$

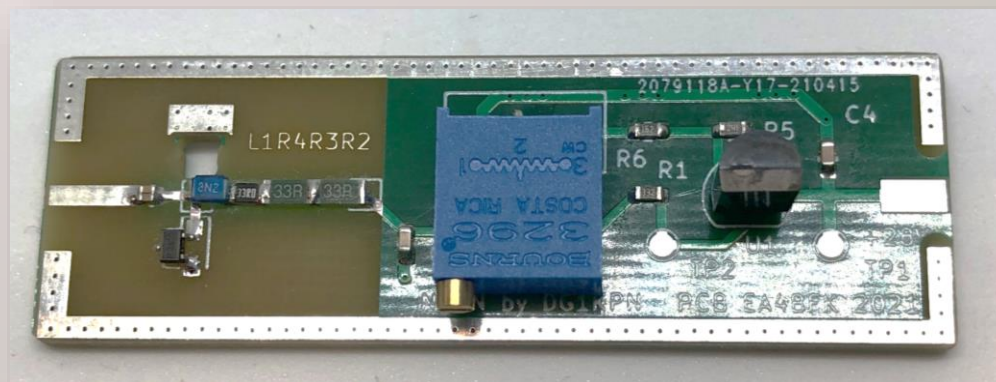
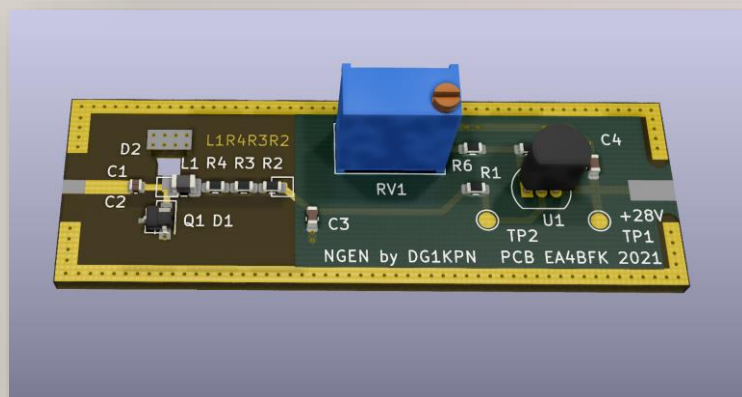
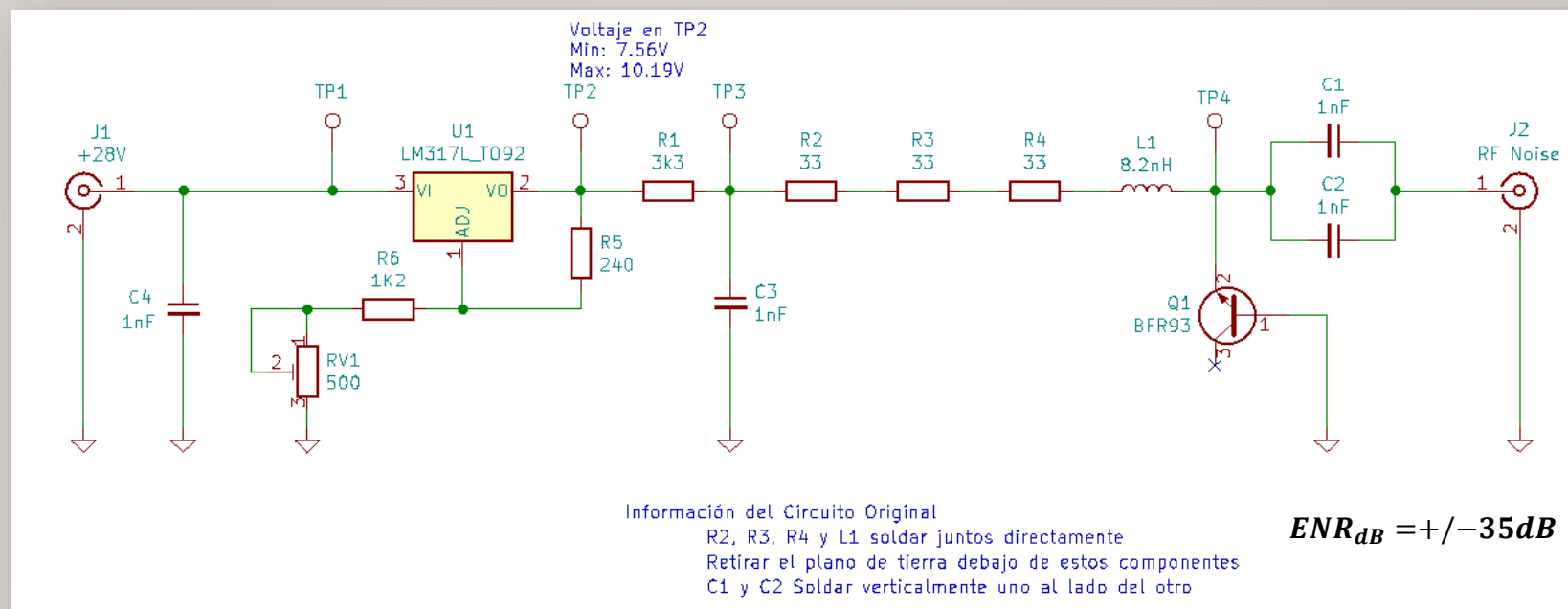
$$6 \quad F_{DUT} = F_{SYS} - \frac{F_{CAL} - 1}{G_{DUT}}$$

$F, G, P,$ y ENR son valores lineales no dB's



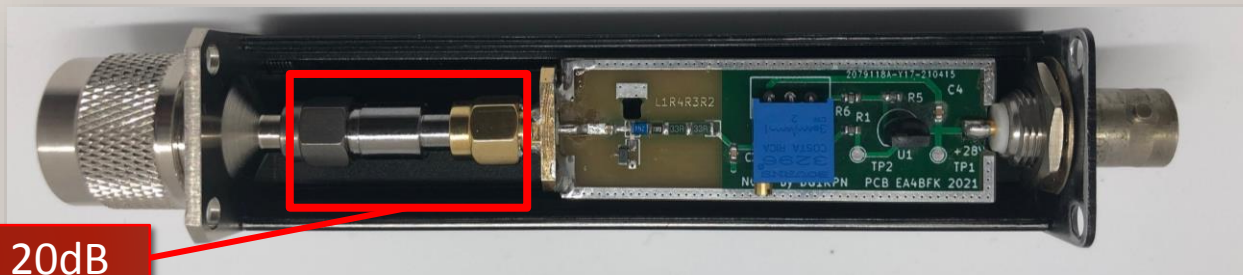
Cabeza de Ruido - Construcción

- Diseño de DG1KPN. Utilizable hasta 3 - 4 GHz



Cabeza de Ruido - Construcción

- Muy importante emplear un Atenuador de 20dB's para obtener el ENR adecuado (**15dB**) y un buen RL de la misma.

