

Sistemas de Comunicaciones basados en Radio Definida por Software (SDR)

Dr. Ing. Alejandro José Uriz

Elementos complementarios de un sistema de comunicaciones

Elementos complementarios de un sistema SDR

Un sistema de comunicaciones está compuesto por varios subsistemas. Si bien el paradigma SDR reduce la cantidad de hardware, sigue siendo necesario.

Elementos complementarios de un sistema SDR

Se estudiarán los subsistemas complementarios que debería tener un dispositivo SDR para convertirse en un prototipo con un determinado nivel de madurez tecnológica (TRL).

Por lo antes descripto, si al menos deseamos obtener un TRL 4, 5 ó 6, debemos montar un prototipo que además del SDR incluya los subsistemas más importantes de un sistema de comunicaciones.

Niveles de TRL

TRL 1 – Principios básicos observados e informados.

TRL 2 – Investigación aplicada: se formula el concepto de la tecnología y/o su aplicación.

TRL 3 – Prueba experimental de concepto.

TRL 4 – Tecnología validada en laboratorio.

TRL 5 – Tecnología validada en un entorno relevante.

TRL 6 – Tecnología demostrada en un entorno relevante.

TRL 7 – Demostración del prototipo del sistema en un entorno operativo.

TRL 8 – Sistema completo y calificado.

TRL 9 – Sistema real probado en el entorno operativo (fabricación competitiva en el caso

Cálculo del enlace

El primer paso del diseño consiste en un análisis de factibilidad. Es decir, determinar en el caso de que nuestro sistema actúe como receptor la sensibilidad que deberá tener el mismo (mínima señal a recibir) o en el caso de que actúe como transmisor la potencia de salida mínima que deberá tener para que la información sea recibida en el otro extremo.

Cálculo del enlace

Para ello, utilizar una ecuación que considera las ganancias y las pérdidas de cada componente del sistema para determinar la sensibilidad de un receptor (conociendo la potencia transmitida) o la potencia del transmisor, partiendo de la sensibilidad del receptor. También las restantes componentes del radioenlace podrían ser incógnitas o variables.

Cálculo del enlace

Si se dispusiera de la potencia radiada del emisor,
solo sería

Cálculo del enlace

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{RX} + G_{TX} - 20 \log(d) - 20 \log(f) + 147$$

P_{RX} : Potencia recibida expresada en dBm.

P_{TX} : Potencia transmitida expresada en dBm.

G_{RX} : Ganancia de la antena utilizada para recepción expresada en dBi.

G_{TX} : Ganancia de la antena utilizada para transmitir expresada en dBi.

d : Distancia entre las antenas expresada en metros.

f : Frecuencia de operación del enlace en Hz.

Cálculo del enlace

La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) es la cantidad de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica (es decir, aquella que distribuye la potencia exactamente igual en todas direcciones) para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena. En esto se asume un diagrama isotrópico donde el valor radiado es el mismo en todas direcciones y es igual al valor máximo de potencia radiada de la antena.

Cálculo del enlace

La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente tiene en cuenta las pérdidas de la línea de transmisión y en los conectores e incluye la ganancia de la antena. La PIRE se expresa habitualmente en decibeles respecto a una potencia de referencia emitida por una potencia de señal equivalente. Típicamente se describe en dBm o dBW . La PIRE permite comparar emisores diferentes independientemente de su tipo, tamaño o forma. Conociendo la PIRE y la ganancia de la antena real es posible calcular la potencia real y los valores del campo electromagnético.

Cálculo del enlace

El valor de la PIRE está relacionado con la ganancia de la antena y la pérdida en cables y conectores:

$$PIRE|_{dBm} = P_T|_{dBm} - Lc|_{dB} + G_T|_{dB}$$

En la expresión previa, la PIRE queda expresada en dBm , Lc es la pérdida de los cables y conectores en dB , y la ganancia de la antena G_T también se expresa en dB .

La PIRE se utiliza para estimar el área en el que la antena puede dar servicio y coordinar la radicación entre transmisores para que no se solapen las coberturas.

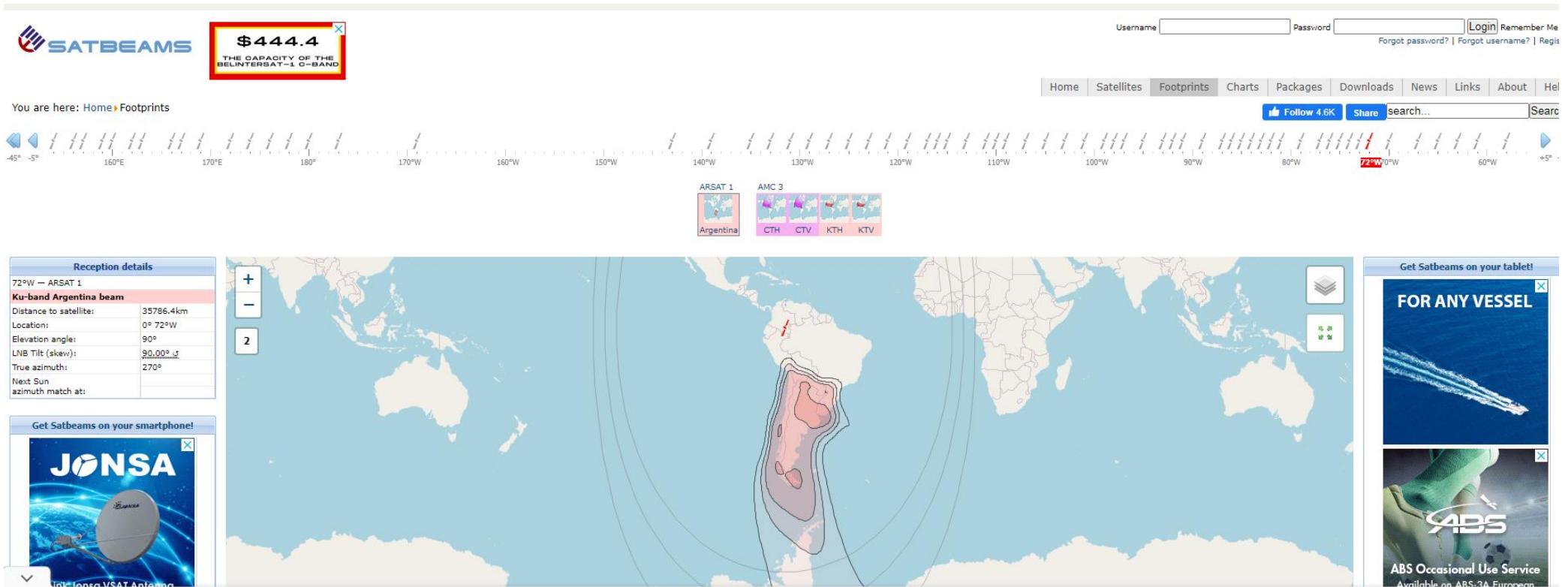
Cálculo del enlace

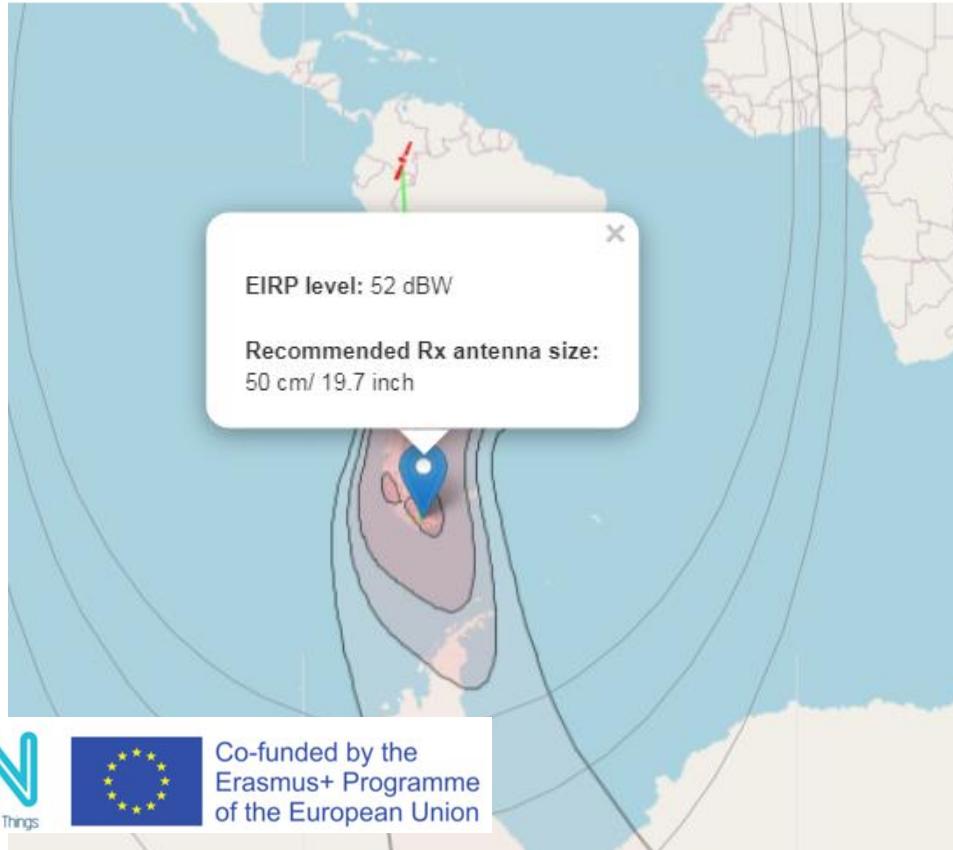
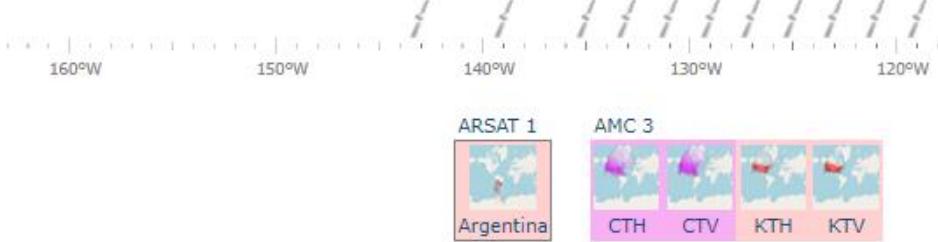
En el caso de receptores satelitales se dispone de curvas de potencia, las cuales nos muestran con qué potencia transmite el satélite a una determinada región del mapa. A su vez esta curva suele tener gradientes con saltos de 1dB.

HUELLA SATELITAL DE HISPASAT 1C



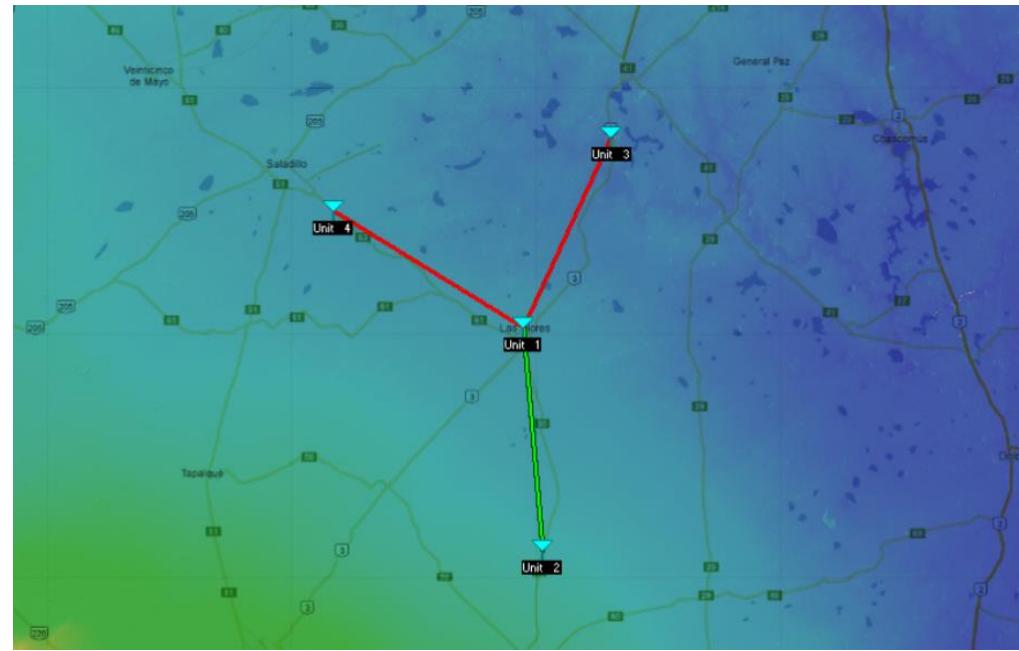
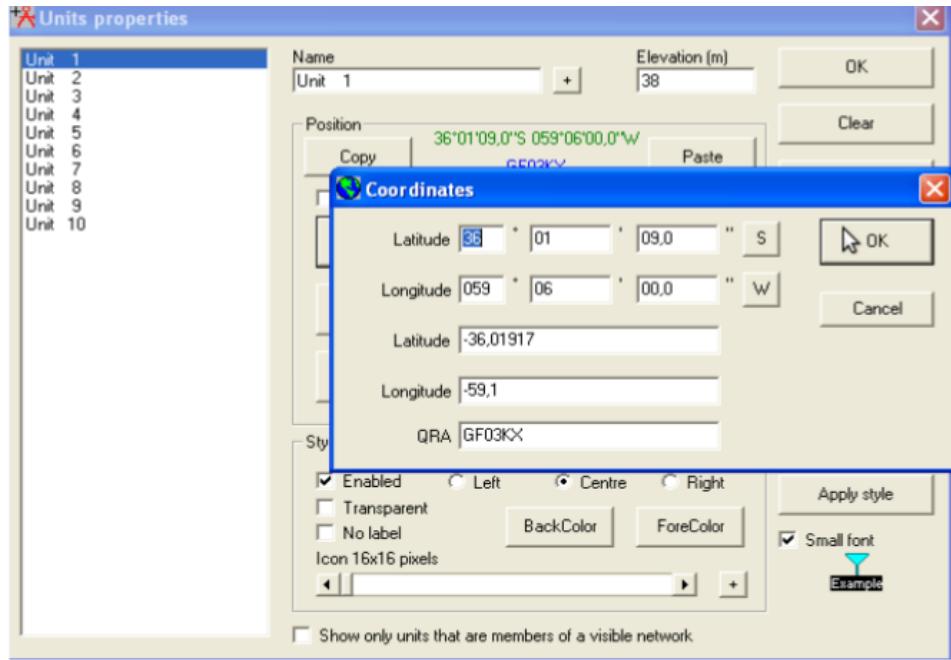
Sitios interactivos para obtener información

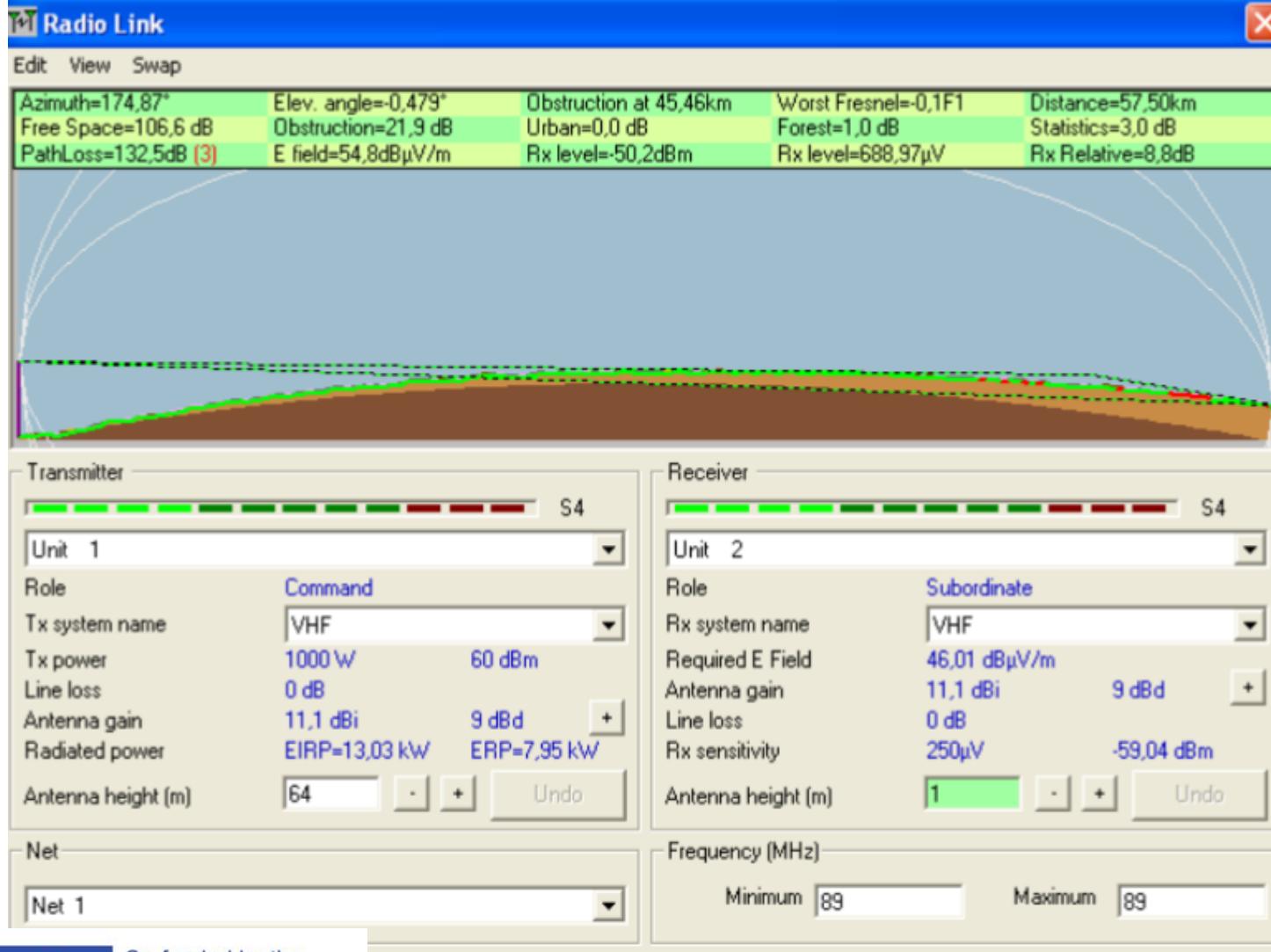


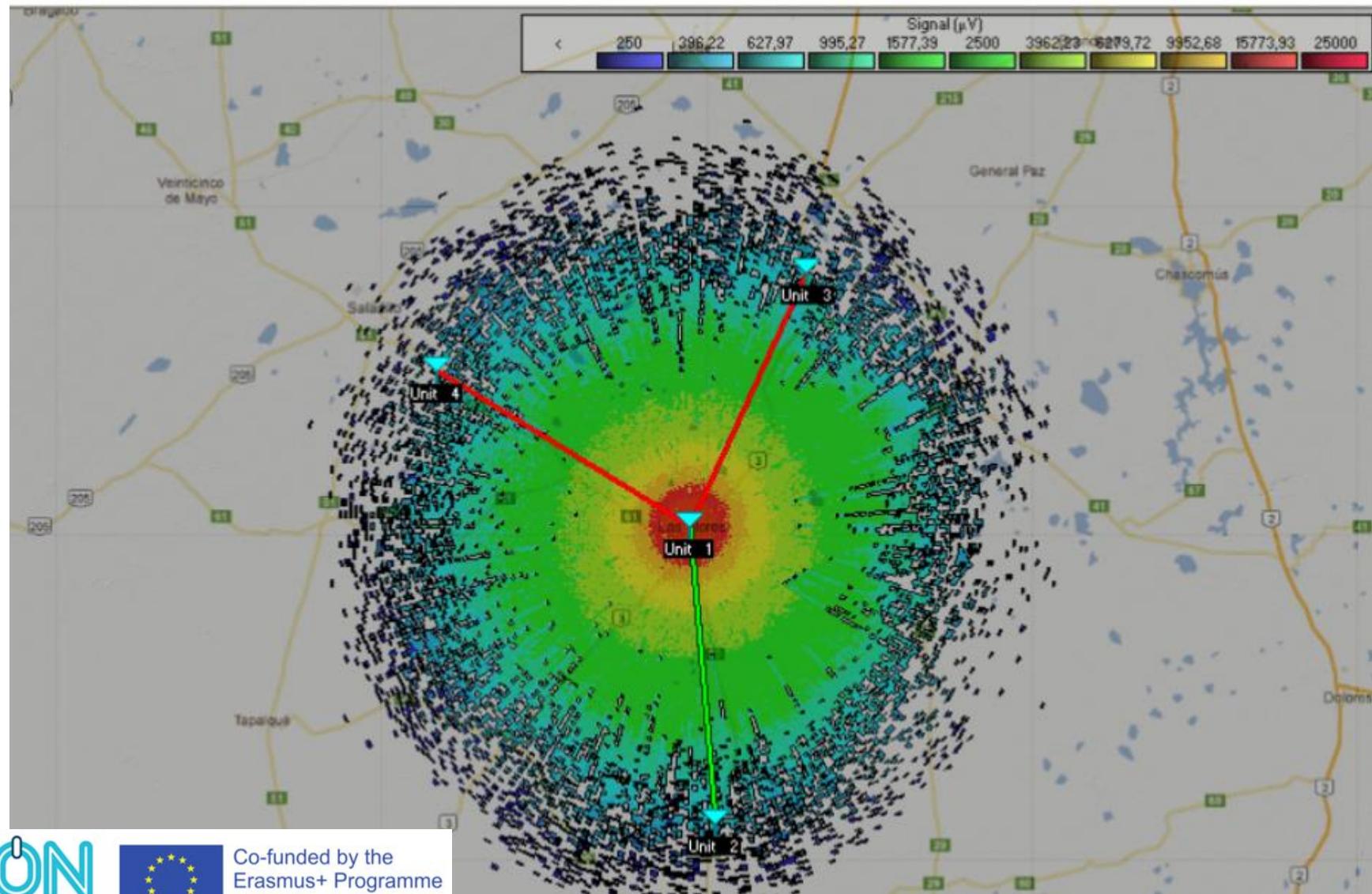


Fuente: <https://www.satbeams.com/footprints>

RADIOMOBILE







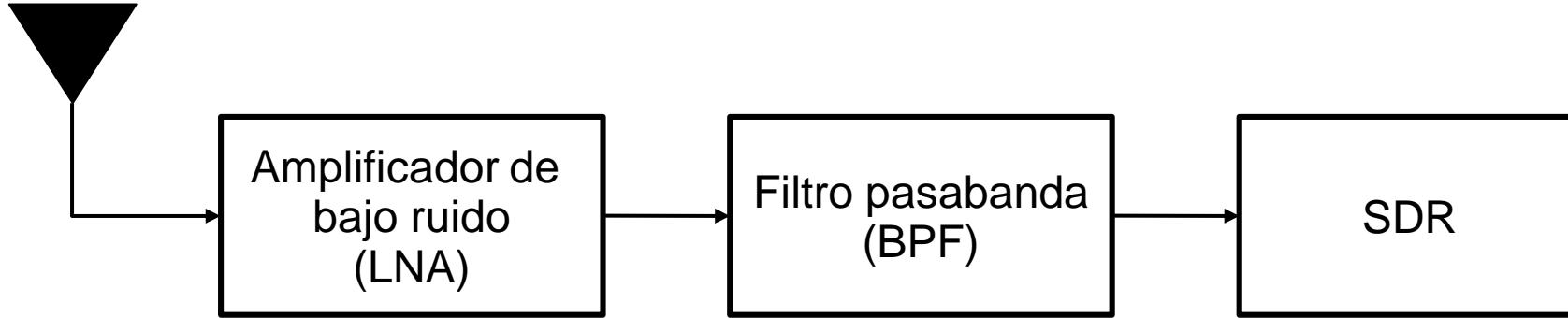
Cálculo del enlace

Entonces, una vez definida la sensibilidad del receptor y/o la potencia máxima de salida, según fuera el caso, se podrá comenzar a diseñar el sistema.