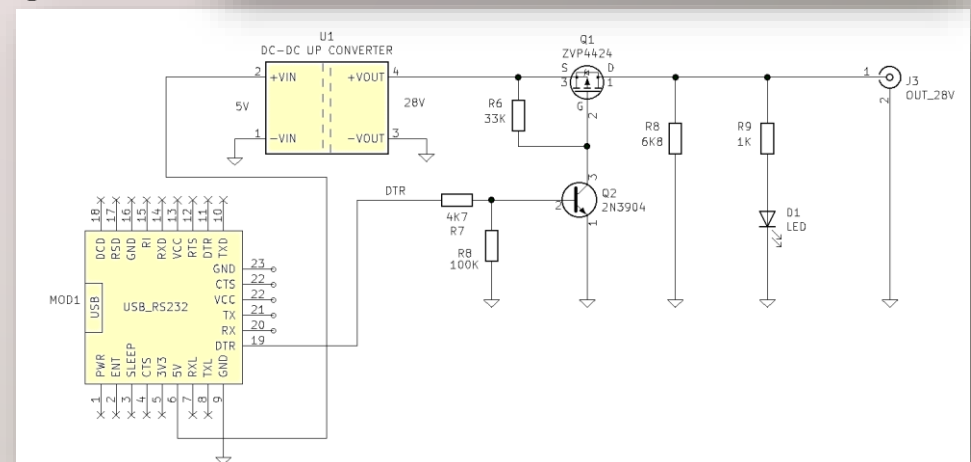
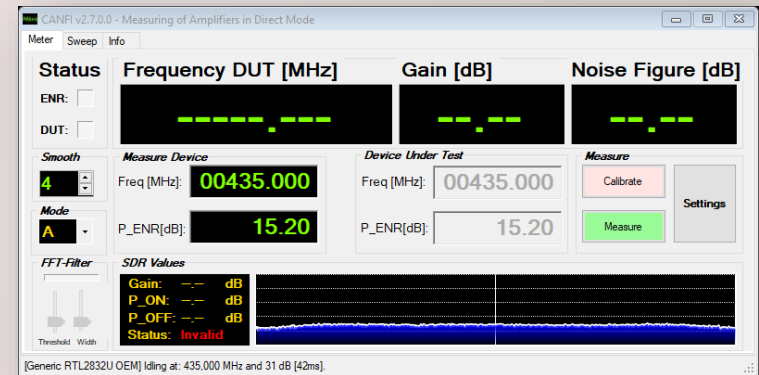
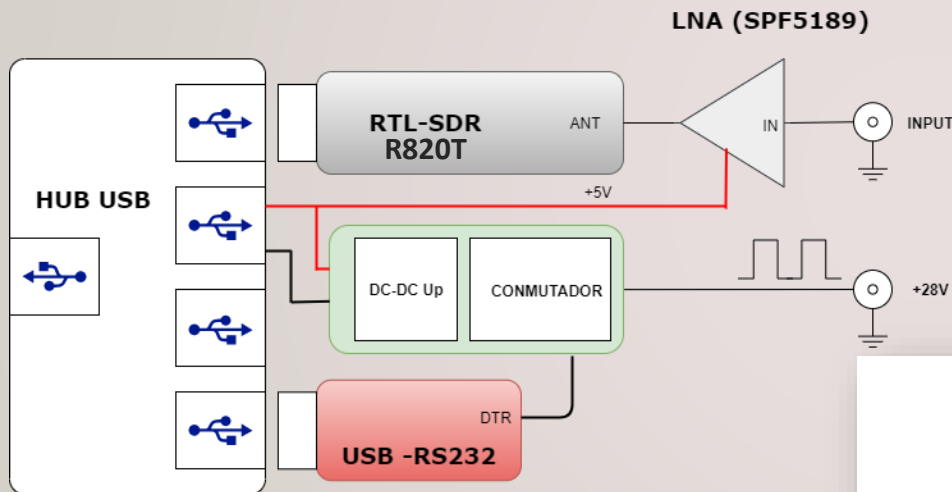