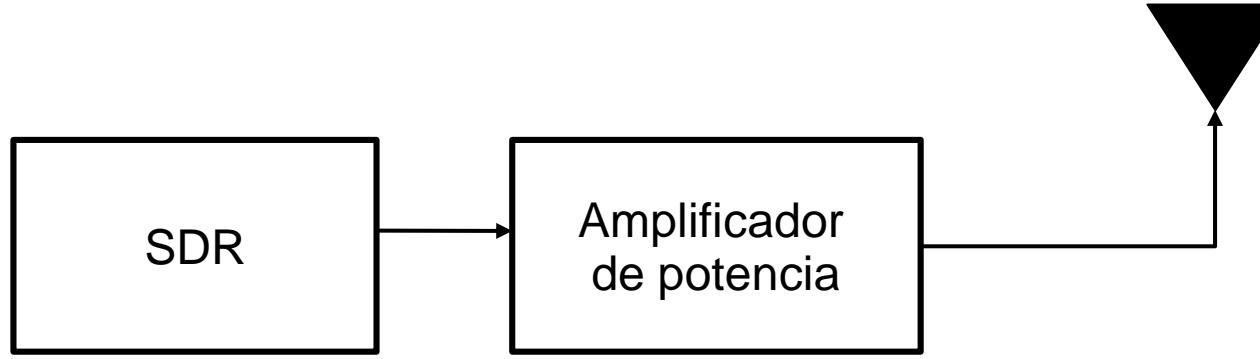
Cálculo del enlace

Pero, también deberíamos tener en cuenta qué ocurre en bandas adyacentes a las que vamos a trabajar. Verificando en primer lugar que nuestras emisiones no afecten canales de seguridad, en segundo que no afecten otras emisiones y en tercero que otras emisiones no afecten nuestra recepción o incluso dañen al receptor.

Esquema simplificado de un receptor



Esquema simplificado de un transmisor



En primer lugar estudiaremos la antena del sistema. Como es bien sabido, una antena podría operar en una o más bandas y además su ganancia suele depender del modelo usado. También es importante la polarización de la misma.

Antenas: parámetros más importantes

Los parámetros que generalmente se usan para seleccionar una antena es la:

- Impedancia / ROE.
- Frecuencia de operación.
- Ancho de banda.
- Ganancia.
- Lóbulos de radiación.
- ROE

806
896 MHz

OMNI PARA CELULAR-TRUNKING

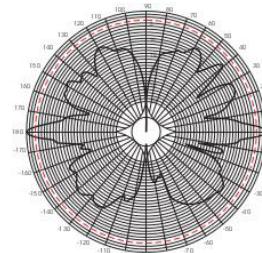
OMNI CELULAR

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Potencia	500W
Impedancia	50 Ohms
Ancho de banda	>90 MHz
Ganancia	11 dB
R.O.E	<1.3:1
Polarización	Vertical
Ancho de Haz (V)	6°
Protección	DC Ground
Conecotor	7/16 DIN Hembra
Lóbulo inferior ampliado provee Fill In para instalaciones muy elevadas	

CARACTERISTICAS MECANICAS

Longitud	4002 mm.
Peso sin Embalaje	12 Kg.
Boom de sujeción	Ø70 mm Aluminio Iridizado
Material irradiante	Aluminio Iridizado
Radomo	Fibra de vidrio c/filtro uv
Soporte	Acero Galvanizado
Área Expuesta	0,14 mts ²
Resistencia al viento	>220 Km/h



Vertical



Código 09-910

806
869 MHz

ANTENA TRIPOLE PARA TRUNKING

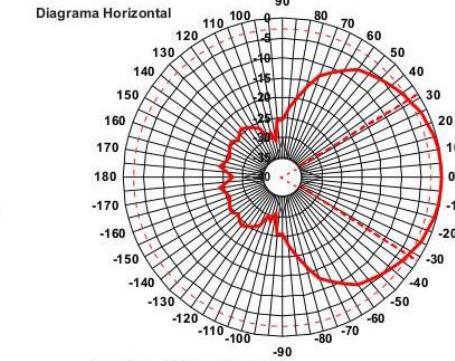
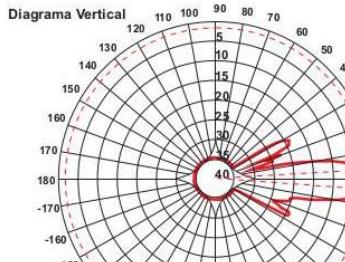
TRIPOLE

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Potencia	500W
Impedancia	50 Ohms
Ancho de Banda	>70 Mhz
Ganancia	16 dB 18.1 dBi
Relación Frente - Espalda	>25 dB
R.O.E	<1.3:1
Polarización	+/- 45°
Ancho de Haz -V-	8°
Ancho de Haz -H-	65°
Protección	DC Ground
Conecotor	3 x 7/16 DIN Hembra
Tilt Eléctrico	0°

CARACTERISTICAS MECANICAS

Longitud	2364 x 470 x 130 mm.
Peso sin Embalaje	19.4 kg.
Material Irradiante	Aluminio
Radomo	Fibra de vidrio con filtro uv
Soporte	Acero Galvanizado
Área Frontal	1,1 mts ²
Área Lateral	0,283 mts ²
Resistencia al Viento	>200 km/h
Tijera para downtilt	Opcional



Tel: (54-011) 4726-8111

Fax: (54-011) 4726-8980

ANTEN
ANTENAS

ANTENAS PARA COMUNICACIONES FIJAS Y MOVILES
HF-BLU - VHF - FM - UHF - CELULAR - TRUNKING

2.4 GHz – 2.5 GHz Dipole 2dBi Antenna for Reverse Polarity SMA



ORDERING INFORMATION

Order Number	Description
001-0001	2.4 GHz Dipole Antenna for Reverse Polarity SMA Connector.
080-0001	U.FL to Reverse Polarity SMA Cable, 105mm

Table 1 Orderable Part Numbers

SPECIFICATIONS

Specification	Value
Peak Gain	+2 dBi
Impedance	50 ohms, Nominal
Type	Dipole
Polarization	Linear Vertical
VSWR	≤2.5 : 1, Maximum
Frequency	2400-2500MHz
Weight	13g
Size	105×10 mm
Antenna Color	Black
Operating Temp	-20 °C to +65 °C
UL Rating	UL 94HB

Table 2 Specifications

PHYSICAL DIMENSIONS (MM)

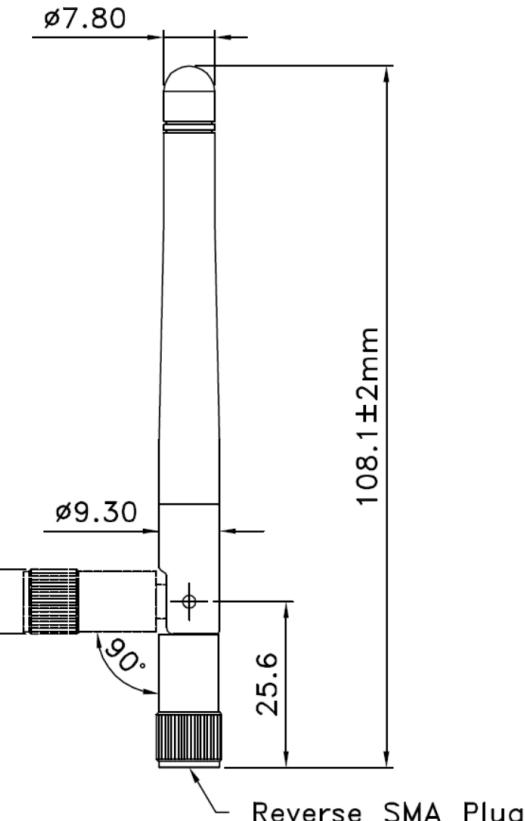


Figure 1 Physical Dimensions

2.4 GHz Dipole Antenna Datasheet

TYPICAL ANTENNA REFLECTION PERFORMANCE

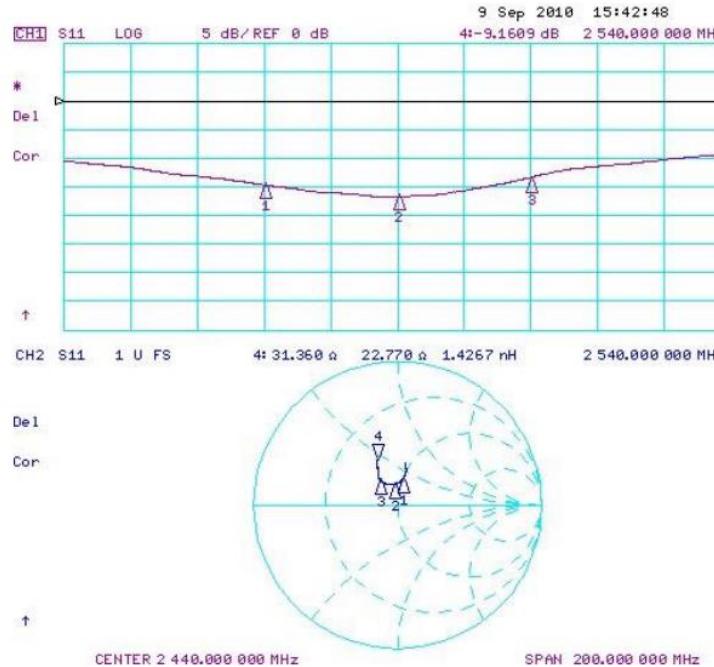


Figure 2 Reflection Parameters for Extended Configuration (S11)

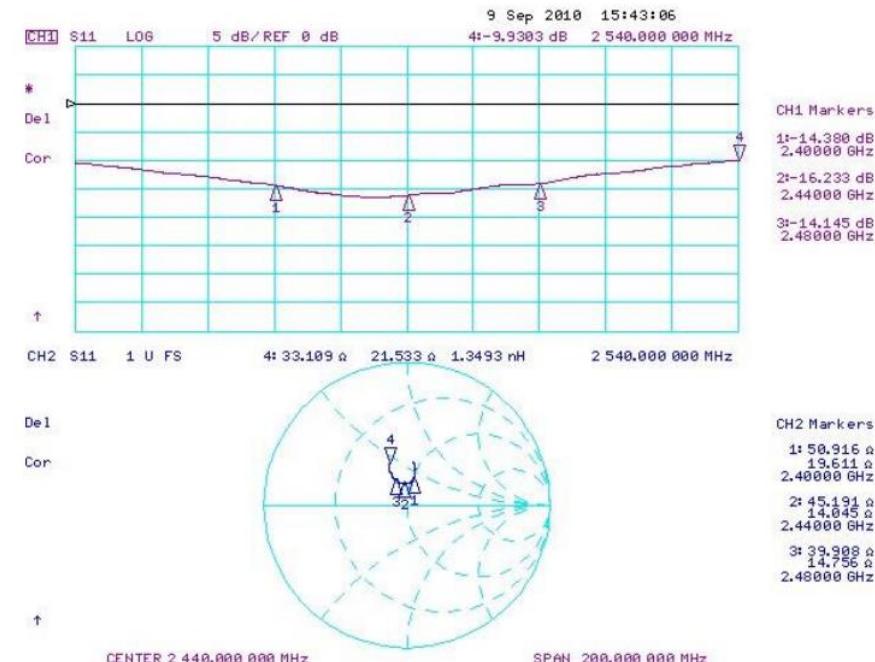


Figure 3 Reflection Parameters for Folded Configuration (S11)

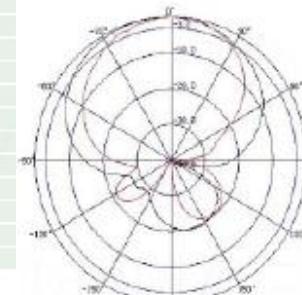
11dBi GSM Log-Periodic Penta-Band Antenna



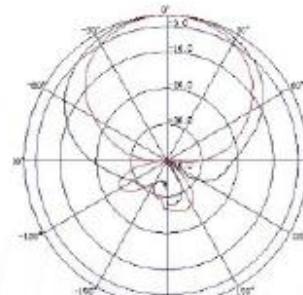
Specification

Frequency Range	806-960 / 1710-2700 MHz
Gain (dBi)	11 dBi
Front-Back Ratio	12dB / 12dB
VSWR	<1.5
Impedance	50 Ohm
Polarization	Vertical
Beamwidth	H : 50° ±10° E : 40°
Power Handling	50W
Connector	N-Type Female
Mounting Kit	L-Bracket & U-Bolts
Rated Wind Velocity	126Km/h
Weight	0.65Kg
Dimensions	410 x 210 x 65 mm
Temperature	-40 to +70°C
Radome	White ABS

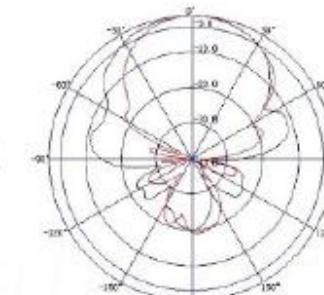
H/E 800MHz



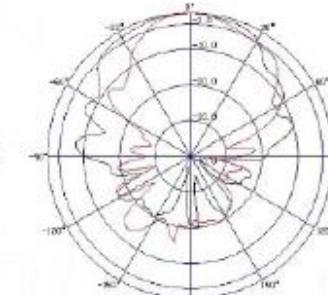
H/E 960MHz

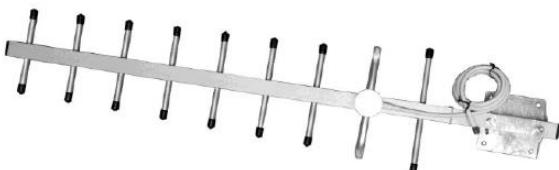


H/E 1710MHz



H/E 2500MHz





868/914MHz YAGI Antenna Data Sheet

9 Element 824-960MHz Directional 13dBi Antenna

868/914MHz YAGI Antenna Data Sheet

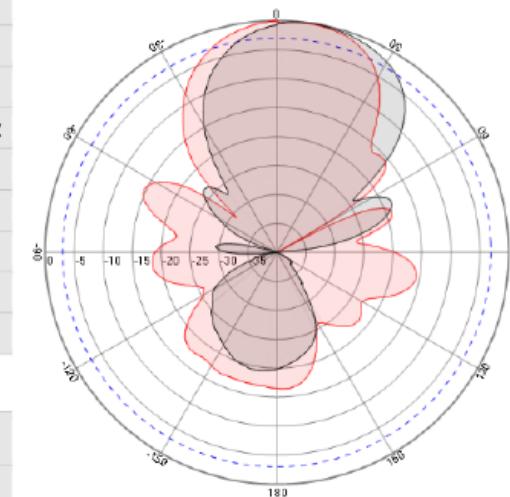
9 Element 824-960MHz Directional 13dBi Antenna

Electrical Specifications

<i>Frequency Range</i>	824-960MHz
<i>Nominal Impedance</i>	50 ohm
<i>Gain</i>	13dBi @ 900MHz
<i>VSWR</i>	1.5:1
<i>F/B Ratio</i>	>15dB
<i>Maximum Input Power</i>	100w
<i>Polarization</i>	Vertical
<i>Connector</i>	SMA male

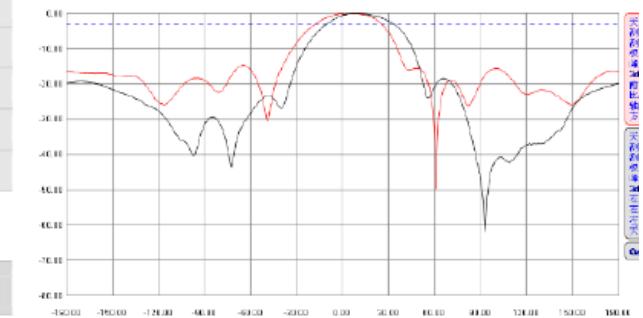
Mechanical Specifications

<i>Support Boom Material</i>	Steel Bracket
<i>Element Material</i>	Aluminium
<i>Number of elements</i>	9
<i>Antenna dimensions</i>	790x190x55mm
<i>Cable Length</i>	1000mm
<i>Antenna weight</i>	414g
<i>Ambient temperature</i>	-40 C --+ 60 C



天线件数:9
测试频率:960
测试带宽:10
极化方式:分
增益因子:-1
辐射直向:-43
前后比:-14
比对增益:-14
相位:49.53
方向性:1.1

天线件数:9
测试频率:960
测试带宽:10
极化方式:分
增益因子:-1
辐射直向:-44
前一旁瓣:-25
在二旁瓣:-25
在三旁瓣:-25
大体相角:86
Gain: 13.19



Order Code: YAGI-869/914A

Note: Longer cable lengths available.

16dBi 2.4GHz Directional Panel Antenna...

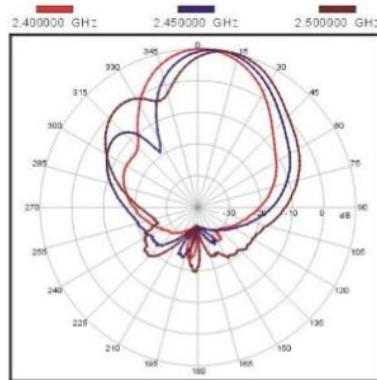
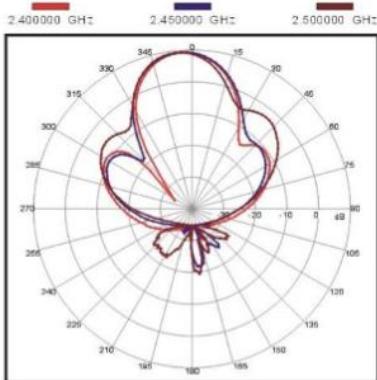


N Type Female

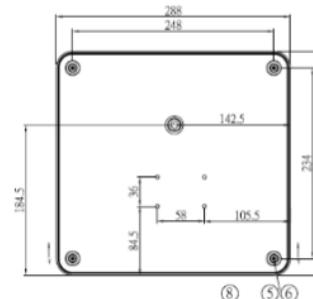
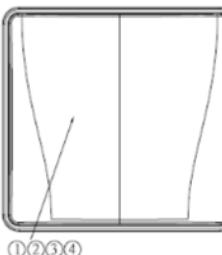


Pole Not Included

Radiation Pattern...



Antenna Dimensions...



Technical Specification...

Model no.	16-5DB-SMA
Frequency	2.4 - 2.5GHz
Gain	16 dBi
Gain Tolerance	+/- 0.5dBi
VSWR	<= 1.6:1
Impedance	50 Ω
Power Handling	50W
Horizontal	35°
Vertical	35°
Connector	N TYPE Female
Operation Temperature	-40°C ~ +80°C
Humidity	100% @ 25°C
Wind Load	180 Km/h
Lightning Protection	DC Ground
Radome Colour	Grey-White
Radome Colour	ABS, UV Resistant, Zinc Casting
Weight	1.2 Kg
Dimensions	Length 283mm Width 270 Depth 81mm
Mounting	Pole mount

ANTENA 2.30M MALLA BANDA C

\$ 16,995.°°



Plato de 4 pétalos de aluminio A/E para los Satélites Eutelsat 113 y 117, con Lnb de 13°K y Material de Instalación sin costo.

Antena Eagle 2.30M Malla Banda C

Características:

MODEL	M-230-A / M-230-P
DISH DIAMETER	7.5' (2.30 Mts)
F/D	.350
FOCAL LENGTH	31.5" (80 cm)
GAIN @ 4 Ghz	38.98 dBi
GAIN @ 12 GHZ	47.36 dBi
SECTIONS	4, T-6 ALUMINUM RIBS
DISH MATERIAL	ALUMINUM .034" FLATENED PREFORMED MICRO MESH ATTACHED, C / Ku
MOUNT MATERIAL	STEEL, 24" RING DIAMETER
POLE SIZE	3.5" O.D.
FINISH	GRAY ELECTROSTATIC POWDER COATING
BOX DIMENTIONS	MOUNT: 25" x 25" x 9" - DISH: 51" x 51" x 7"
WEIGTH	86 Lbs
45' H.C. CONTAINER	190 Pz
53' TRUCK LOAD	220 Pz

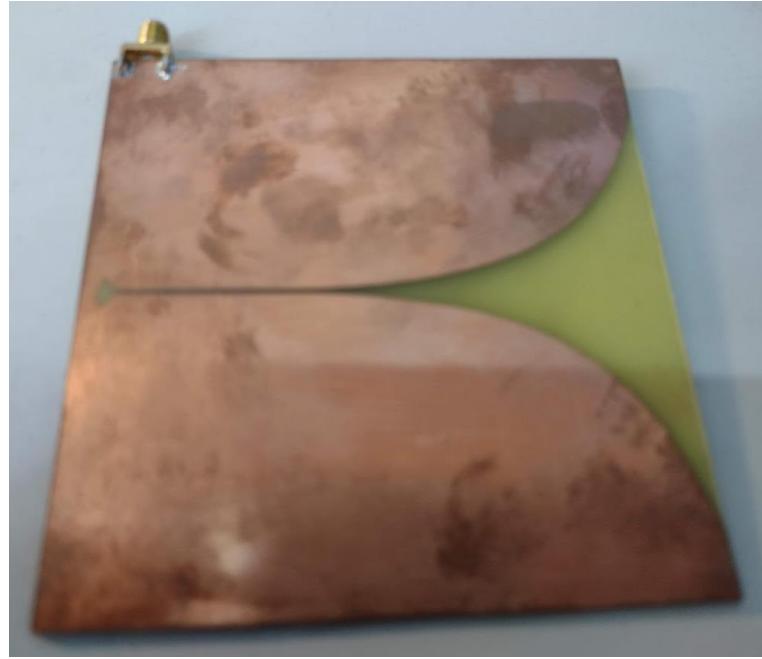
Antenas de banda ancha



1,35 GHz - 9,5 GHz

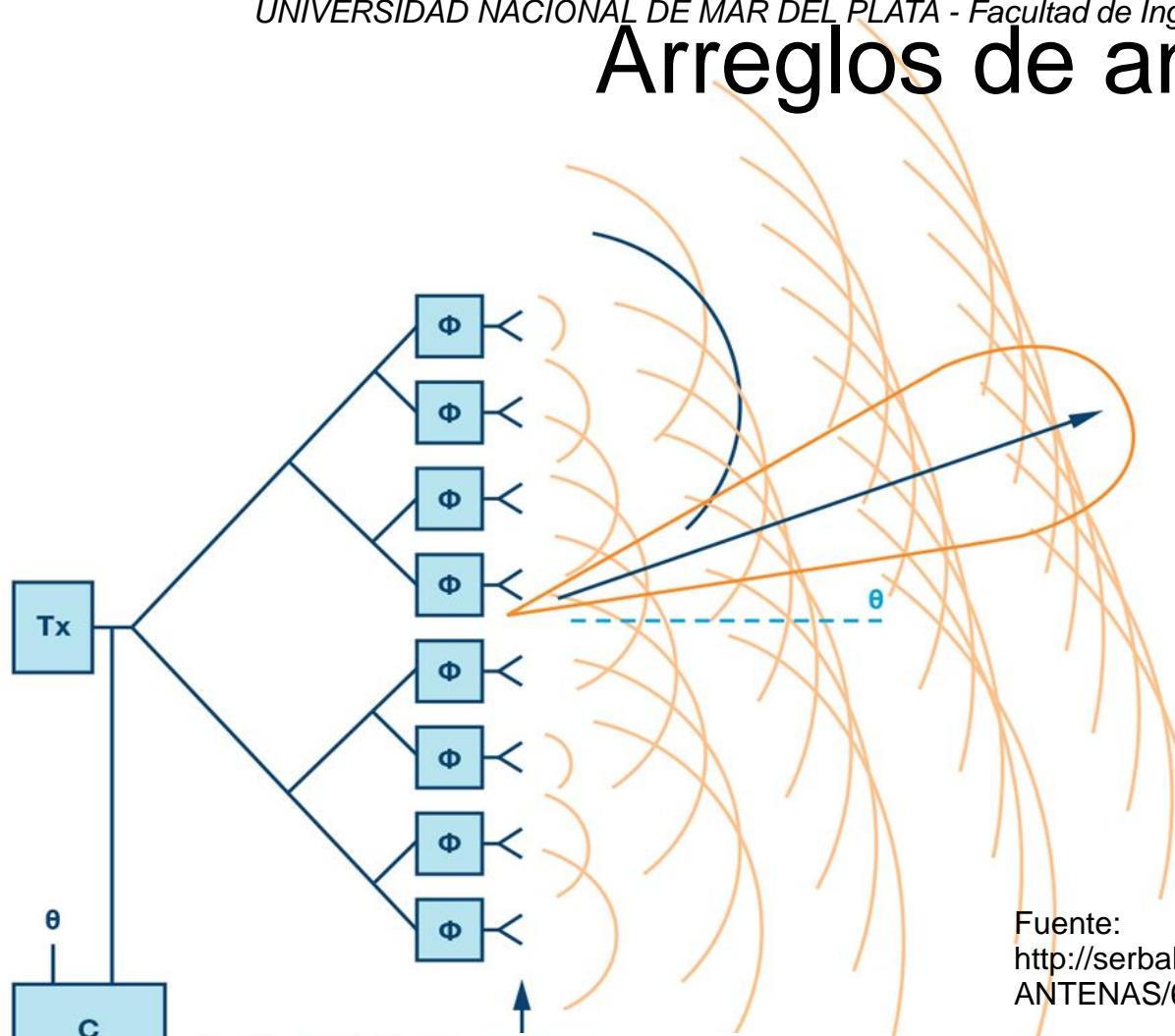


2,8 GHz - 10,5GHz



Antena Log Vivaldi 1 GHz – 6 GHz

Arreglos de antenas



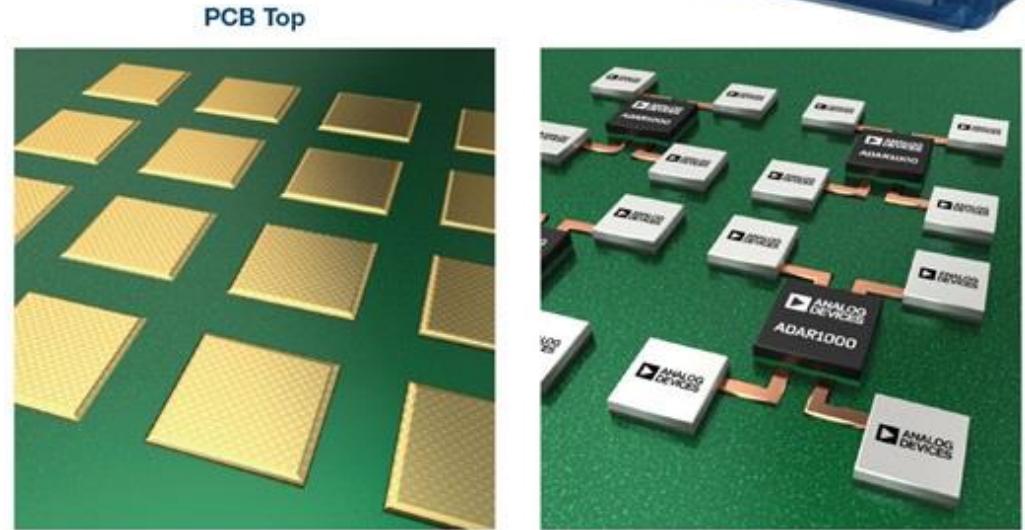
Fuente:
<http://serbal.pntic.mec.es/srulg0007/archivos/radiocomunicaciones/2%20ANTENAS/6%20Agrupaci%F3n%20de%20Antenas..pdf.pdf>

Fuente: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/phased-array-beamforming-ics-simplify-antenna-design.html>

Arreglos de antenas



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



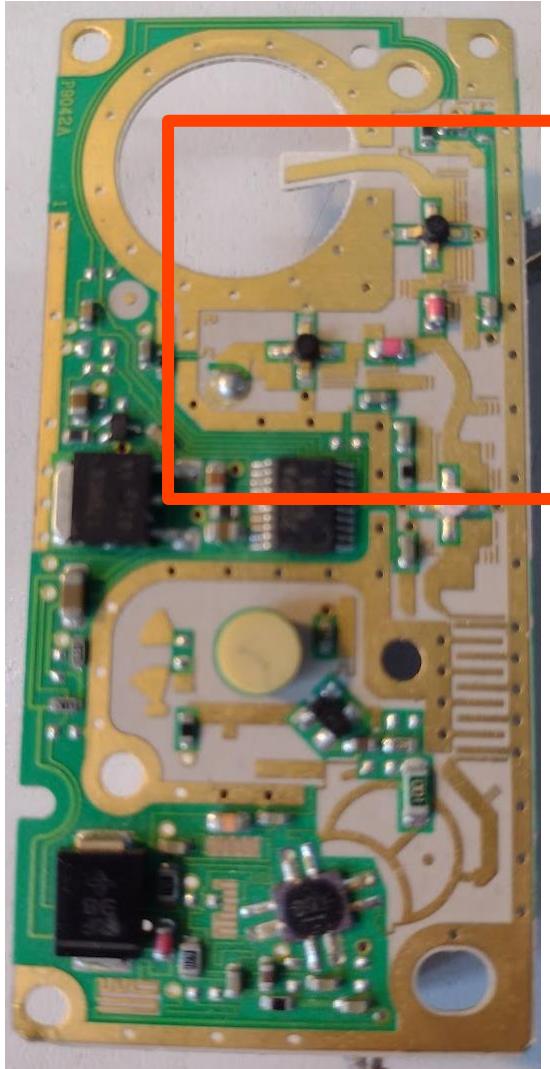
Fuente: <http://serbal.pntic.mec.es/srulg0007/archivos/radiocomunicaciones/2%20ANTENAS/6%20Agrupaci%F3n%20de%20Antenas..pdf.pdf>

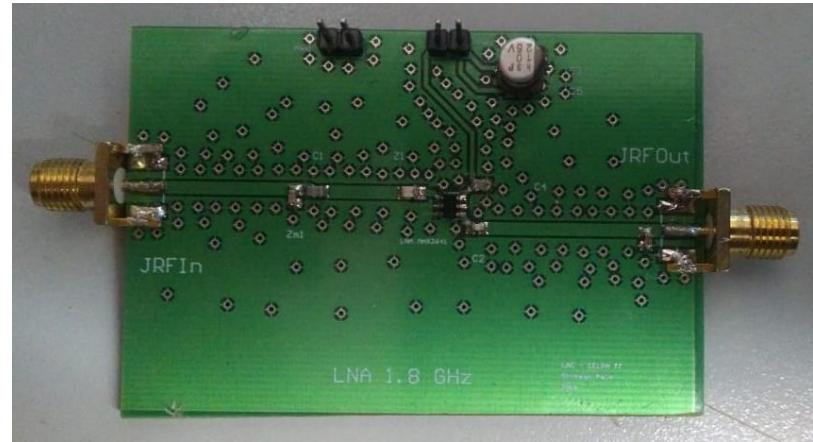
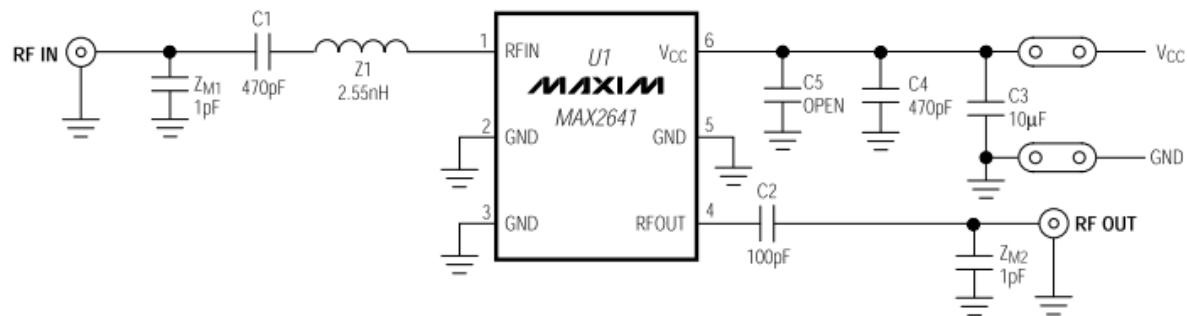
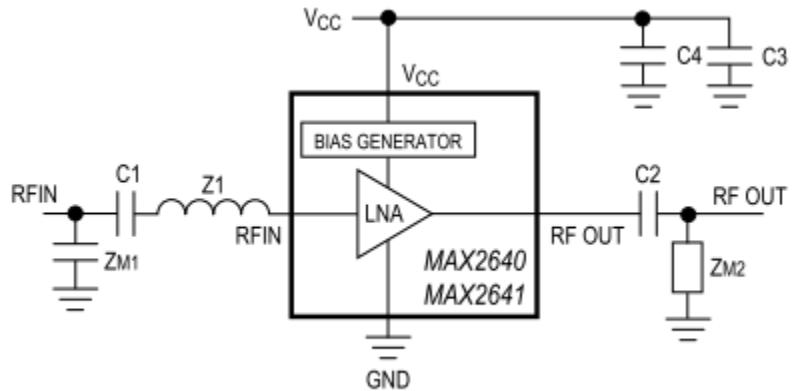
Fuente: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/phased-array-beamforming-ics-simplify-antenna-design.html>

En el caso de que nuestro sistema opere como receptor, se suele colocar muy cerca de la antena un amplificador de bajo ruido (LNA). Esto se hace con el fin de amplificar la señal y que la misma no sea deteriorada de forma significativa por los cables, conectores y otros componentes.



Ejemplos LNA: Comercial,
Ensamblado y extraido de una
antena de DirecTV.





Ejemplos de una implementación de LNA.

Entonces, si fuera posible resulta conveniente trabajar en bandas donde existan componentes comerciales que le brinden confiabilidad al diseño.

Pero en caso de que esta posibilidad no sea factible, se los puede diseñar e implementar.

Etapa de entrada: Filtros

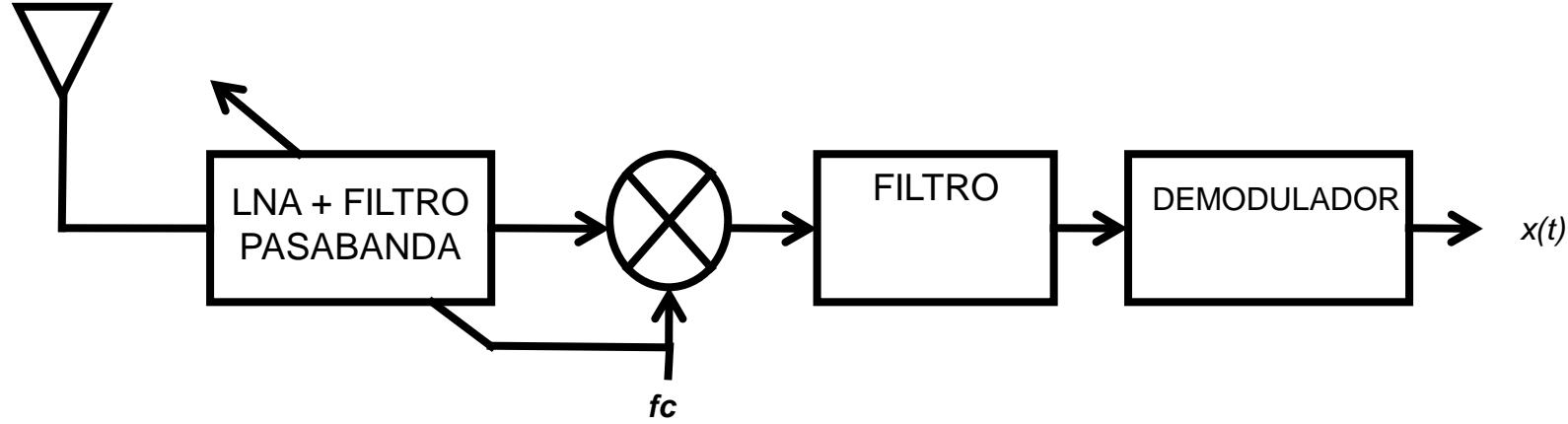
Como cualquier sistema receptor el filtro de predetección es muy importante. Este filtro es un pasabanda, que suele estar centrado en la frecuencia de portadora y debe abarcar al menos el ancho de banda de la señal a recibir.

Debe tenerse en cuenta que para esquemas superheterodinos, este filtro debe dejar pasar todos los canales que se deseen recibir.

Etapa de entrada: Filtros

Debe considerarse que el filtro rechace las emisiones aledañas u otras que puedan afectar el desempeño del sistema o incluso dañarlo.

Asimismo se debe considerar el nivel de atenuación en la banda de paso, su nivel de ripple y otros factores que condicionan la elección de cada solución.



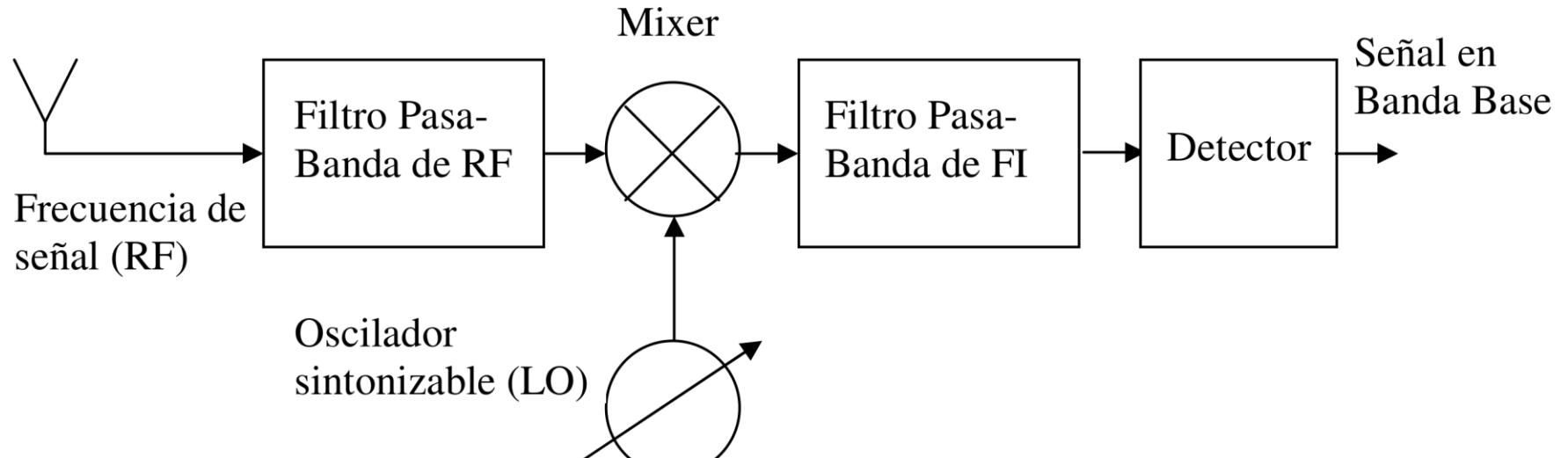
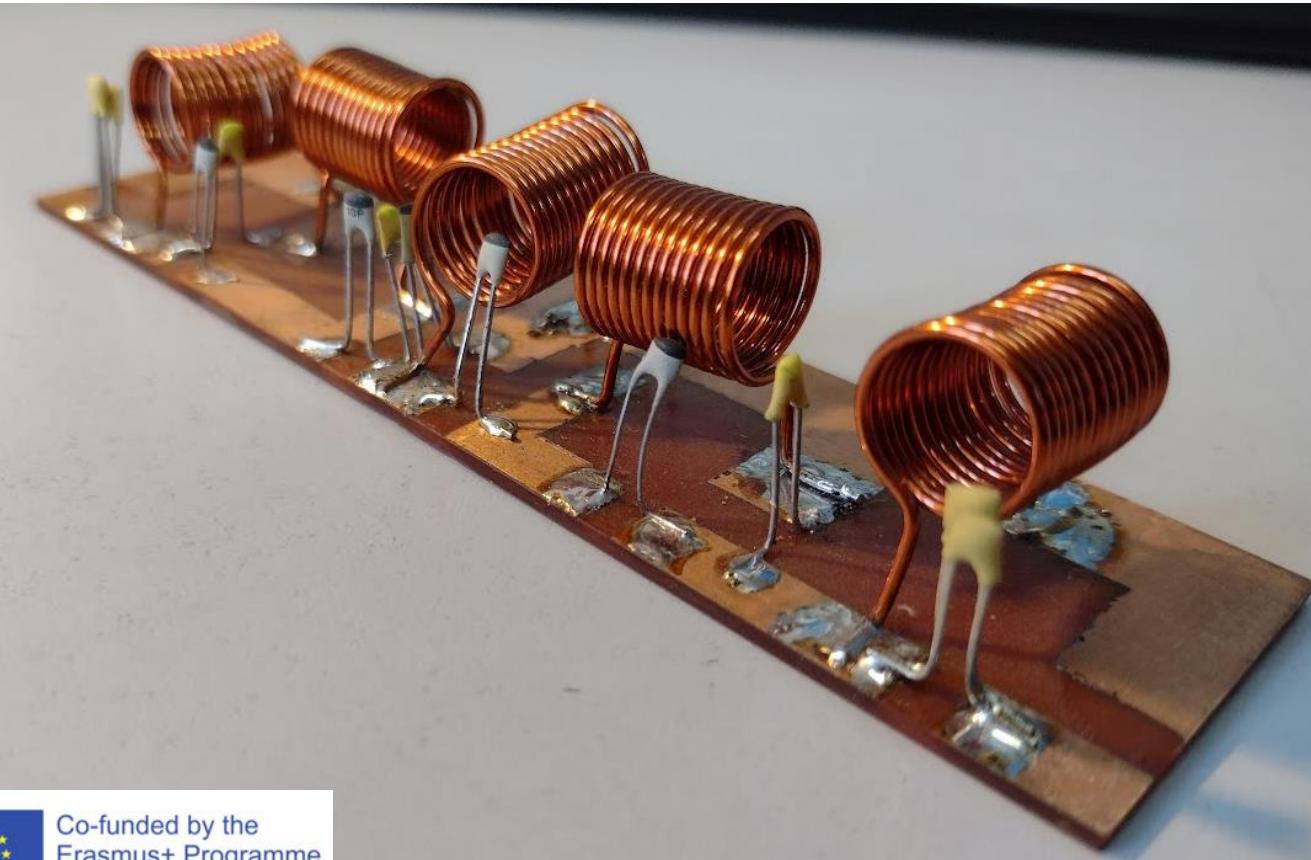
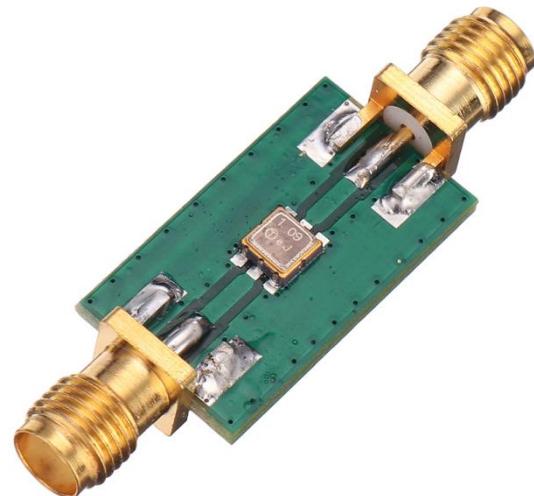
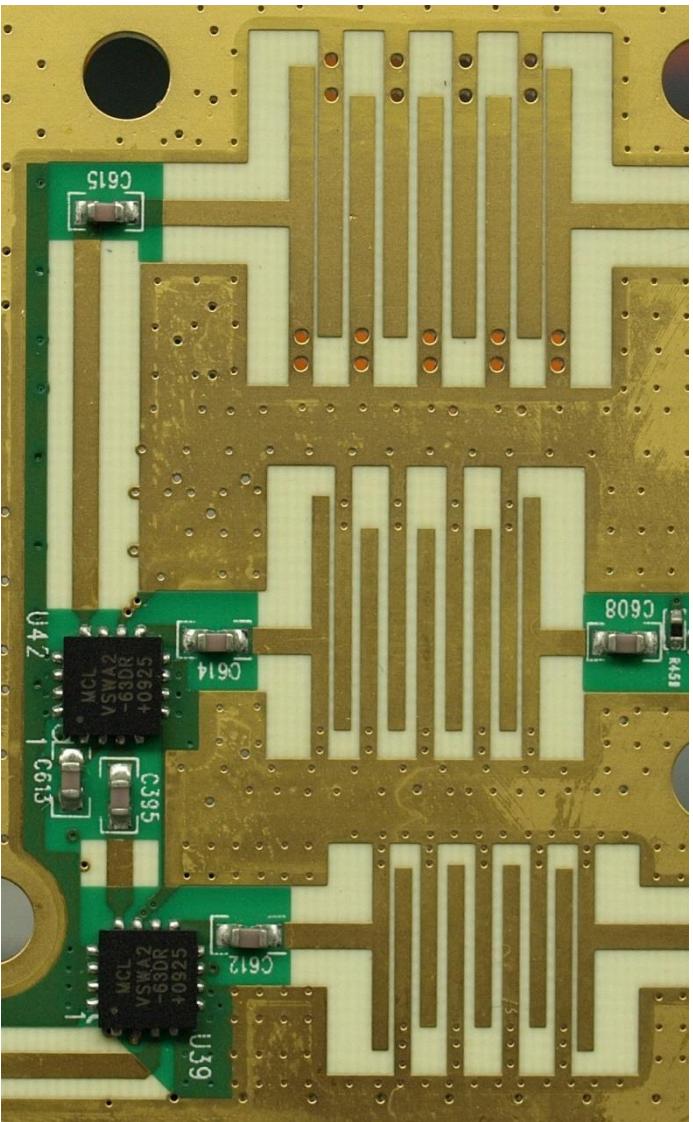