Atenuador 20dB



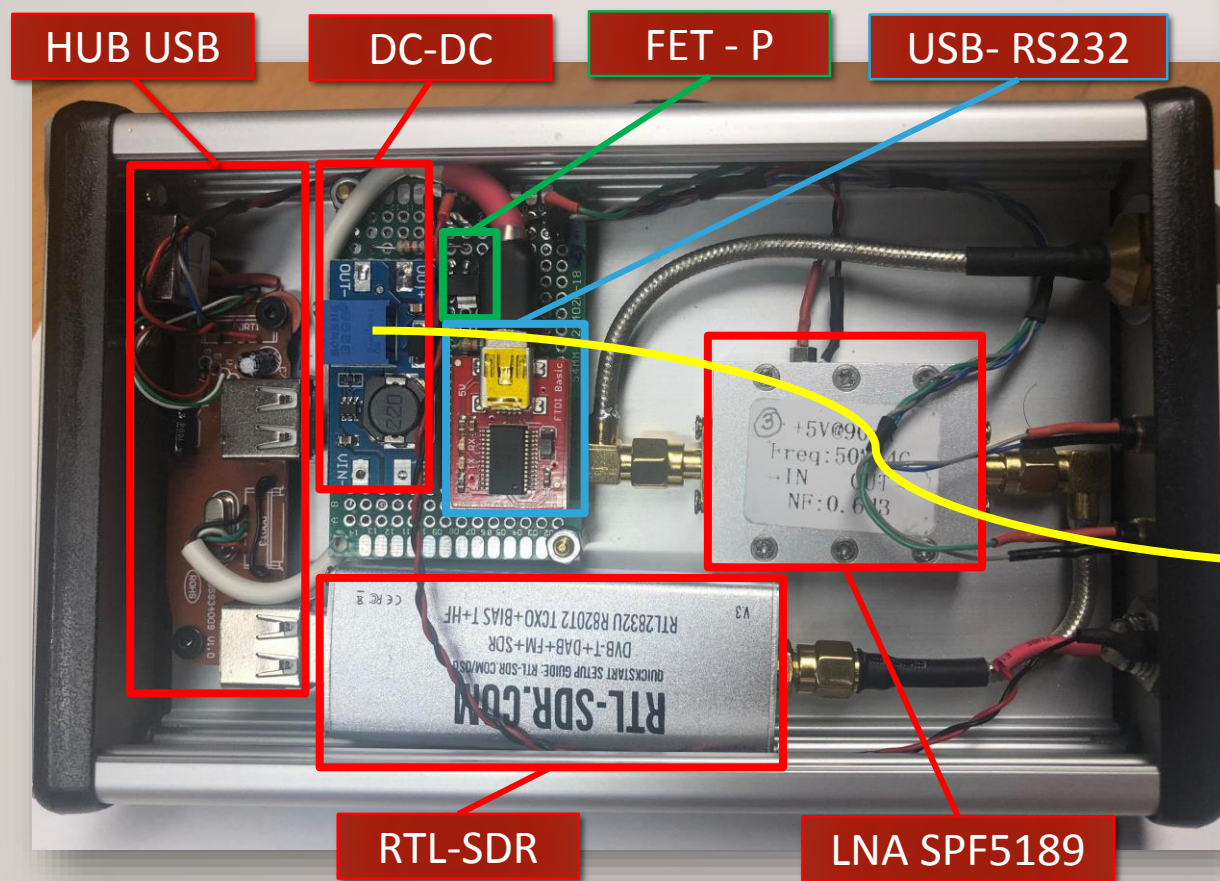
Medidor CANFI - Cheap Automatic Noise Figure Indicator

- Desarrollo de DL2ALF (Frank), DF9IC (Wolf) y DL8AAU (Alexander) basado en un RTL-SDR con sintonizador R820T y algunos circuitos accesorios (<http://www.canfi.eu/>)
- Sistema formado por Medidor y Software (Gratuito)
- Rango de Frecuencias utilizable 50 – 1600 MHz
- Compatible con cabezas de Ruido profesionales
- Tiene sus limitaciones (ie: rango dinámico), pero si las conoces es muy útil y te da una buena indicación de la Cifra de Ruido



Medidor CANFI - Hardware

- Componentes muy fáciles de encontrar
- Coste Total +/- 100€ incluyendo la caja Hammond
- Paneles disponibles 😊



Ajustar el
convertidor DC-DC
para salida 28V

Medidor CANFI - Software

- Descargar el zip desde la web del Proyecto CANFI
- Colocar la carpeta en el directorio deseado. No necesita instalación.
- Dependiendo del modulo USB-RS232 empleado quizás se necesario instalar los drivers. Windows lo suele hacer automáticamente.
- Crear un acceso directo a CANFI.exe

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
rtlsdr	01/09/2021 16:27	Carpeta de archivos	
Calibration.csv	01/09/2021 16:38	Archivo de valores...	1 KB
CANFI.exe	26/12/2015 10:28	Aplicación	118 KB
CANFI.exe.config	26/12/2015 10:24	Archivo CONFIG	11 KB
fftwlib.dll	19/12/2015 14:49	Extensión de la ap...	28 KB
HP346A_DL2ALF.cal	17/01/2015 11:21	Archivo CAL	1 KB
HP346B_DL2ALF.cal	17/01/2015 11:21	Archivo CAL	1 KB
libfftw3-3.dll	27/11/2015 17:54	Extensión de la ap...	2.177 KB
libfftw3f-3.dll	27/11/2015 17:54	Extensión de la ap...	2.259 KB
libfftw3l-3.dll	27/11/2015 17:54	Extensión de la ap...	1.093 KB
libusb-1.0.dll	16/01/2015 17:22	Extensión de la ap...	94 KB
LICENSE	16/12/2015 22:11	Archivo	70 KB
msvcr100.dll	16/01/2015 17:22	Extensión de la ap...	756 KB
R820T.tun	01/09/2021 16:35	Archivo TUN	2 KB
R820T.tun.default	05/09/2021 13:41	Archivo DEFAULT	2 KB
RTLBackgroundWorker.dll	26/12/2015 10:27	Extensión de la ap...	39 KB
RTLBackgroundWorker.pdb	26/12/2015 10:27	Archivo PDB	80 KB
Values.csv	05/09/2021 13:41	Archivo de valores...	0 KB
VersionInfo.txt	26/12/2015 10:27	Documento de te...	1 KB

No mover ni modificar.
Incluye una archivo dll
específico

Archivo con los datos de
CALIBRACIÓN
Se actualiza cada vez que
calibramos

Tabla con los datos de
CALIBRACIÓN de la CABEZA
de RUIDO (*Fácilmente
Editable*)

Archivo con los datos de las
medidas. Se añaden las
medidas que realizamos.
Se inicializa cada vez que
arrancamos la aplicación

MEDIDOR (Meter)

Activación de la Cabeza de Ruido

Suavizado de la Medida (4-9)

Modo
A: LNA Directo
B: Conversor
C: LNA c/conversor

Filtro FFT

Datos de Medida del SDR

RESULTADOS DE LA MEDIDA

CALIBRADO – NF del MEDIDOR
MEDICIÓN – NF del DUT

CANFI v2.7.0.0 - Measuring of Amplifiers in Direct Mode

Meter Sweep Info

Status

ENR: ☐

DUT: ☐

Smooth

4

Mode

A

FFT-Filter

Threshold Width

Measure Device

Freq [MHz]: 00435.000

P_ENR[dB]: 15.20

SDR Values

Gain: -- dB

P_ON: -- dB

P_OFF: -- dB

Status: Invalid

Device Under Test

Freq [MHz]: 00435.000

P_ENR[dB]: 15.20

Measure

Calibrate

Measure

Settings

[Generic RTL2832U OEM] Idling at: 435,000 MHz and 31 dB [42ms].