Figura Nro.1 Esquema del receptor superheterodino.

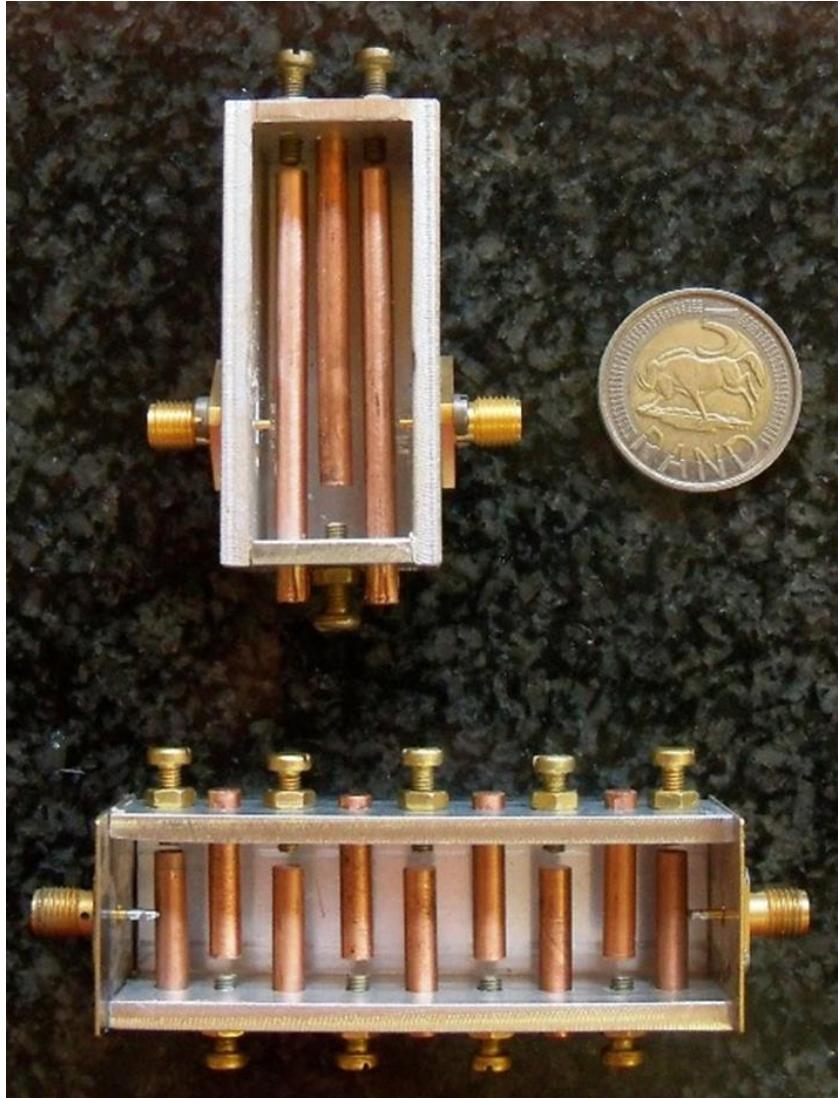


Existe una gran variedad de filtros comerciales si se desea operar en bandas tradicionales.



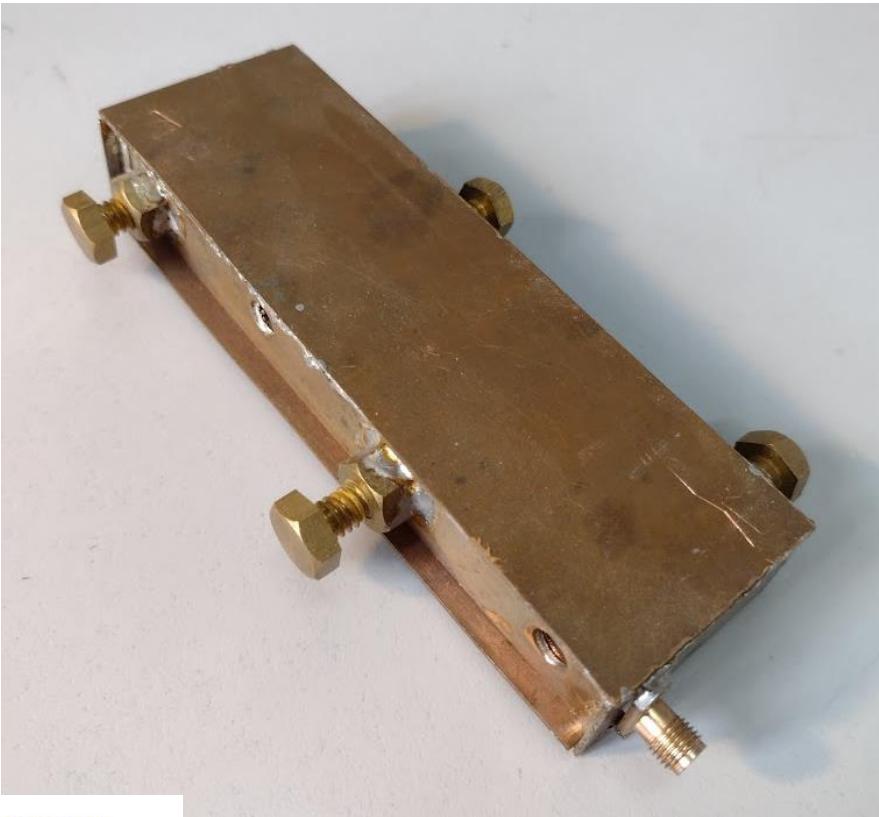


https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interdigital_Filter.jpg



Fuente:

https://www.changpuak.ch/electronics/interdigital_bandpass_filter_designer.php



Combinadores mediante líneas: Menos ancho de banda, mayor aislación.

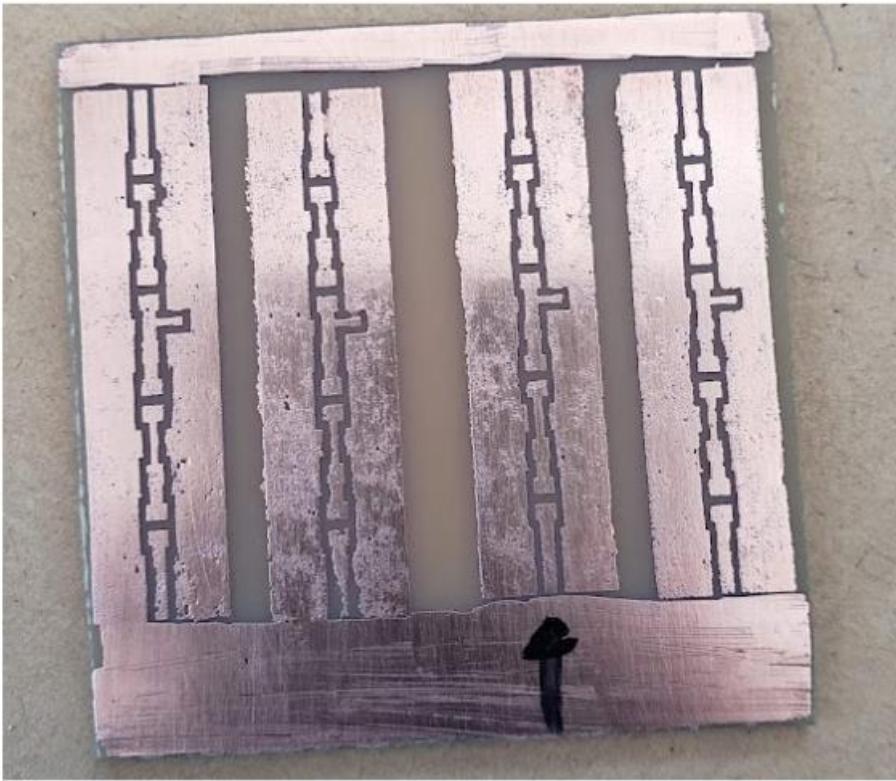


Figura 25: Foto de las 4 impresiones del PCB para el filtro de 131MHz



Figura 26: Foto del filtro de 131MHz construido y soldado

Filtros con componentes discretos. Se depende de los valores de L y C comerciales.

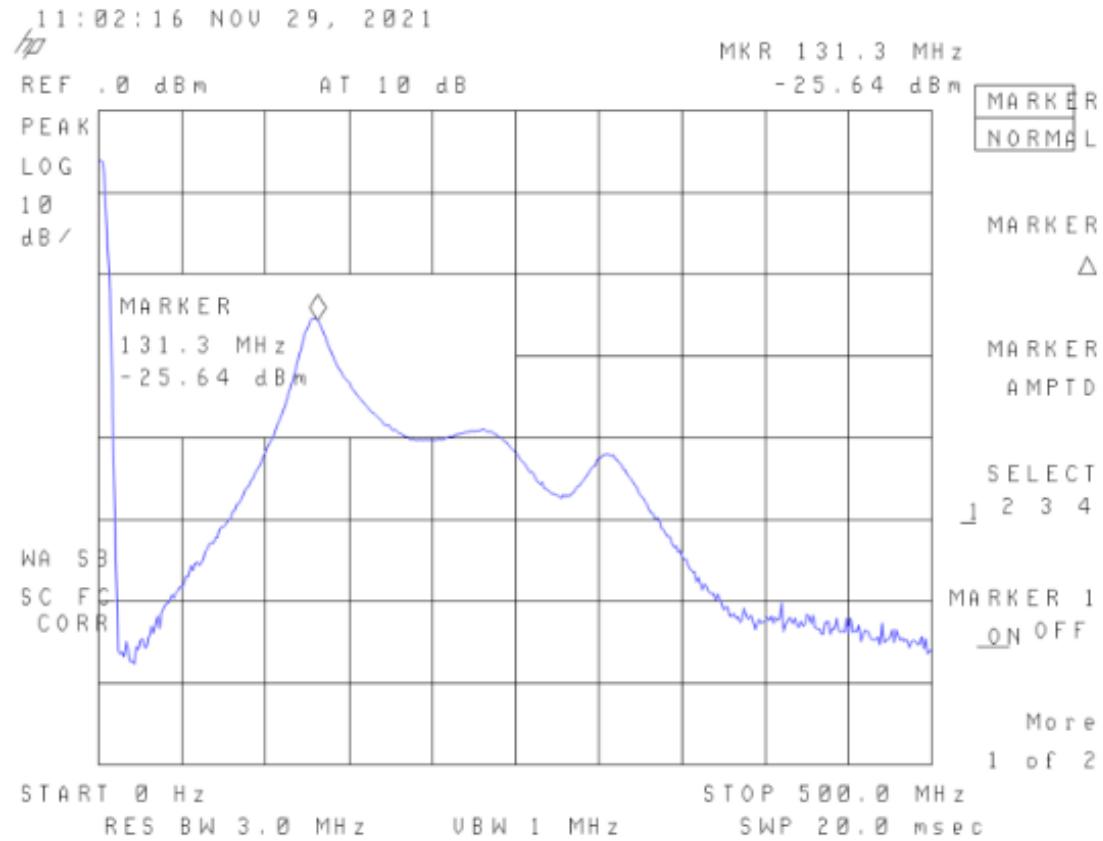


Figura 27: Captura de la respuesta del filtro de 131MHz en el analizador de espectros

Filtros implementados con líneas

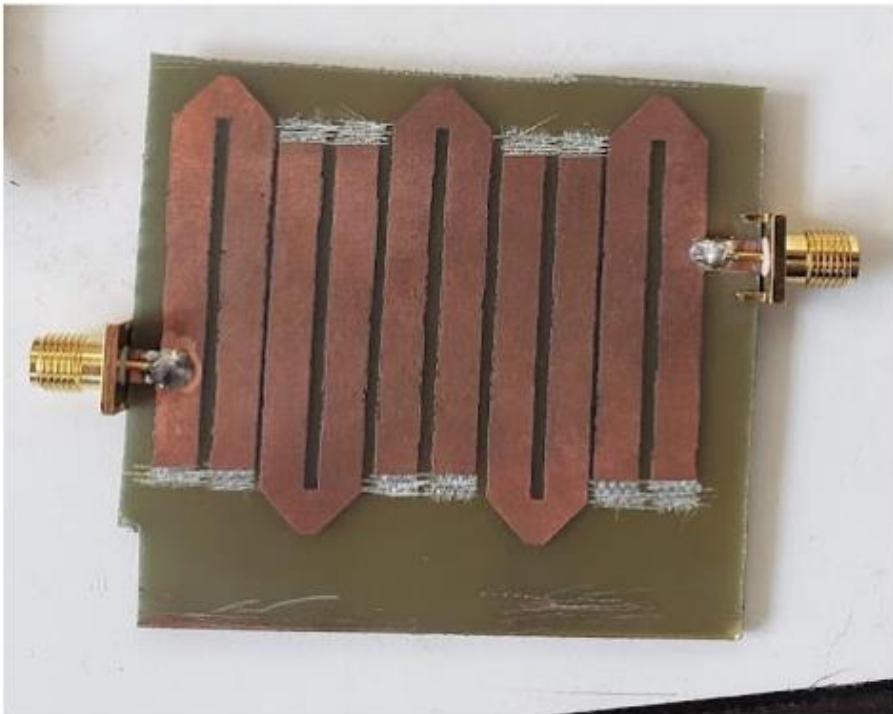
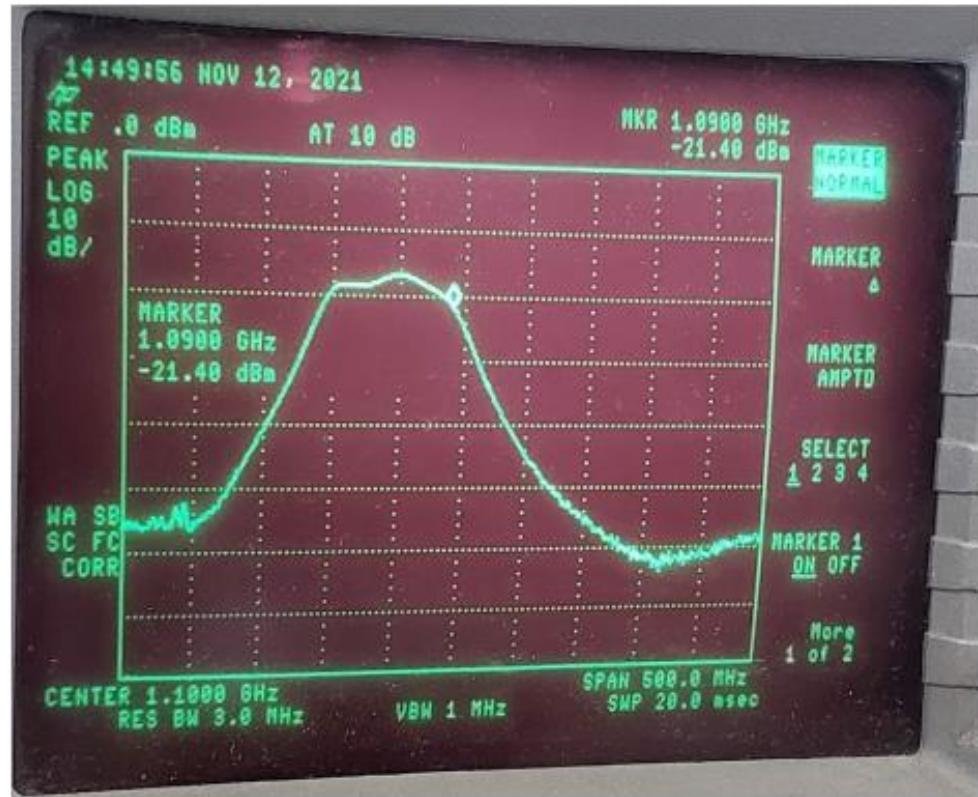


Figura 29: Foto del filtro calibrado



Filtros implementados con líneas: Es más simple obtener valores de L y C deseados, pero presentan resonancias al doble de la frecuencia central.

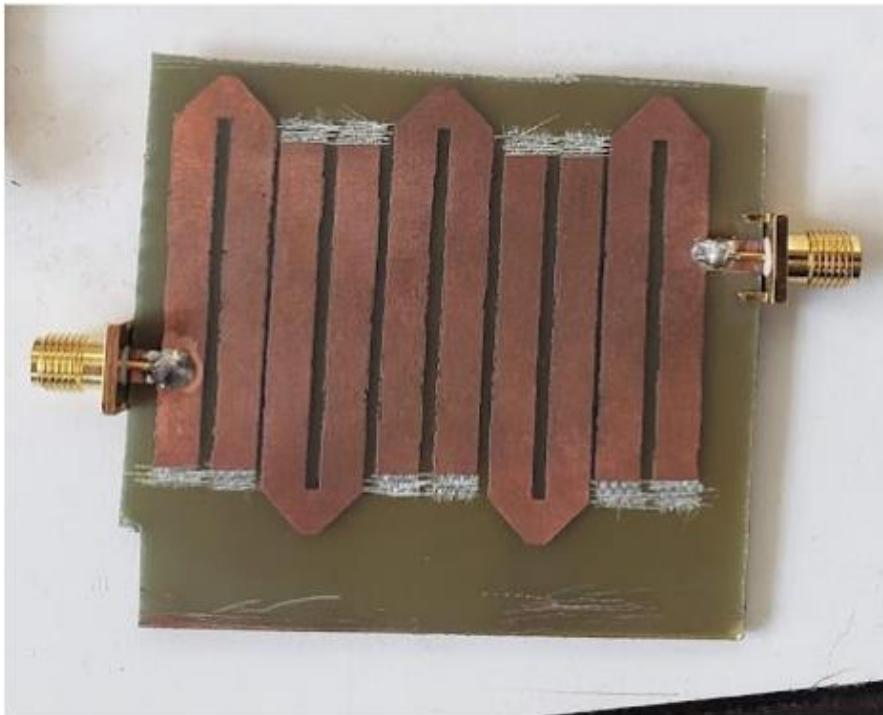
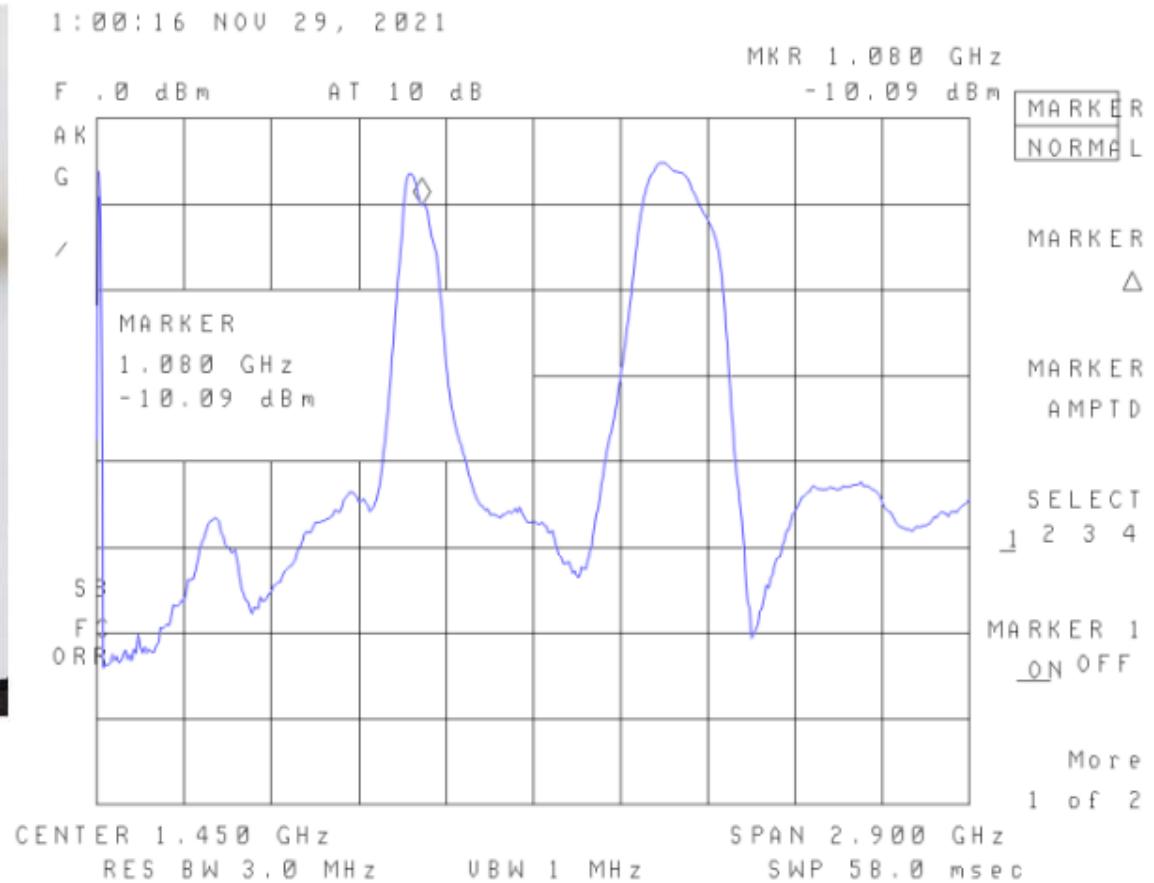


Figura 29: Foto del filtro calibrado



Combinadores - Divisores

En algunos sistemas que operan en más de una banda de operación, suele ser necesario usar dos antenas, dos LNA y dos BPF. Pero, luego al momento de ingresar al SDR nos encontramos con que debemos combinar ambas señales. Para ello se debe incorporar un circuito combinador

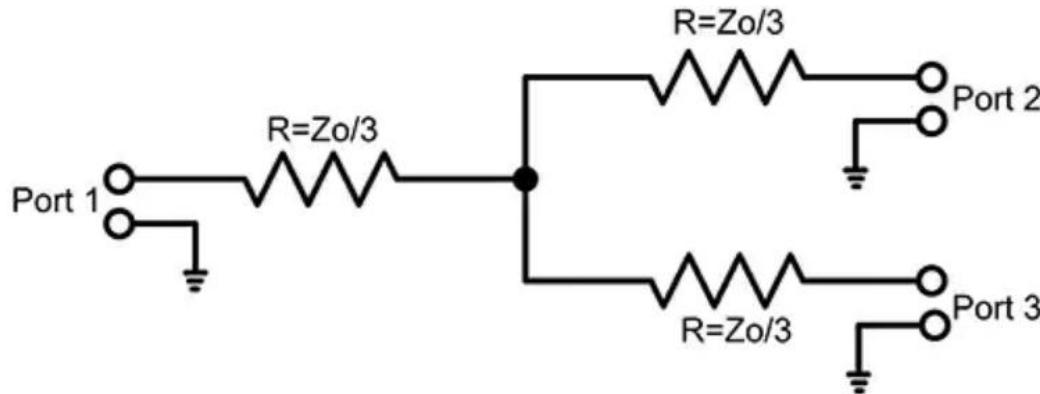
Tipos de Combinadores / Divisores

Combinadores / Divisores mediante líneas: Menos ancho de banda, mayor aislación.

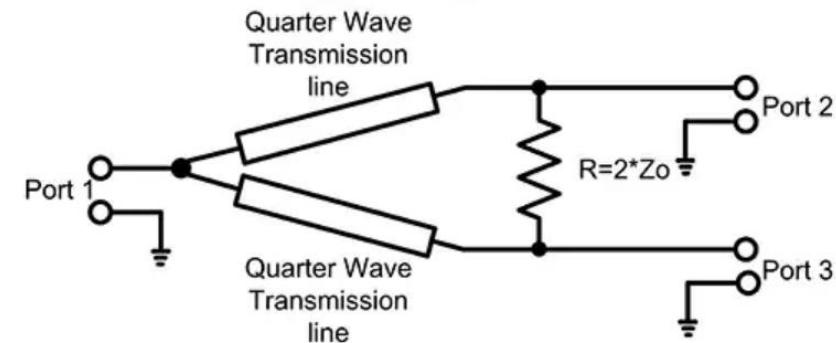
Combinadores / Divisores resistivos: Más ancho de banda, menos aislación entre las etapas.

Combinadores / Divisores: Topologías más comunes.

Resistive Divider



Wilkinson Divider



Hybrid Divider

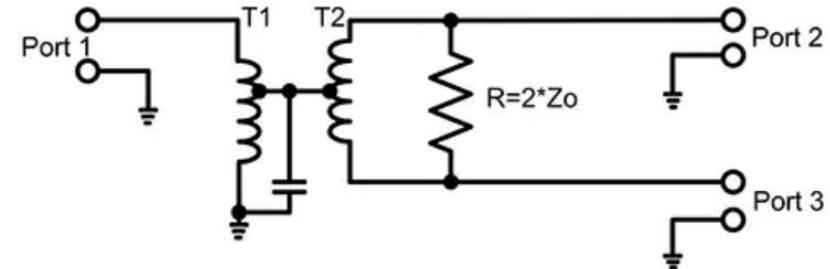


Figura 3: Esquemas simplificados de las tres topologías comunes de divisores de potencia: resistiva, Wilkinson e híbrida. (Fuente de la imagen: Digi-Key Electronics)

Combinadores / Divisores mediante líneas: Menos ancho de banda, mayor aislación.

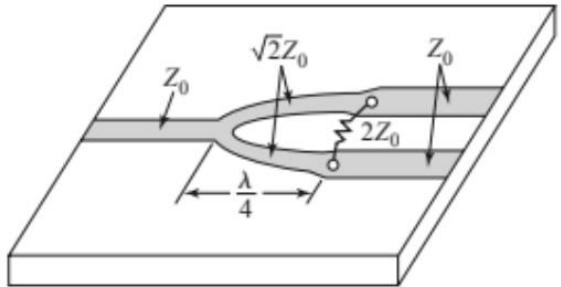
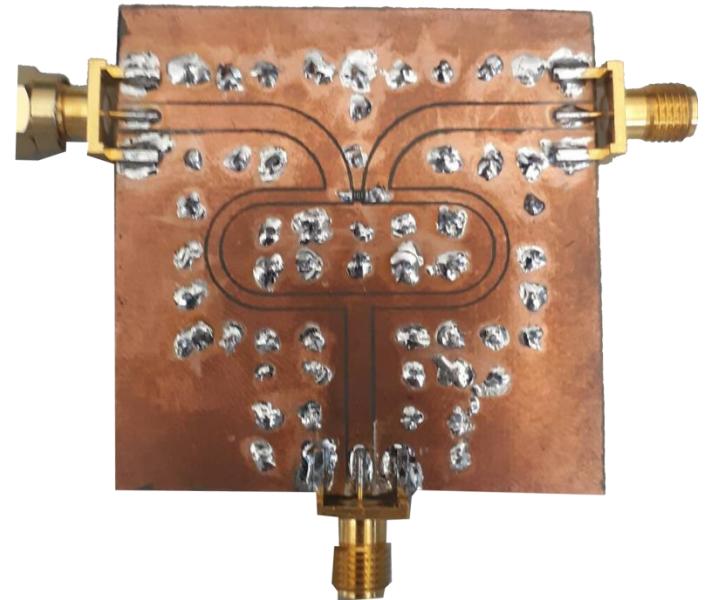
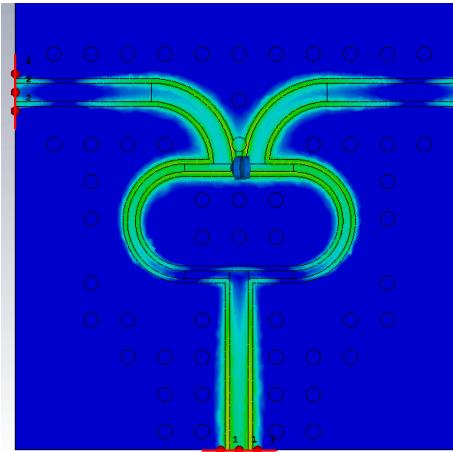
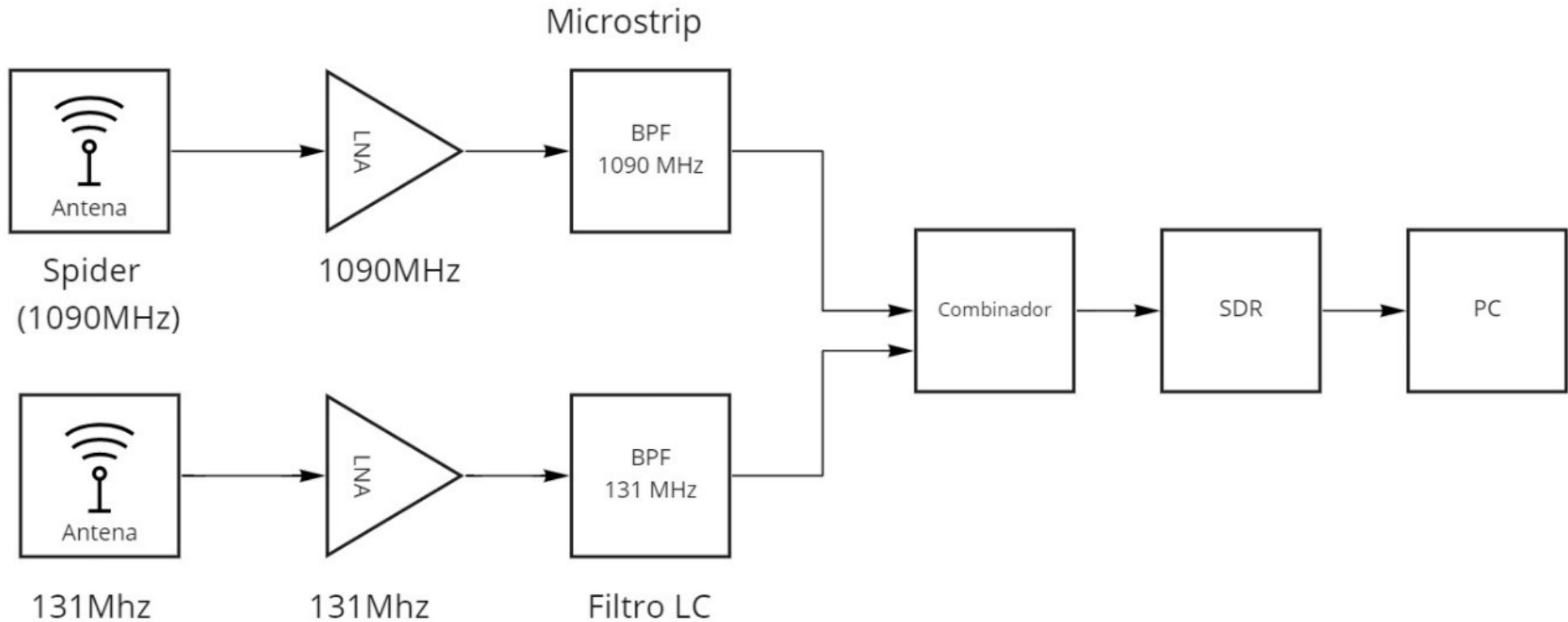


Figura 3.11: Splitter de Wilkinson, Diseño



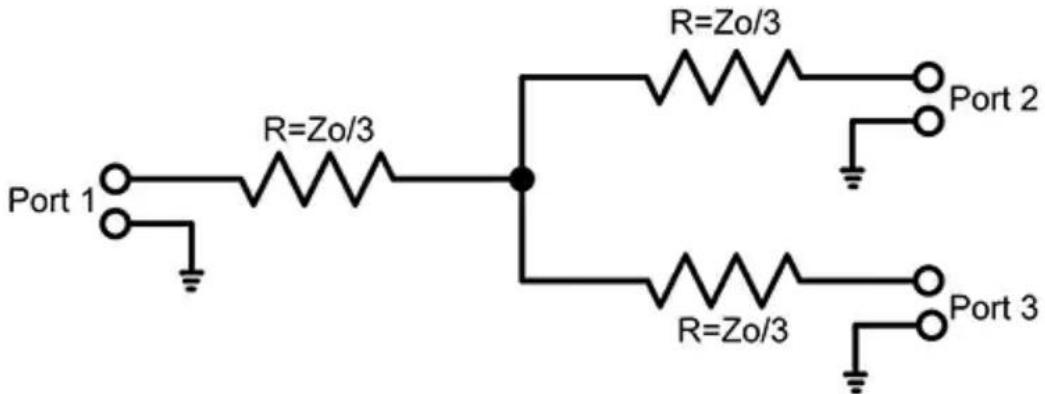
- Económico.
- Sencillo.
- Bajas perdidas de inserción.
- Buen aislamiento entre puertos de salida.

Combinadores / Divisores.



Combinadores resistivos: Mayor ancho de banda, menor aislación

Resistive Divider



Fuente: Digi-Key Electronics

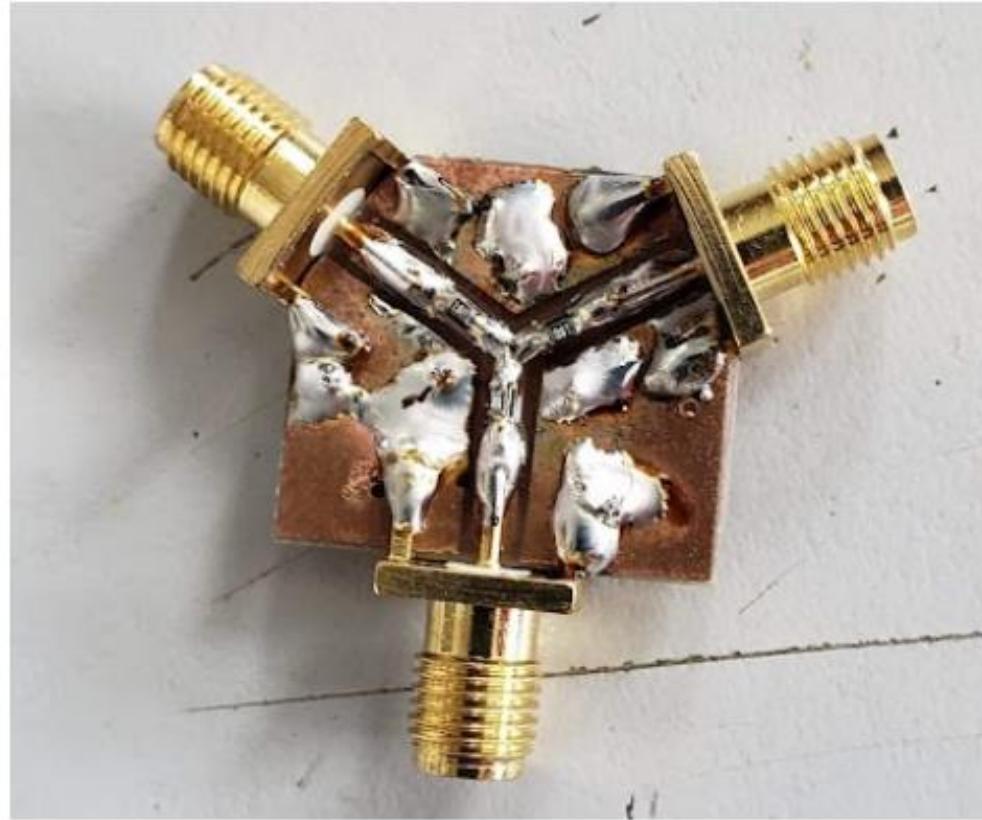
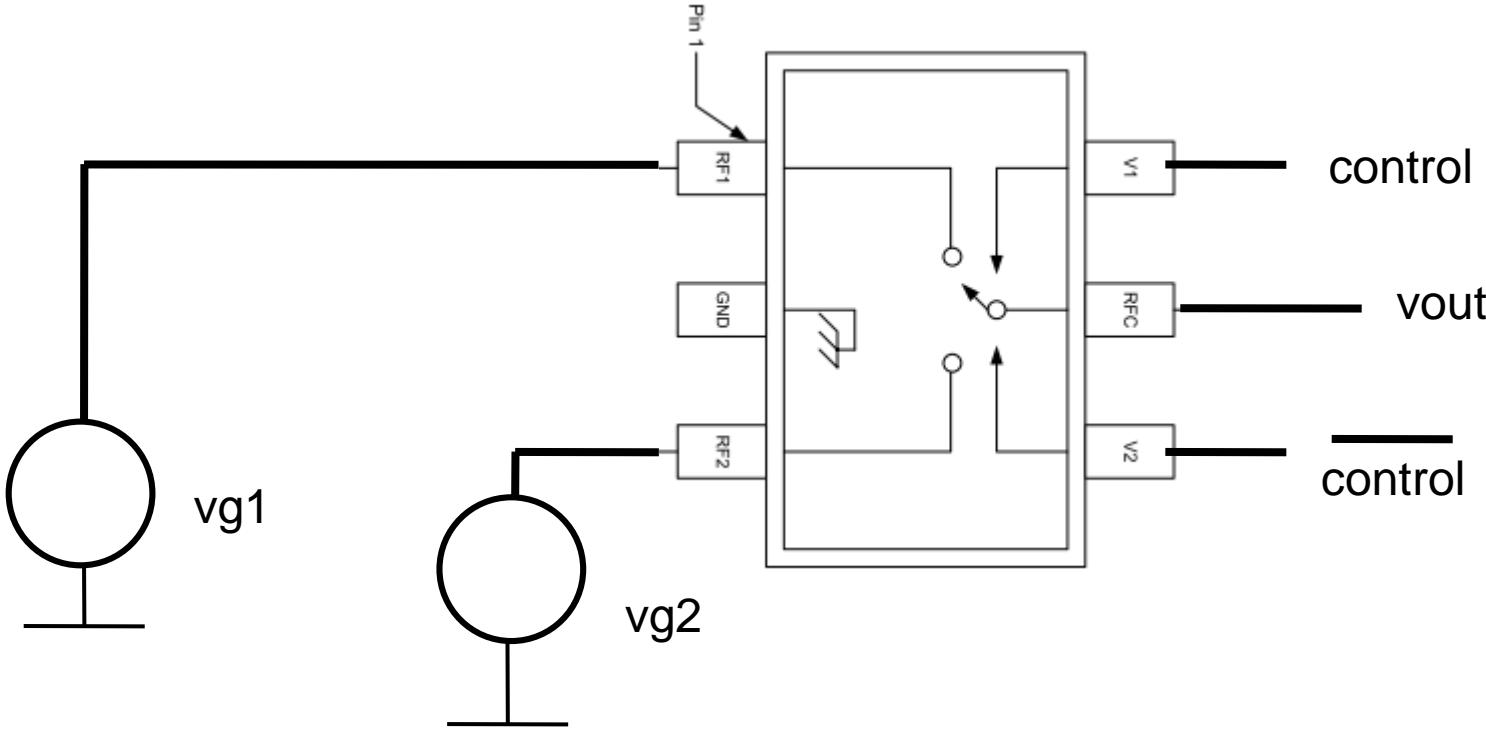


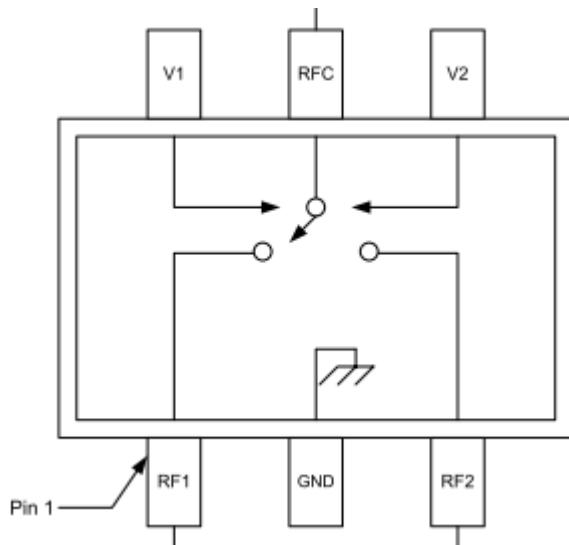
Figura 35: Foto del combinador construido y soldado