Selección del valor del ENR correspondiente a la FRECUENCIA en el Modo A

- Selección de la FRECUENCIA del DUT en Modo A
- Selección de la Frecuencia de salida (FI) del Conversor en los Modos B y C

Selección de la FRECUENCIA del DUT en los Modos B y C

Selección del valor del ENR correspondiente a la FRECUENCIA en los Modos B y C

AJUSTES (Settings)

- 1.- Seleccionar el RTL que corresponda si tenéis mas de uno conectado
- 2.- Seleccionar el COM que haya creado el Medidor al conectarse y seleccionar Seleccionar Noise Source **DTR** y marcar **Inv**
- 3.- Temperatura °C de la habitación + 273 (ej: 293 si estamos a 20°C)
- 4.- **Tuner Gain**

Permite cargar la tabla con los datos de CALIBRACIÓN de la CABEZA de RUIDO

The screenshot shows the 'Settings' window of the CANFI software. It is divided into several sections, each with a numbered annotation:

- 1. RTL-SDR Device:** A red box highlights the 'Device' section, showing 'R820T' selected and a dropdown menu for 'Generic RTL2832U OEM'.
- 2. COM Control:** A red box highlights the 'COM Port' and 'Noise Source' settings. 'COM13' is selected for the port, and 'DTR' is selected for the noise source, with the 'Inv' checkbox checked. Below this, the 'Switchover Delay [ms]' is set to 50.
- 3. Temperature Correction:** A red box highlights the 'Ambient Temperature [K]' field, which is set to 290.
- 4. RTL Measure Settings:** A red box highlights the 'Tuner Gain [dB]' field, which is set to 31.9, and the 'Auto' checkbox, which is unchecked.

Other visible settings include:

- RTL Measure Settings:** Sample Rate (2000000), Sample Count (100000), Smoothing Level (4).
- RTL Logging Settings:** Checkboxes for 'Log Calibration to File' and 'Log Measurement to File' are both checked.
- Tone Output Settings:** Output Mode (NONE), Output Interval (500 ms), Output Duration (100 ms), NF @ 0kHz (0.0 dB), NF @ 10kHz (10.0 dB), Gain @ 0kHz (0.0 dB), Gain @ 10kHz (40.0 dB).
- FFT Settings:** 'Display Spectrum in Realtime' is checked, and 'FFT-Filter' is set to NONE.
- Noise Source Calibration:** 'Enter Calibration Data Manually' is selected, and the 'Load' button is visible.

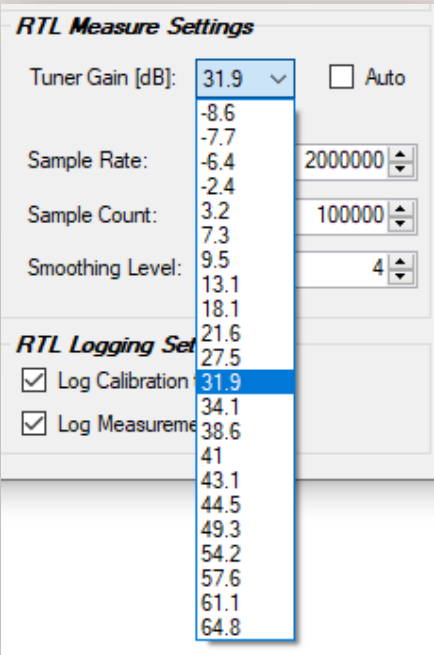
At the bottom, there is a logo for 'CANFI' and a copyright notice: '(C)heap (A)utomatic (N)oise (F)igure (I)ndicator (c) DF9IC, DL8AAU, DL2ALF'. There are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Ajuste del RTL Tuner Gain. Guía Inicial

- Debido a que la sensibilidad del RTL no es lineal en todo el rango de frecuencias y que la ganancia del LNA empleado en la entrada del CANFI tampoco lo es, la ganancia del RTL hay que adecuarla a cada rango de frecuencias, para obtener un calibrado adecuado
- Verificar durante el calibrado que se cumplen estos dos parámetros con la Ganancia seleccionada

Gain: -- dB
P_ON: -- dB
P_OFF: -- dB

- P_OFF debe ser mayor de **16.99 dB**
- NF del Medidor el menor posible ~ **5 - 6 dB**



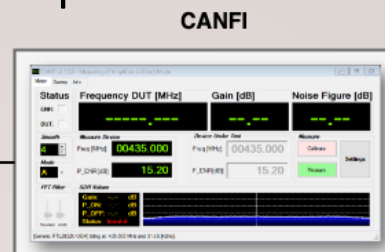
DATOS RTL Tuner Gain
considerando RTL-SDR + SPF5189 y Noise
Source con ENR 14-15 dB

Frecuencias (MHz)	Tuner Gain	NF del Medidor
50 – 150 MHz	21.1 dB	5.94 dB
400 - 450 MHz	21.6 dB	6.68 dB
900 – 1100 MHz	38.6 dB	6.39 dB
1296 MHz	43.1 dB	5.35 dB

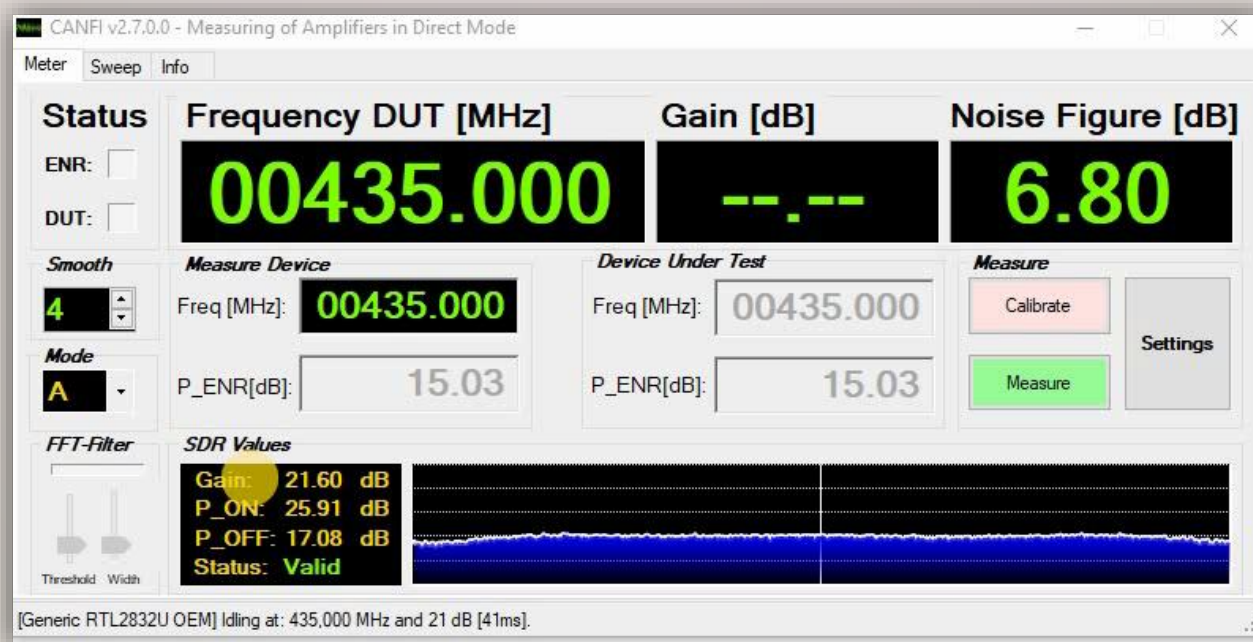
Medidor CANFI – Proceso de Medida - Calibración

1. Conectar la cabeza de Ruido al medidor empleando los cables y conectores que luego emplearemos para medir el **DUT**.

NOISE SOURCE
ENR = 15.20 dB



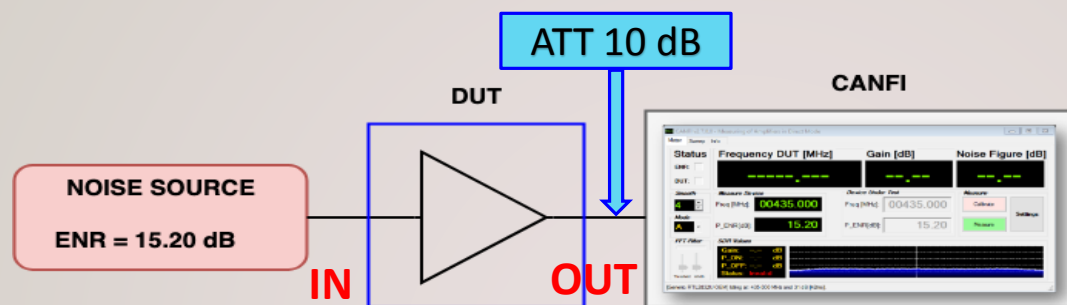
2. Introducir la Frecuencia del **DUT** que vamos a medir y el **ENR** correspondiente a esa frecuencia.
3. Seleccionar el Tuner Gain según la tabla anterior en función de la frecuencia
4. Pulsar **Calibrate** y en unos segundos se calibra y se detiene . La ventana NF nos indica el **NF del sistema de medida** y en **Gain** aparecerá **00.00**



Medidor CANFI – Proceso de Medida - Medición

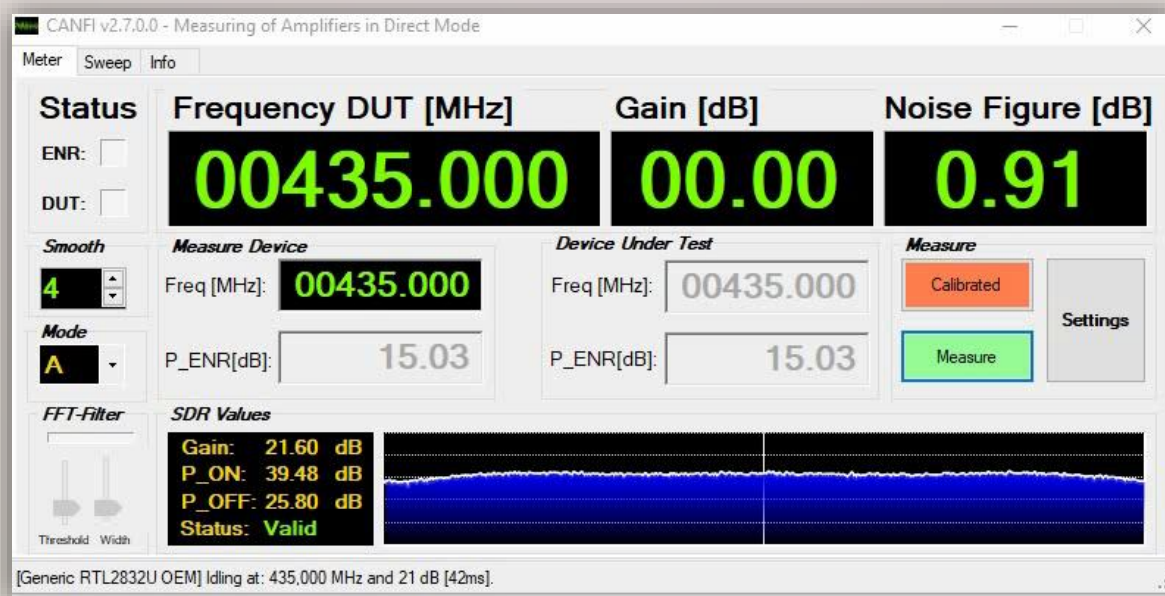
1. Conectar el DUT entre la cabeza de ruido y el medidor.

Si el DUT a medir tiene una ganancia superior a 15 dB es necesario poner un atenuador de 10 dB entre el DUT y el Medidor para evitar que se sature.



Rango
Dinámico
del RTL

2. Pulsar **Measure** en unos segundos se estabiliza y podemos leer la **Ganancia** y la **Cifra de Ruido** del DUT.



GANANCIA
REAL

14.0 dB
+ 10.0 dB
24.0 dB

BARRIDO (*Sweep*)

MEDIDA de NF

MEDIDA de GANANCIA

Diagram

Measure Device	Device Under Test	Sweep	Measure
Start [MHz]: 00410.000	Start [MHz]: 00410.000	Mode: SINGLE	Calibrated
Stop [MHz]: 00471.000	Stop [MHz]: 00471.000	NF[dB]: ____	Measure
Step [MHz]: 00001.000	Step [MHz]: 00001.000	Gain[dB]: ____	

[Generic RTL2832U OEM] Idling at: 410,000 MHz and 21 dB [42ms].