Switchs de RF

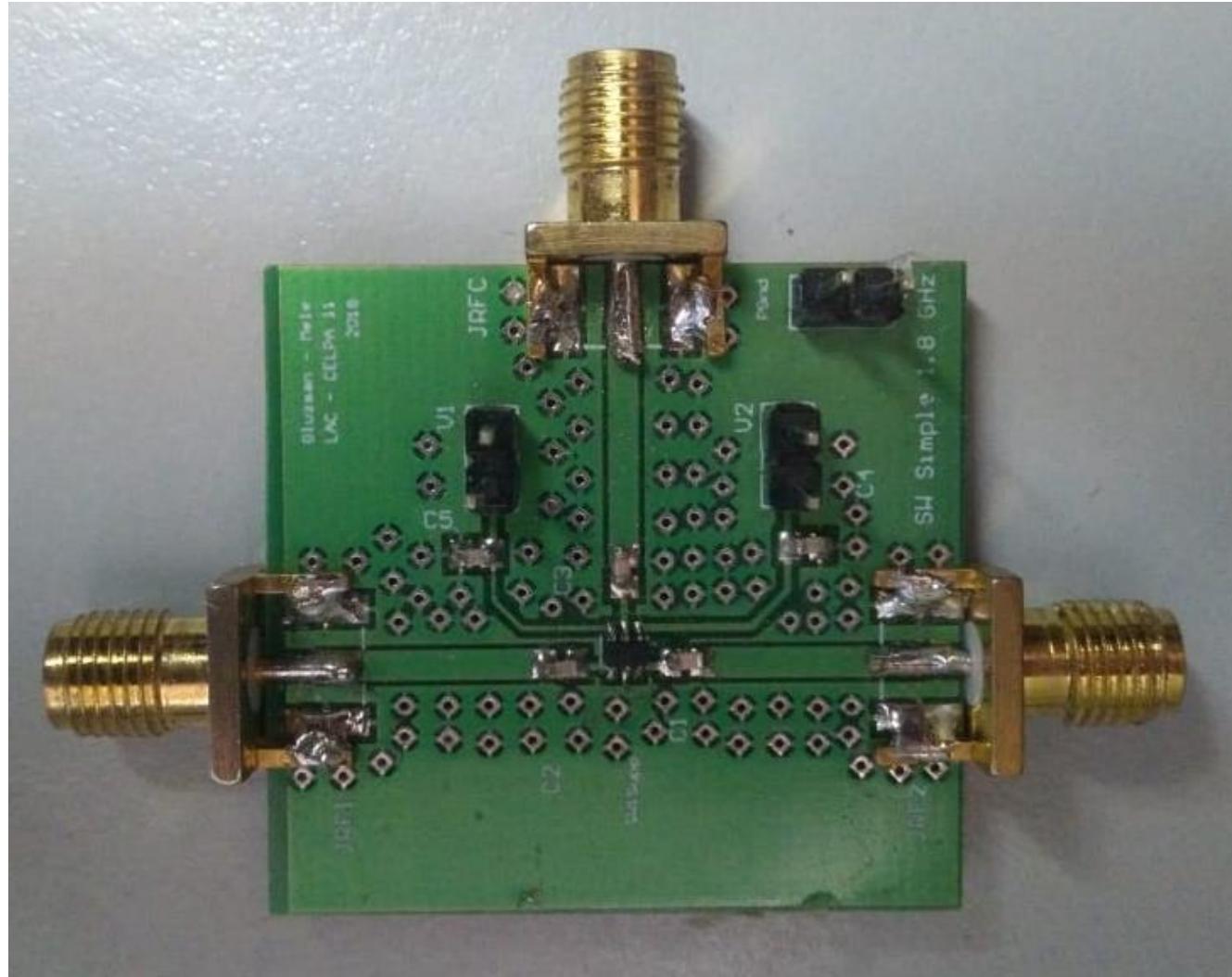
En otros casos, en lugar de sumar dos señales e ingresarlas al SDR, se desea hacer un multiplexado en el dominio del tiempo o elegir una de ellas. Para ello, pueden usarse llaves de RF

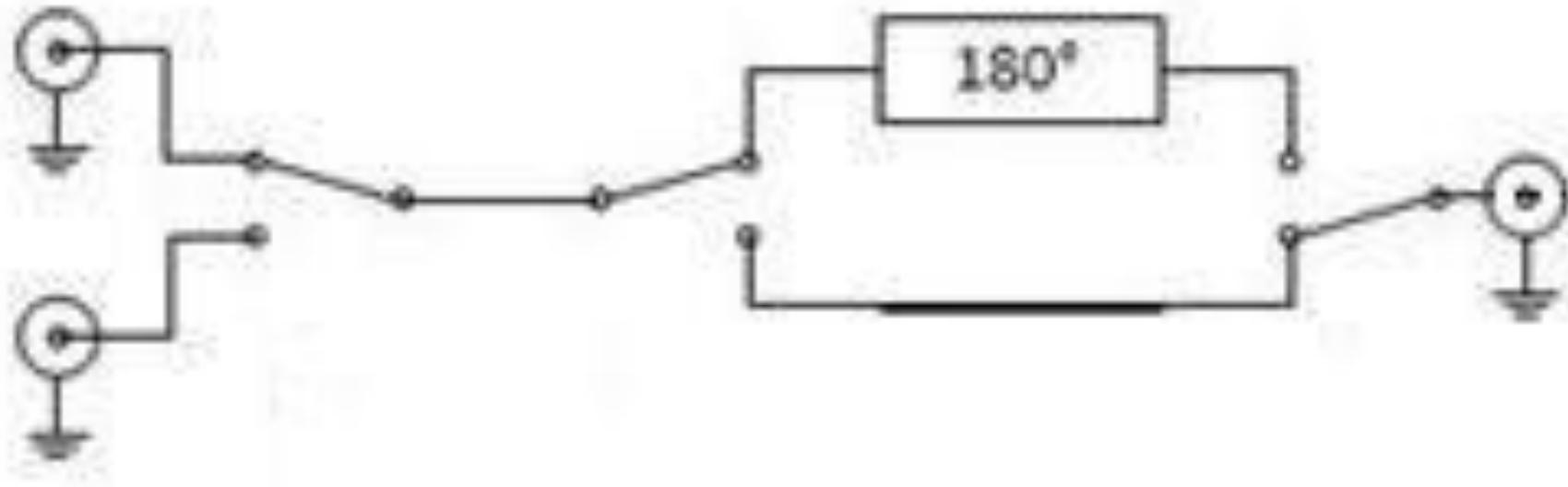


Si control = 1 entonces $v_{out} = vg_1$
Si control = 0 entonces $v_{out} = vg_2$

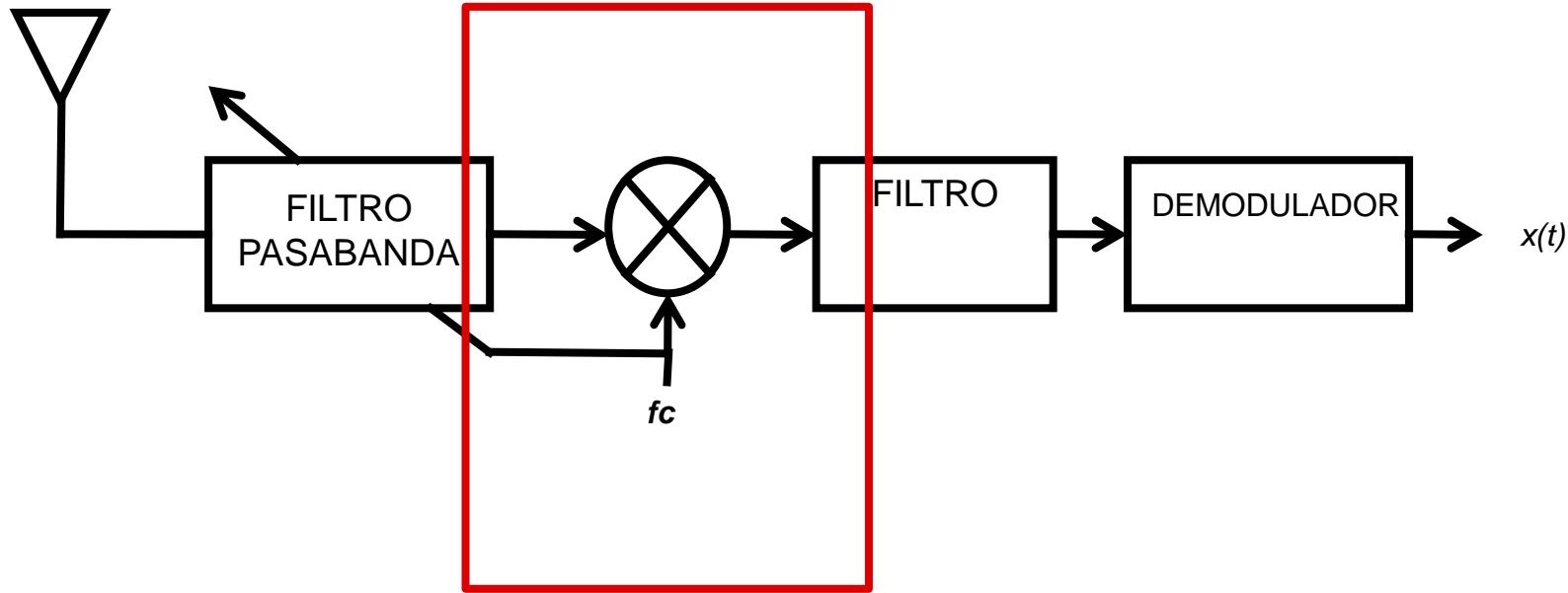


MASWSS0136





A pesar de que el SDR tiene un gran rango de operación en frecuencia, a veces suele ser necesario operar con señales por debajo del límite inferior o por encima del límite superior. Incluso puede ser necesario desplazar en frecuencia alguna señal para su mejor procesamiento. Para ello, suele ser necesario usar mezcladores que operen como down-converter o up-converter.



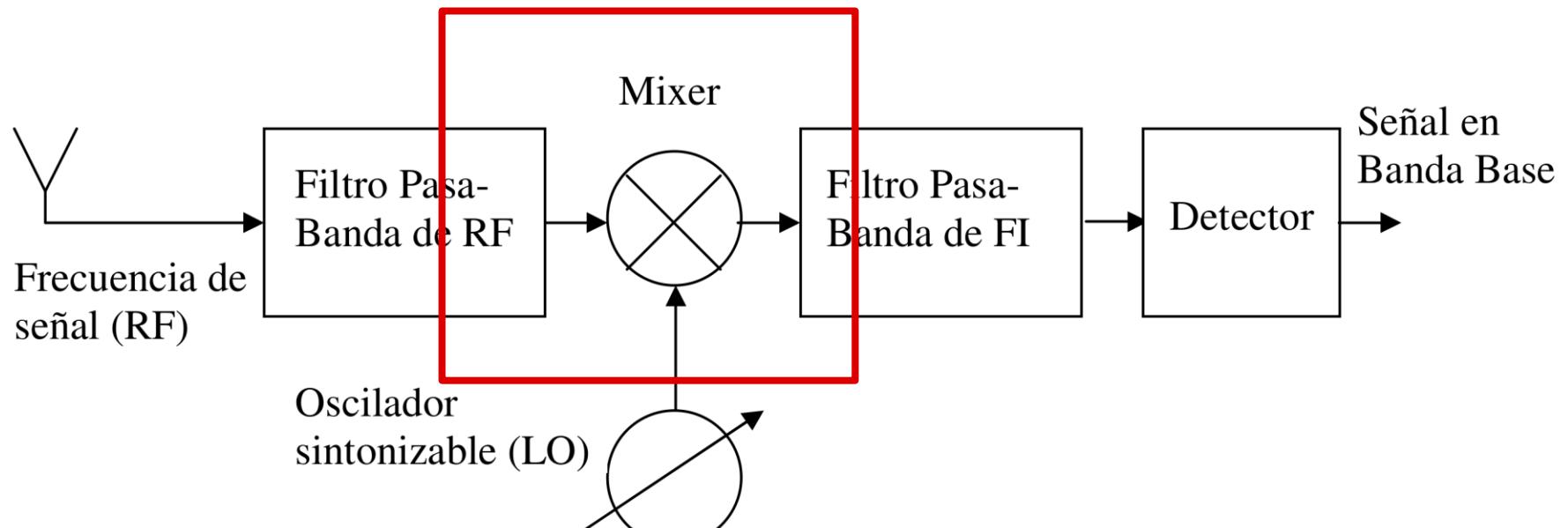
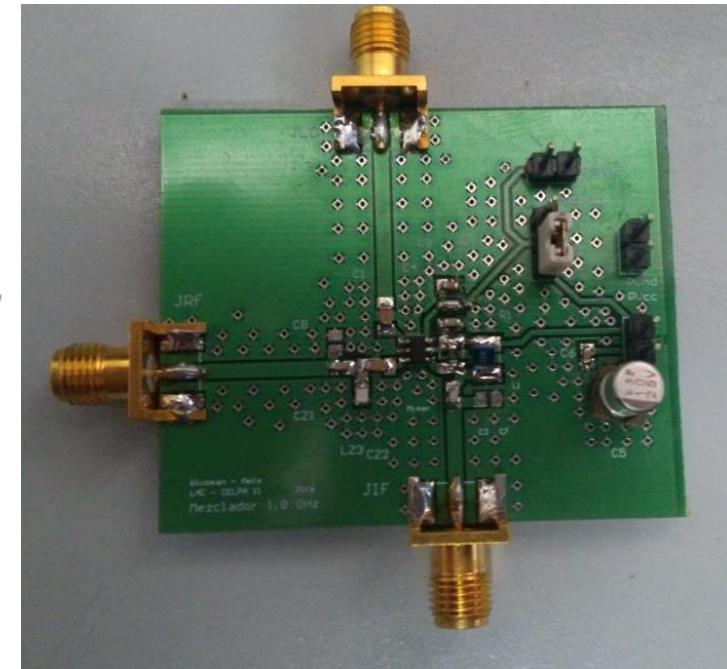
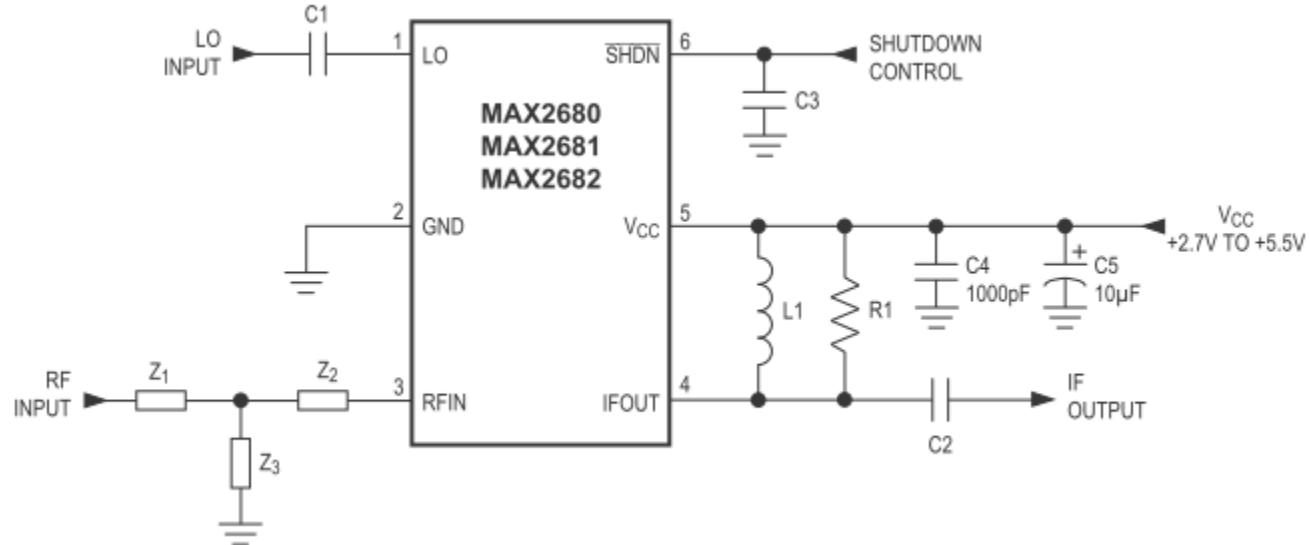


Figura Nro.1 Esquema del receptor superheterodino.

Mezcladores



Amplificadores de salida

En casos el cálculo del enlace requiera una determinada potencia a transmitir y esta no pueda ser generada por el sistema SDR , debe incluirse un amplificador de salida.

Circuladores - Aisladores

En casos donde se opere un sistema para transmitir y recibir en la misma banda, se comparta antena y la diferencia de las potencias a transmitir y recibir sean significativas, es necesario incluir un aislador para evitar dañar la entrada del SDR durante la transmisión.

Circuladores - Aisladores

Tipo de línea de transmisión pasiva de cuatro puertos.

Poseen dos entradas y dos salidas.

Se construye con tramos con longitudes específicas, de manera que:

Una salida sume a las señales.

Una resta a las señales.

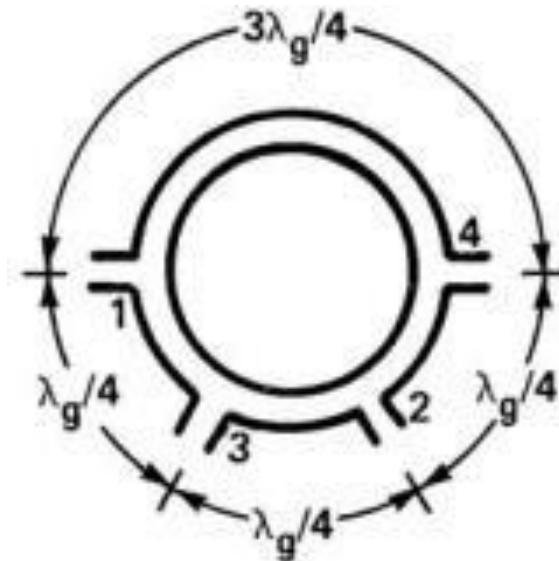
Uso de tecnología Microstrip/Stripline en RF.

Parámetros:

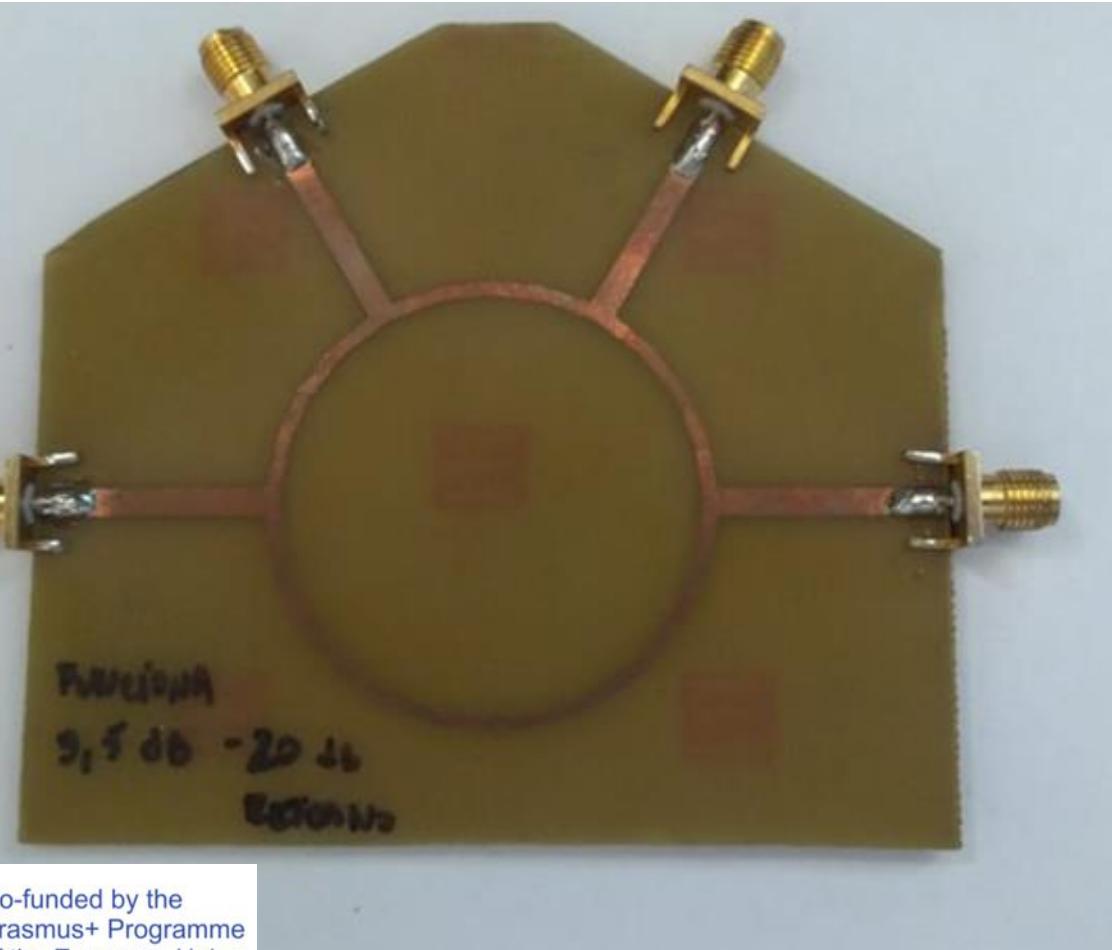
Impedancia ($Z_0=50$ Ohms)

Frecuencia (1.8 GHz)

Dieléctrico (FR4)