Selección del rango de Frecuencias y Paso

Selección de Barrido
SINGLE: 1 Barrido
CONTINUOS: Barrido Continuo

■ OPCIÓN 1. Comparación con una Cabeza de Ruido Calibrada y usando el Medidor CANFI

- Calibrar* con la Cabeza de Ruido de ENR conocido ($ENR_{CAL} (dB)$) y anotar NF ($NF_{CAL}(dB)$)
- Volver a Calibrar con la Nueva Cabeza de Ruido sin cambiar nada y Anotar NF ($NF_{NEW}(dB)$)
- Calculo del ENR de la cabeza de Ruido Nueva ($ENR_{NEW}(dB)$)

$$ENR_{NEW}(dB) = ENR_{CAL} (dB) + NF_{CAL}(dB) - NF_{NEW}(dB)$$

FREQ (MHz)	Gain	ENR CAL	NF CAL	NF NEW	ENR NEW
50	27,5	15,32	4,57	5,52	14,4
70	27,5	15,28	2,72	4,03	14,0
100	27,5	15,22	1,78	3,54	13,5
137	27,5	15,20	1,90	3,40	13,7
145	27,5	15,19	1,92	3,40	13,7
250	27,5	15,14	1,82	2,79	14,2
403	27,5	15,05	3,11	3,00	15,2
435	27,5	15,03	3,22	3,52	14,7
600	31,9	14,93	3,29	3,26	15,0
1000	38,6	14,69	5,69	4,31	16,1
1000	41,0	14,69	3,58	2,10	16,2
1090	41,0	14,67	4,55	2,68	16,5
1296	43,1	14,61	5,65	2,93	17,3
1400	43,1	14,59	7,58	4,59	17,6
1600	44,5	14,54	8,83	5,58	17,8

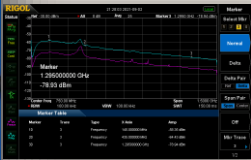
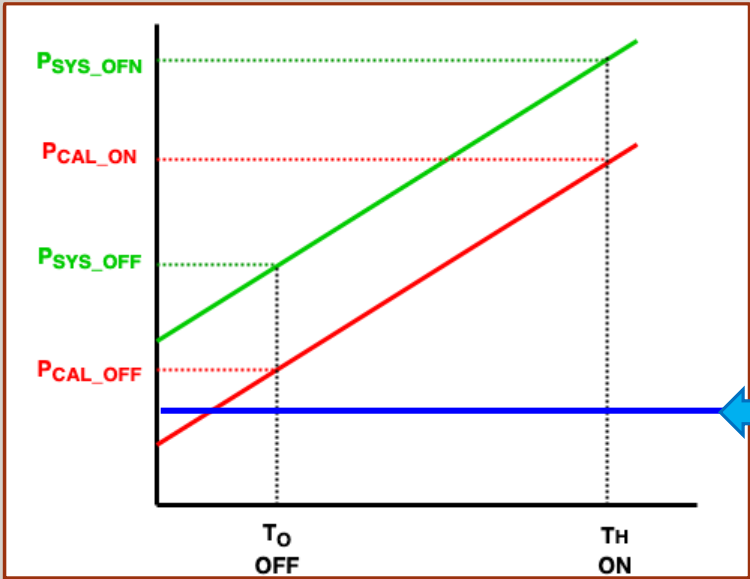
Tabla de Calibrado
vs Keysight 346C



(*) Ajustar el RTL-SDR Gain en la calibración de la Cabeza de ENR conocido ($ENR_{CAL} (dB)$) para que $P_{ON} > 16.99dB$ y el NF del medidor ($NF_{CAL}(dB)$) sea el menor posible

Calibración de una Cabeza de Ruido

- **OPCIÓN 2.** Usando el **Factor Y** con un Analizador de Espectro y un LNA de banda ancha y ganancia >30dB y de NF conocido en las frecuencias de interés



- El $NF_{LNA} (dB)$ muy aproximado se puede obtener del data sheet del dispositivo
- Medir los valores de P_{OFF} y P_{ON} para cada frecuencia de interés

$$ENR_{(dB)} = NF_{LNA} (dB) + 10 \log\left(\frac{P_{ON}}{P_{OFF}} - 1\right)$$

P_{OFF} y P_{ON} son valores lineales no dB's

Factor Y

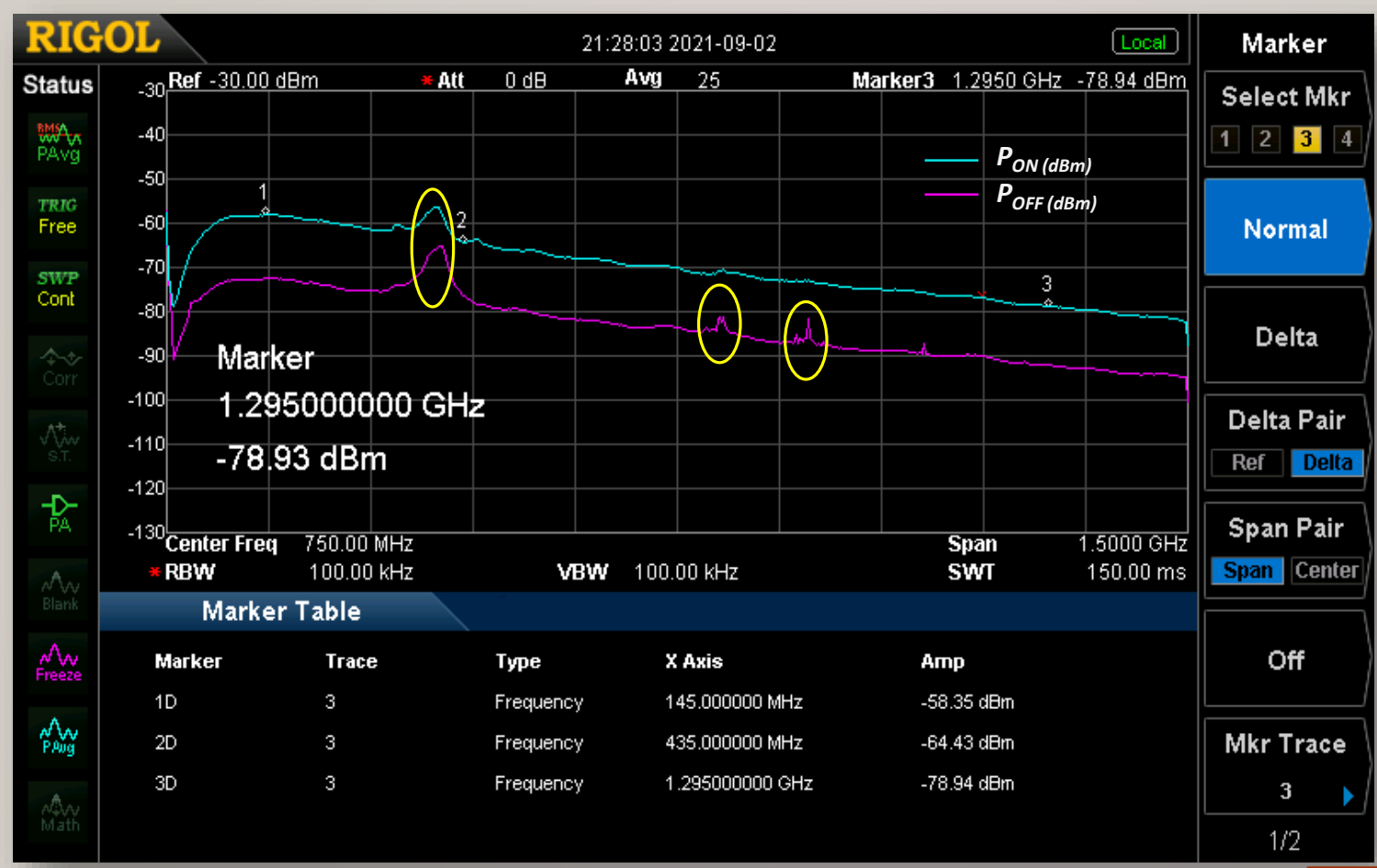
MMIC Amplifier PSA4-5043+ Typical Performance Data

NOTE: Use PDF Bookmarks to view DATA at required conditions
 Definitions:
 Input Return Loss = -S11 (dB)
 Gain(Power Gain) = S21 (dB)
 Reverse Isolation = -S12 (dB)
 Output Return Loss = -S22 (dB)

TEST CONDITIONS: RF Input Power = -25dBm, Vd = 5.00V, Id = 58.6mA @ Temperature = 25degC

FREQ (MHz)	Gain (dB)	Isolation (dB)	Input Return Loss (dB)	Output Return Loss (dB)	Stability K	Measure	IP-3 Output (dBm)	1dB Comp. Output (dBm)	Noise Figure
50	25.55	29.50	8.40	15.44	0.97	0.71	32.94	19.82	0.64
60	25.36	29.61	8.79	16.44	1.00	0.73	33.24	20.01	0.64
70	25.26	29.10	9.28	17.63	1.00	0.68	33.07	20.01	0.58
80	25.17	28.94	9.57	18.66	1.01	0.67	32.74	19.80	0.62
90	25.09	28.92	9.81	19.42	1.02	0.66	32.71	19.77	0.64
100	25.04	28.85	9.97	20.01	1.03	0.66	32.64	19.63	0.61
150	24.77	28.63	10.53	21.37	1.04	0.65	32.64	19.96	0.56
200	24.47	28.65	10.80	20.85	1.07	0.67	32.85	19.64	0.59
250	24.14	28.62	11.03	20.03	1.09	0.68	32.83	19.85	0.53
300	23.78	28.40	11.27	19.05	1.10	0.69	33.04	19.75	0.66
350	23.39	28.21	11.48	18.34	1.11	0.70	33.04	19.54	0.64
400	23.00	28.00	11.63	17.66	1.12	0.71	33.22	19.61	0.64
450	22.59	27.78	11.85	17.13	1.13	0.72	33.65	19.94	0.65
500	22.17	27.55	12.02	16.72	1.14	0.73	33.45	20.11	0.65

Calibración de una Cabeza de Ruido



CUIDADO CON LAS INTERFERENCIAS DURANTE LA MEDICIÓN

- Otros métodos
 - Midiendo LNA's de frecuencias y NF conocidos y ajustando el valor de ENR hasta que coincida la medida entre ambas cabezas de ruido

Configuración del SA
Rango: 0 – 1500MHz
RBW: 100KHz
PA: ON // Att: 0dB
Detector: RMS
Trace Avg: 25

Evaluación de la incertidumbre de la medida de NF

- Todas las mediciones tienen incertidumbre de medida y la medida de NF es especialmente sensible a diversos factores, si los conocemos podemos mantener el nivel de incertidumbre entre límites razonables.
- Factores a considerar para minimizar la incertidumbre
 - APAGAR cualquier equipo que genere RF (Móvil, Equipo de Radio, etc)
 - Conectores y coaxiales empleados. Los mínimos y los mejores que nos podamos permitir. Cambiar lo mínimo entre la CALIBRACIÓN y la MEDICIÓN. Usar H-H en calibración en lugar del DUT
 - Verificar que se cumplen siempre las siguientes reglas*:

$$\text{Measurement Uncertainty} = \sqrt{\left(\frac{F_{\text{DUT}}}{F_{\text{REF}}} \Delta F_{\text{DUT,ref}}\right)^2 + \left(\frac{F_{\text{DUT}}}{F_{\text{REF}}} \Delta F_{\text{DUT,ref}}\right)^2 + \left(\frac{F_{\text{DUT}}}{F_{\text{REF}}} \Delta F_{\text{DUT,ref}}\right)^2 + \left(\frac{F_{\text{DUT}}}{F_{\text{REF}}} \Delta F_{\text{DUT,ref}}\right)^2}$$

$$ENR_{(dB)} - NF_{MEDIDOR(dB)} > 3dB$$

$$ENR_{(dB)} - NF_{DUT(dB)} > 5dB$$

$$NF_{DUT(dB)} + G_{DUT(dB)} - NF_{MEDIDOR(dB)} > 1dB$$

*Rohde-Schwarz Noise Measurements Guide

- Noise Source con buena adaptación a 50Ω, tanto en OFF / ON y conocer su RL.
- Conocer el RL del Dispositivo a Medir, tanto en la entrada como en la salida.
*Fáciles de medir con un nanoVNA (**RL In**= dB([S1,1]) **RL Out** = dB([S2,2]))*
- Emplear el programa gratuito de R&S de evaluación de Incertidumbre