Circuladores - Aisladores

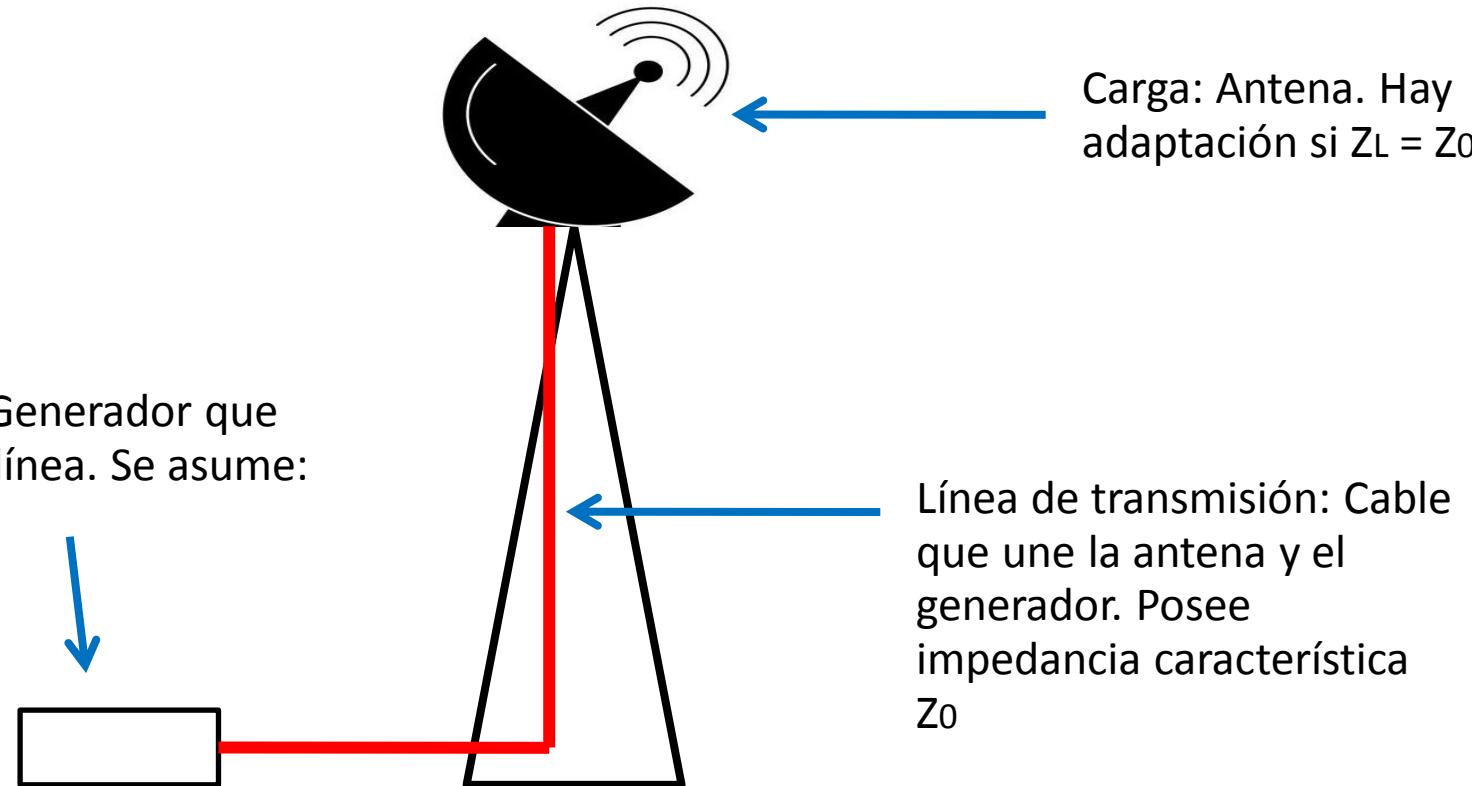


Circuladores - Aisladores



Líneas de Transmisión – Línea Adaptada

Fuente: Generador que excita la línea. Se asume:
 $Z_G = Z_0$

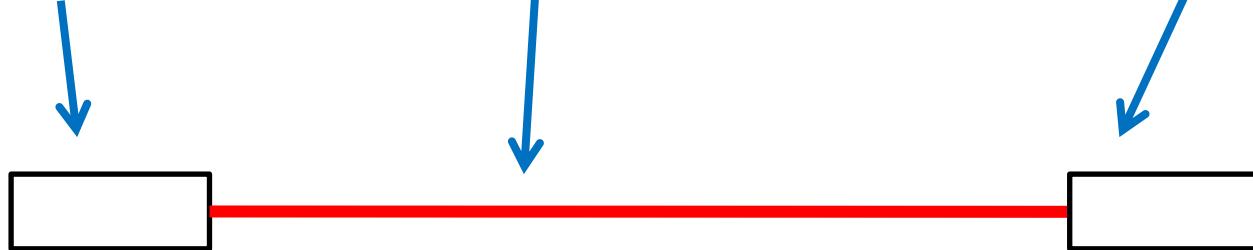


Línea de transmisión: Cable que une la antena y el generador. Posee impedancia característica Z_0

Carga: Antena. Hay adaptación si $Z_L = Z_0$

Líneas de Transmisión – Línea Adaptada

Fuente: Generador que excita la línea. Se asume:
 $Z_G = Z_0$



Línea de transmisión: Cable que une la antena y el generador. Posee impedancia característica Z_0

Carga: Hay adaptación si $Z_L = Z_0$

Líneas de Transmisión – Adaptadores

Cuando la línea de transmisión esta conectada a una carga de valor Z_0 , el coeficiente de reflexión es nulo. No existe en ese caso onda reflejada. Esta es la condición ideal en el diseño de sistemas de transmisión y recepción. La presencia de onda reflejada indica perdida de potencia por efecto de esa reflexión, que no accede a la carga, así como potencia aplicada a la salida del dispositivo generador que tienen que ser absorbidas sin provocar destrucción del mismo.

Cuando la carga es, por alguna forzada razón, distinta de Z_0 , se procede a su adaptación. Adaptar la carga implica conectar una red, en teoría sin perdidas, que modifica los niveles de impedancia para que Z_L sea vista por el generador como una carga Z_0 .

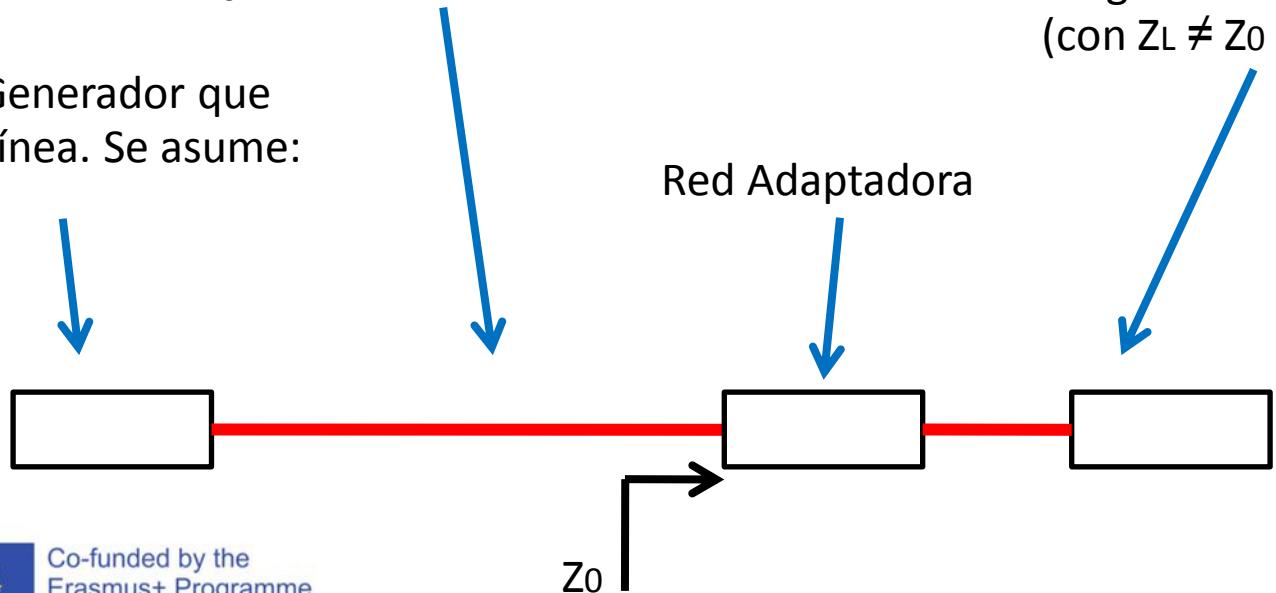
Existen numerosas formas de realizar la adaptación. Se analizan aquí algunas de ellas.

Líneas de Transmisión – Red adaptadora

Línea de transmisión: Cable que une la antena y el generador. Posee impedancia característica Z_0

Fuente: Generador que excita la línea. Se asume:
 $Z_G = Z_0$

Carga No adaptada
(con $Z_L \neq Z_0$)



Adaptación de impedancias

La adaptación de impedancias entre etapas es crítica para evitar desperdiciar potencia en reflexiones. En algunos casos incluso el sistema podría no funcionar por ello. Asimismo, debe tenerse en cuenta que la impedancia de cada una de las etapas varía con la frecuencia (no es una $Z_0 = 50 \text{ Ohms}$ cte.).

Adaptación de impedancias

Hay distintas técnicas de adaptación de impedancias. A la hora de elegir la óptima, deberemos conocer el tipo de carga a adaptar (que suele ser real e imaginaria) y el ancho de banda de la adaptación. Esto último se debe a que las adaptaciones suelen ser implementadas a una frecuencia y luego, a medida que nos alejamos de la misma, aparece una desadaptación que puede ser aceptable o no dependiendo de la aplicación

Líneas de Transmisión – Adaptadores $\lambda/4$.

En general este adaptador se emplea para adaptar una carga resistiva R_L distinta de Z_0 , a ese valor.

$\lambda/4$

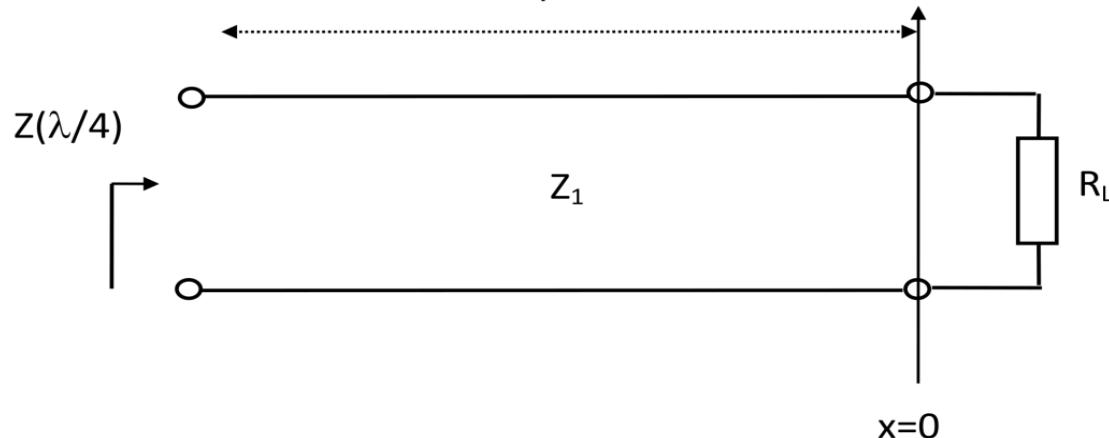


Figura 4.22 Adaptación de cuarto de longitud de onda

Se pretende entonces que:

$$Z(\lambda/4) = \frac{Z_1^2}{R_L} = Z_0$$

$$Z_1 = \sqrt{Z_0 \cdot R_L}$$

Líneas de Transmisión – Adaptadores $\lambda/4$.

Pasos:

Dados RL y Zo:

$$1-\text{Calculo} \quad Z_1 = \sqrt{Z_0 \cdot R_L}$$

Por ejemplo, una carga de $R_L=200\Omega$ se puede adaptar a 50Ω si la impedancia característica del tramo de cuarto de onda es $Z_1=100\Omega$.

Recuérdese que este adaptador se usa preferentemente si la carga es resistiva pura. Para ver este efecto de adaptación en el ábaco se debe normalizar respecto de Z_1 .

Líneas de Transmisión – Adaptadores $\lambda/4$.



Líneas de Transmisión – Adaptadores de Taco Simple

La adaptación denominada por taco simple utiliza lo que se denomina "taco", es decir, una línea de transmisión que se encuentra en corto circuito (CC) o circuito abierto (CA), conectada en paralelo. Como se ha visto, estas líneas ofrecen en bornes de entrada una impedancia que es reactiva pura. El uso combinado de estas líneas con tramos de línea sin perdidas permite diseñar redes de adaptación sin perdidas.

Se ve en la figura

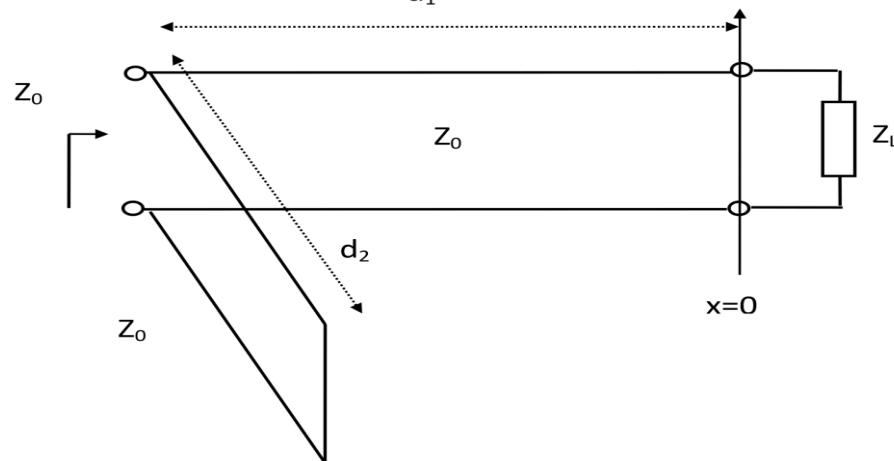
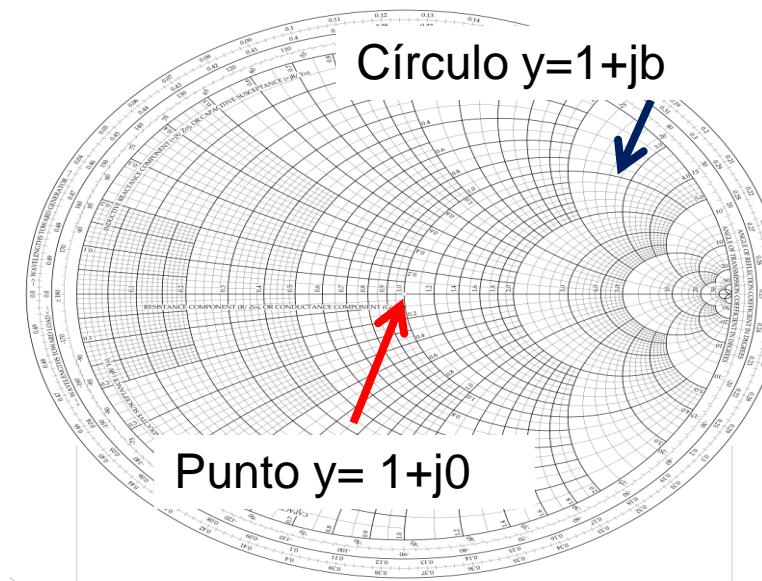


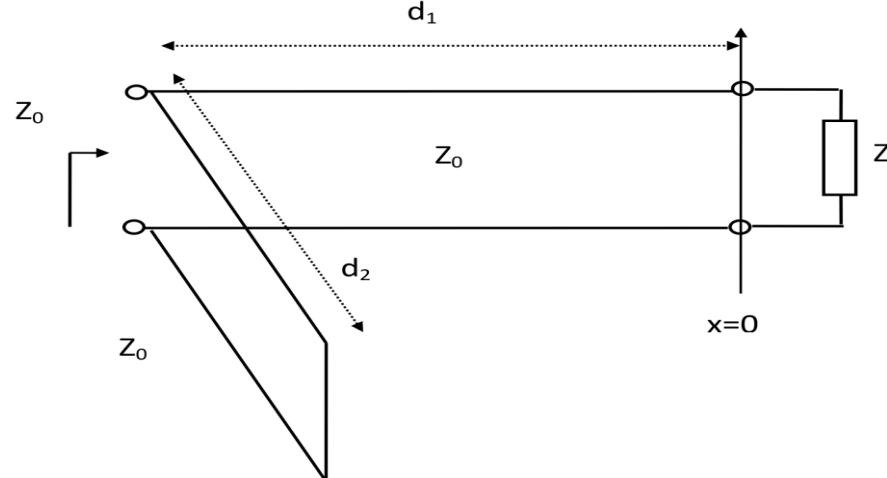
Figura 4.19 Adaptación con taco simple



Punto $y = 1+j0$



Líneas de Transmisión – Adaptadores de Taco Simple



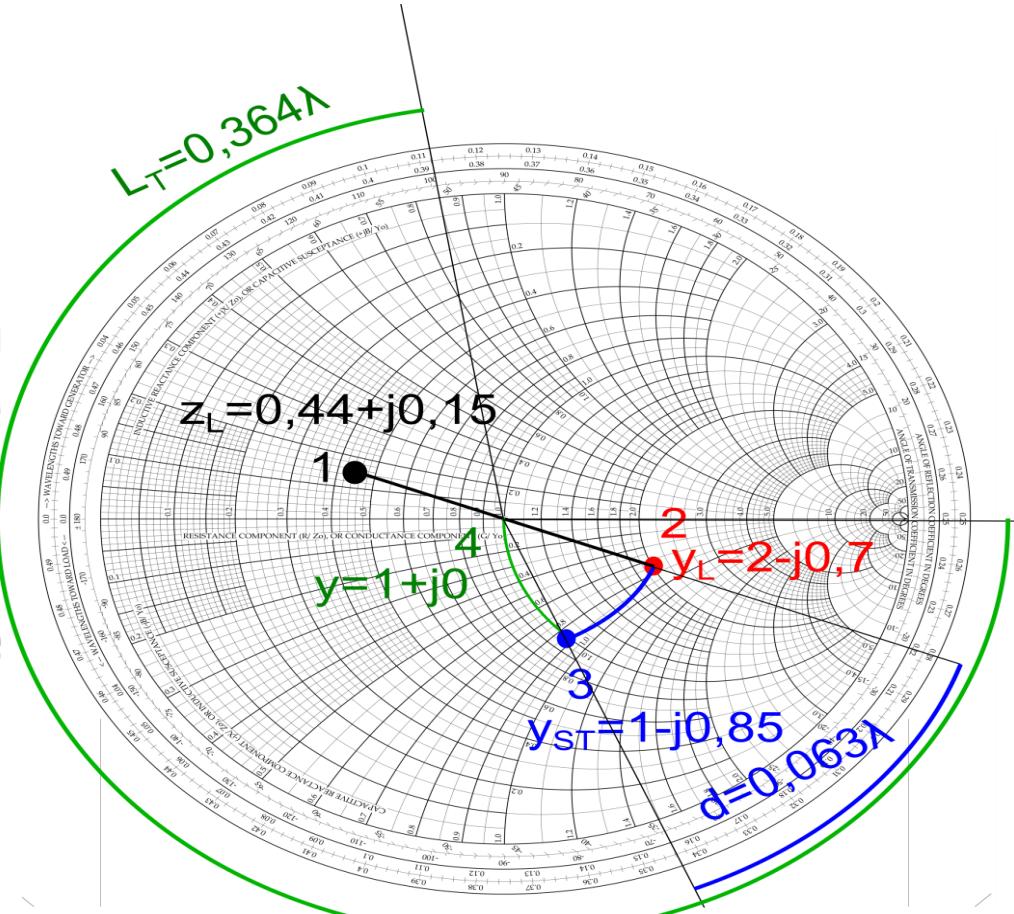
El tramo de línea de transmisión sin pérdidas d_1 modifica la admitancia Y_L de manera que a esa distancia, dicha impedancia se transforma en $Y_0 \pm jB$. El cálculo de la adaptación se efectúa normalizando la impedancia Z_L a Z_0 . Luego se procede a calcular la admitancia correspondiente normalizada y_L (Tomando el punto diametralmente opuesto a Z_L , la impedancia normalizada). El valor de admitancia normalizado se modifica moviéndose a ROE constante a lo largo de la línea 1, para transformarse en $1 \pm jb$. El “taco”, o línea de transmisión en CC o CA, cancela la parte imaginaria $\pm jb$, por que al estar en paralelo implica sencillamente una suma de una susceptancia de signo contrario.(Esta es la razón por la que se trabaja en admitancia).

Líneas de Transmisión – Adaptadores de Taco Simple

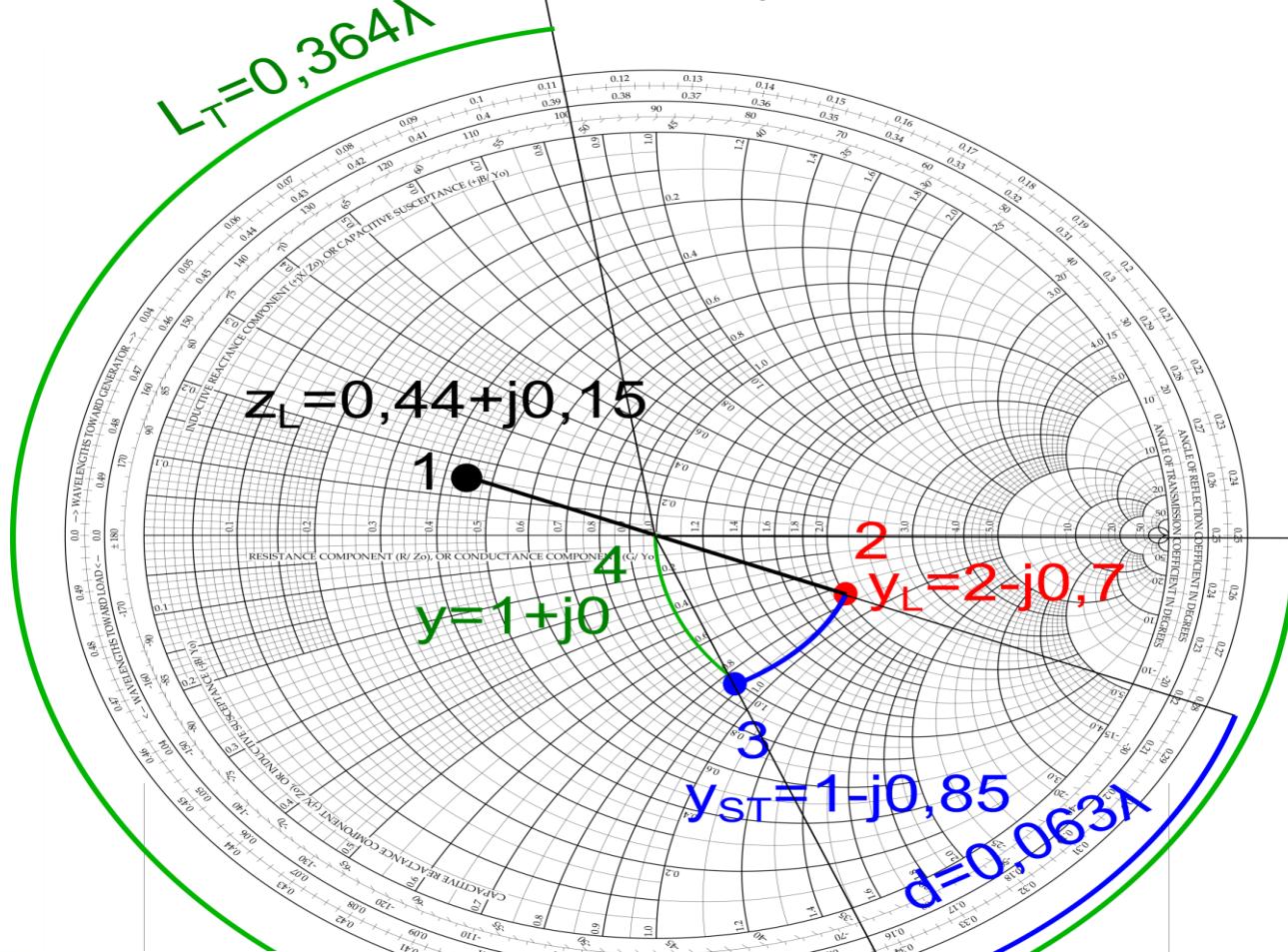
Ejemplo:

Adaptar una carga $Z_L = (22 + j7.5)\Omega$, a un generador de impedancia $Z_0=50 \Omega$, mediante líneas de transmisión de impedancia $Z_0=50 \Omega$.