Evaluación de la incertidumbre de la medida de NF

- El software gratuito de R&S permite evaluar la incertidumbre de la medida de NF en función de diversos parámetros del sistema empleado

The screenshot shows the Rohde & Schwarz Noise Figure and Uncertainty Calculator 3.30 interface. The main window is divided into several sections:

- Noise Source:** ENR is 15.03 dB. Output Match is VSWR 1.07. Ambient Temp is 23 C. ENR Uncertainty is 0.1 dB.
- DUT:** Input Match is 10. Output Match is 32.26. Freq is 0.435 GHz. NF is 0.9 dB. Gain is 24 dB.
- Analyzer:** Analyzer Input Match is 15.56. Analyzer Noise is 6.8 dB. Net Analyzer NF is 6.80 dB.
- NF Measurement Uncertainty:** This section is highlighted with a red box and shows a result of ± 0.15 dB.
- Measurement Guidelines:** Provides formulas for ENR, NF_{sa}, and NF_{dut}.
- Calibration:** Shows NS On (-98.364 dBm) and NS Off (-107.2 dBm) values.
- Measurement:** Shows NS On (-74.806 dBm) and NS Off (-89.047 dBm) values.

The Rohde & Schwarz logo is visible at the bottom left.

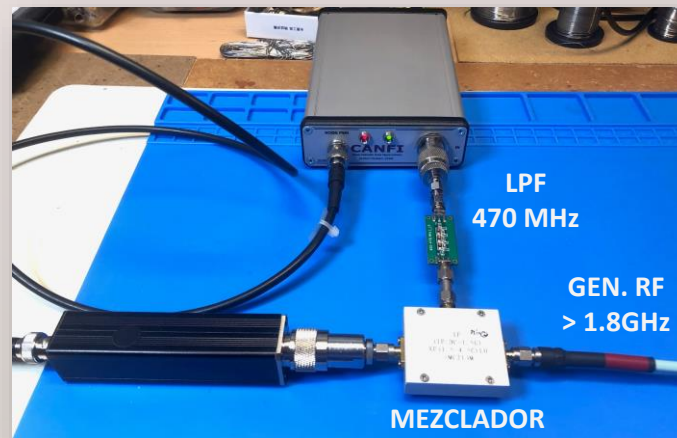
- También permite emplear como medidor de NF un Analizador de Espectro.

Aprendizajes / Próximos pasos

- Las medidas de NF son delicadas (incertidumbre), pero no imposibles para los aficionados si se tienen en cuenta los detalles
- La solución CANFI te permite comparar LNA's sin dificultad, para identificar el mejor, aunque la medida no sea exactamente igual a la realizada con equipos profesionales
- No hay que obsesionarse con el NF en VHF / UHF, a veces el ruido externo es el problema no el NF del LNA
- Los LNA's suelen estar diseñados, para un Impedancia de 50 Ω resistivos, en cuanto los conectas a la antena de verdad, su NF casi seguro será distinto
- Si instalas LNA's hay que hacerlo junto a las antenas y asegurándote de tener la antena ajustada para una ROE 1:1 o lo mejor posible para que el NF sea el previsto

Próximos Pasos

- Acabar de probar el sistema mezclador para medidas > 1600 MHz y montarlo correctamente en caja blindada



Agradecimientos

- Comité Organizador de IberRadio 2021
- José Ignacio (EA1AWV)
- Manel (EA1BLA)
- Luis (EA4BGH)
- Los desarrolladores de Proyecto CANFI
- Los **Radiotrastornados** de la Microondas (micromeet.org)
- Y a un sinfín de Colegas, que me animan a seguir experimentando

- Y no dejéis de

Experimentar, Aprender y Compartir



GRACIAS

Referencias y Enlaces de interés

■ Proyecto Pluto RTX EA

- Video de la Presentación <https://www.youtube.com/watch?v=80r13qrW34c&t=138s>
- Presentación: <https://micromeet.org/MM/2021/MicroMeet2021-EA4BFK-Pluto RTX EA Diseno de RF por aficionados.pdf>

■ Proyecto CANFI

- Web del Proyecto <http://www.canfi.eu/>
- Construcción de YO4HFU <https://www.qsl.net/yo4hfu/CANFI.html>
- Construcción de DL2KHP <http://www.dl2khp.de/projekte/noise-figure-meter.html>

■ Entendiendo la Cifra de Ruido

- <https://www.qsl.net/va3iul/Noise/Understanding%20Noise%20Figure.pdf>

■ HP Notas de Aplicación

- AN 57-1 http://hparchive.com/Application_Notes/HP-AN-57-1.pdf
- AN 57-2 http://hparchive.com/Application_Notes/HP-AN-57-2.pdf

■ Agilent Notas de Aplicación (2010)

- AN 57-1 <https://www.changpuak.ch/electronics/downloads/5952-8255E.pdf>
- AN 57-2 https://d3fdwrtpsindh7j.cloudfront.net/Docs/datasheet/hp_346a.pdf

■ Keysight Notas de Aplicación

- Noise Figure Measurement <https://www.keysight.com/es/en/assets/7018-06808/application-notes/5952-8255.pdf?success=true>
- 10 Hints <https://www.keysight.com/es/en/assets/7018-06795/application-notes/5980-0288.pdf?success=true>

■ Rohde & Schwarz Notas de Aplicación y Software

- AN5280 y Software https://www.rohde-schwarz.com/es/aplicaciones/t-cnica-de-factor-y-para-medidas-del-factor-de-ruido-nota-de-aplicacion_56280-15484.html

■ Calculador de NF de Rx's

- <https://owenduffy.net/calc/RxSensitivityCalc.htm>

■ G8FEK Noise Sources

- <https://g8fek.com/index.html#>

■ Materiales Noise Head y CANFI

- RTL SDR <https://es.aliexpress.com/item/32939551915.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.274263c02byVPS>
- Caja Noise Head <https://es.aliexpress.com/item/33056333494.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.274263c02byVPS>
- Atenuadores https://es.aliexpress.com/item/32970659006.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6c61757bDleu5k&algo_pvid=f5224c93-31e9-450f-aa50-94eddc6e609c&algo_exp_id=f5224c93-31e9-450f-aa50-94eddc6e609c-2