Si se normaliza la impedancia se obtiene el valor $z_L = 0.44 + j0.15$. La admitancia normalizada correspondiente es: $y_L=2-j0.7$. el tramo de línea de transmisión 1 es usado para modificar la admitancia normalizada, en un movimiento a ROE constante. La admitancia se transforma en $1-j0.85$ si se produce un desplazamiento normalizado de $d_1=0.063\lambda$. En ese sitio se puede conectar un "taco" o línea de transmisión en paralelo para cancelar esa suceptancia. Si ese taco fuera uno en corto circuito, su longitud d_2 sería: $d_2=0.364\lambda$.



Líneas de Transmisión – Adaptadores de Taco Simple



Líneas de Transmisión – Adaptadores de Taco Simple

Pasos :

1 – Normalizo $Z_L = z_L = Z_L/Z_0$.

2- Como el taco se conecta en paralelo, busco el punto diametralmente opuesto del ábaco y_L .

3- Como el taco solo va a sumar (o restar) una parte imaginaria $-jB$, y el objetivo el llegar al punto $1+j0$. Debemos movernos en la línea de transmisión hasta el punto $1+jB$. El cual se encuentra en el círculo unitario.

Entonces, me muevo hacia el generador una distancia d_1 hasta llegar al círculo unitario.

**4- Una vez en el punto $1+jB$, sumo el taco en paralelo y llego al punto $1+j0$.
El sistema está adaptado.**

5- Dependiendo si el taco es CC o CA, obtengo su largo en fracciones de λ .

6- En función de la frecuencia y velocidad de fase de la línea, obtengo la el largo físico del taco en metros.

Líneas de Transmisión – Adaptadores de Taco Simple

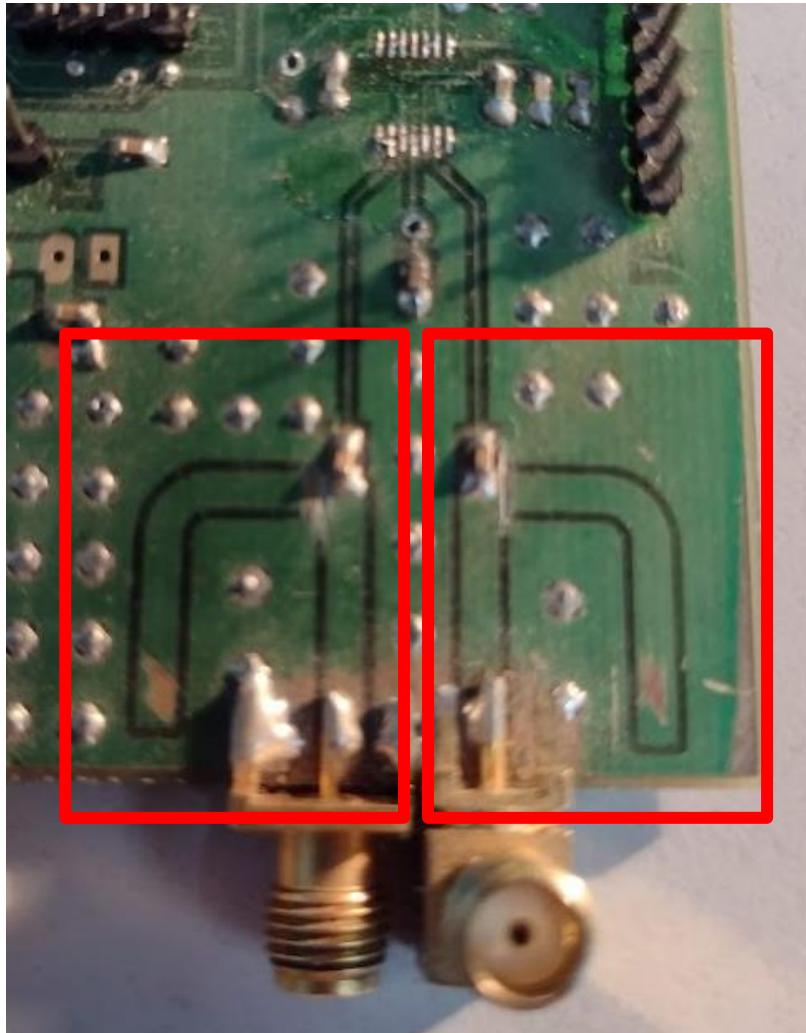
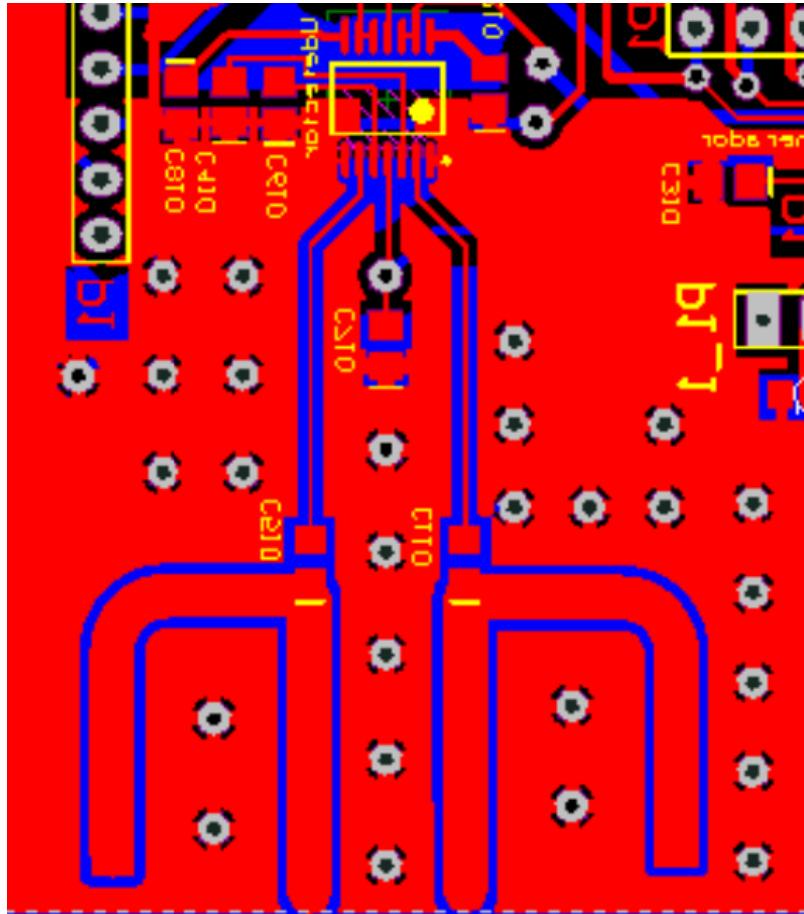
Ventajas:

- Es simple de calcular.
- Puede adaptar cargas que no sean reales puras.
- La impedancia característica del taco a es la misma que la de la línea de transmisión. O sea que el taco se puede armar con el mismo cable o material que compone la línea.

Desventajas:

- La distancia d_1 sale de la resolución del ejercicio, y en algunos casos no es accesible.
- La adaptación depende de la frecuencia. La adaptación se diseña e implementa a una frecuencia, si variamos la frecuencia aparece una desadaptación.

Líneas de Transmisión – Adaptadores de Taco Simple



Adaptaciones resistivas

Redes atenuadoras resistivas son ampliamente usadas en RF.

Atenuadores tipo π



Pi Attenuator Calculator

A Pi Attenuator uses a single series resistor, and two shunts to ground (input and output) to attenuate a signal. This calculator lets the user enter in the desired att and it will calculate the needed shunt resistors (R_1) and series resistor (R_2).

Pi Bridged-Tee Reflection Tee

ATTENUATION (DB)

10

IMPEDANCE

50

Ω

R_1

96.2475

Ω

R_2

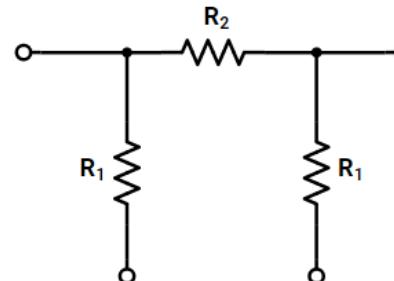
71.15125

Ω

FORMULAS

$$R_1 = Z_0 \left(\frac{10^{\frac{A_{dB}}{20}} + 1}{10^{\frac{A_{dB}}{20}} - 1} \right)$$

$$R_2 = \frac{Z_0}{2} \left(10^{\frac{A_{dB}}{20}} - \frac{1}{10^{\frac{A_{dB}}{20}}} \right)$$



Atenuadores tipo T



Tee Attenuator Calculator

This Tee Attenuator Calculator will calculate the values of R₁ and R₂. Please enter in the needed attenuation and the impedance of the line to be matched.

Pi Bridged-Tee Reflection **Tee**

ATTENUATION (DB)

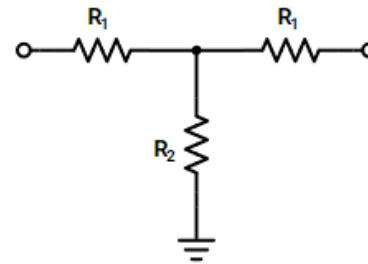
IMPEDANCE

 Ω**R₁** Ω**R₂** Ω

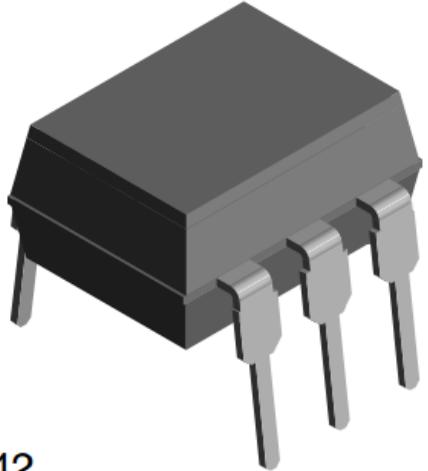
FORMULAS

$$R_1 = Z_0 \left(\frac{10^{\frac{A_{dB}}{20}} - 1}{10^{\frac{A_{dB}}{20}} + 1} \right)$$

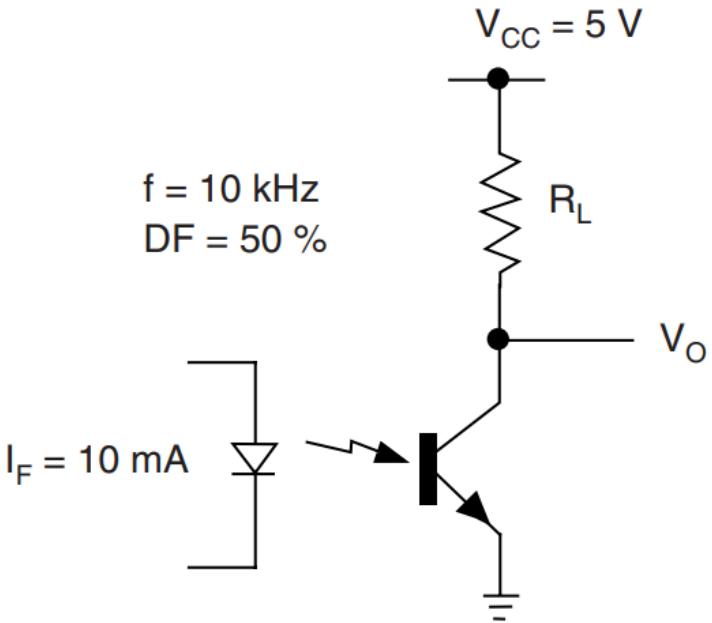
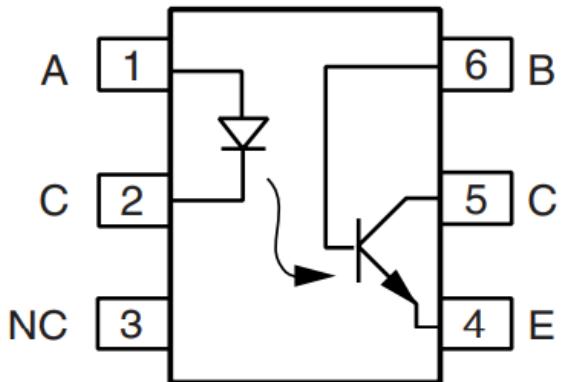
$$R_2 = 2Z_0 \left(\frac{10^{\frac{A_{dB}}{20}}}{10^{\frac{A_{dB}}{10}} - 1} \right)$$



Optoaisladores

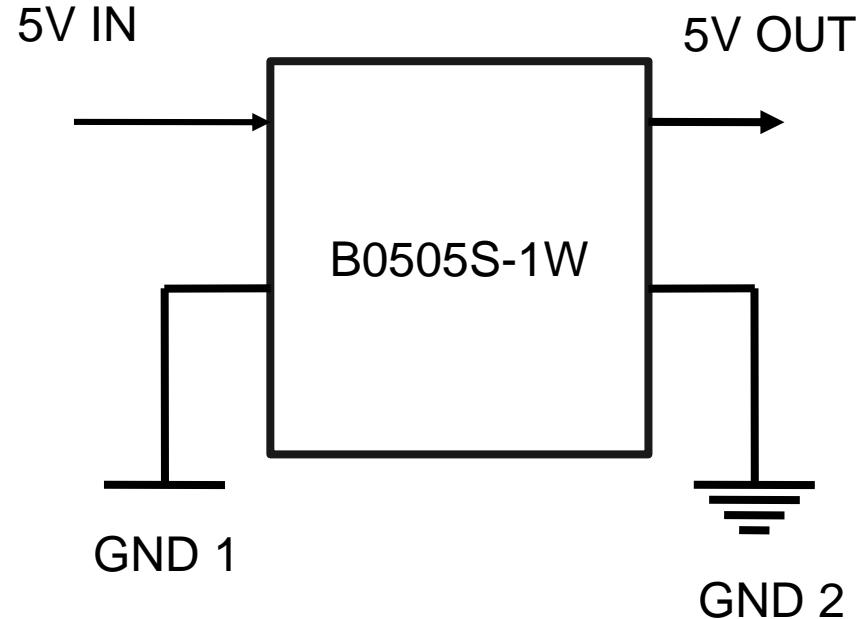
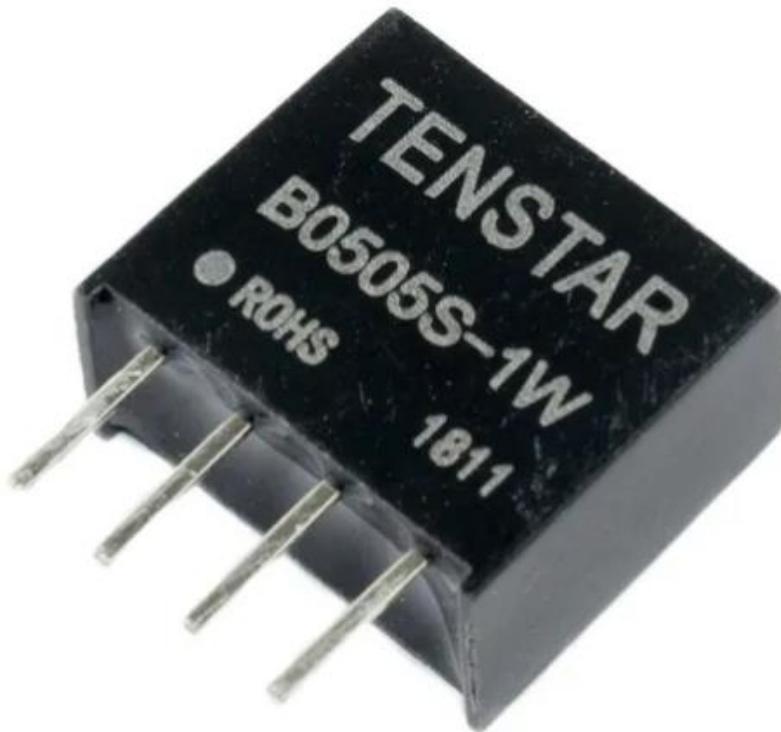


21842



n25_14

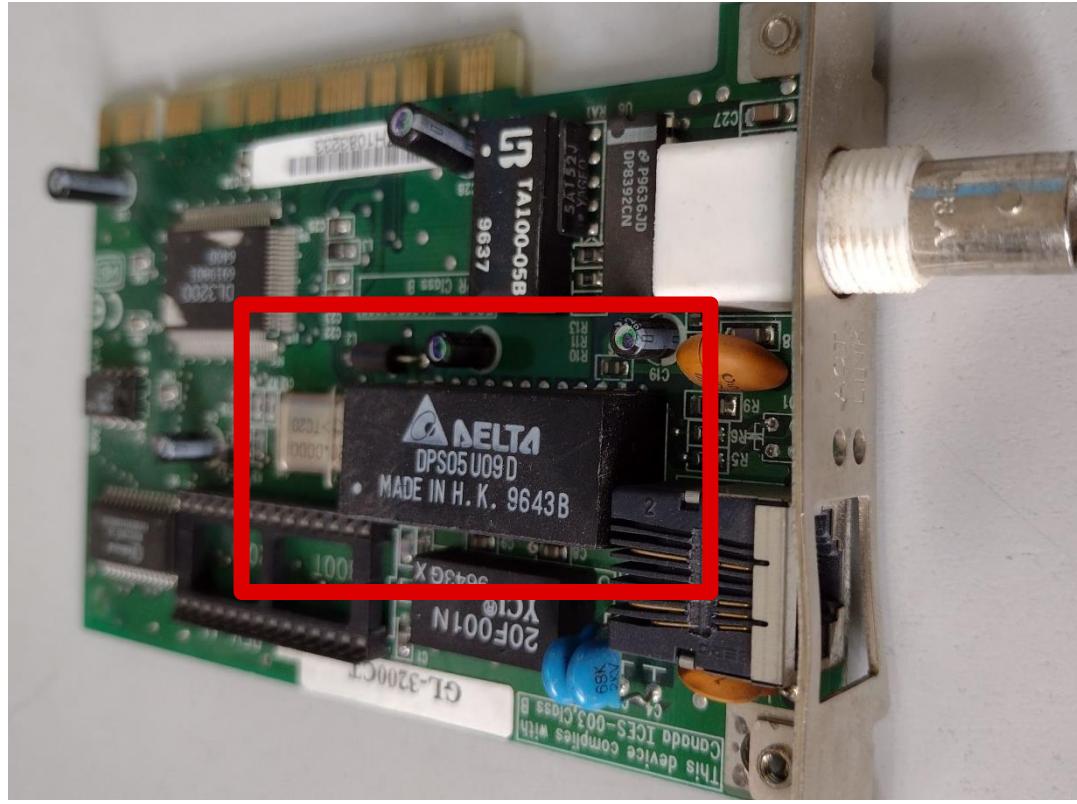
Fuentes Aisladas



Fuentes Aisladas



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



ELECTRICAL CHARACTERISTICS @25°C

Model	Input Voltage Nominal / Range (VDC)	Output Voltage (VDC)	Output Current (mA)	Regulated Output	Enable Function	Efficiency (%) TYPE	Isolation
DPS0501D	5	4.75-5.25	0	120	N	N	70
DPS0502D	5	4.75-5.25	0	200	N	N	70
DPS05U09D	5	4.75-5.25	9	200	N	N	75
DPS05U09MD	5	4.75-5.25	0	200	N	N	75

Limitadores con diodos

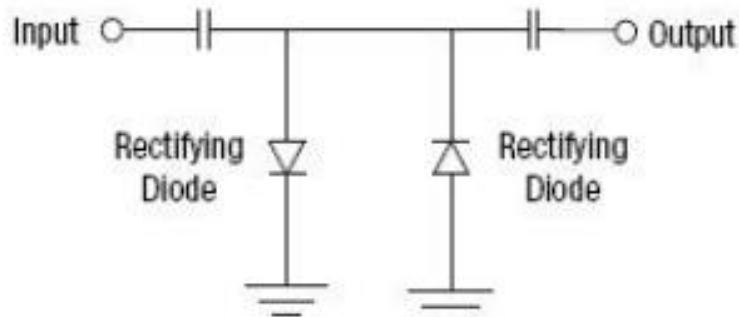
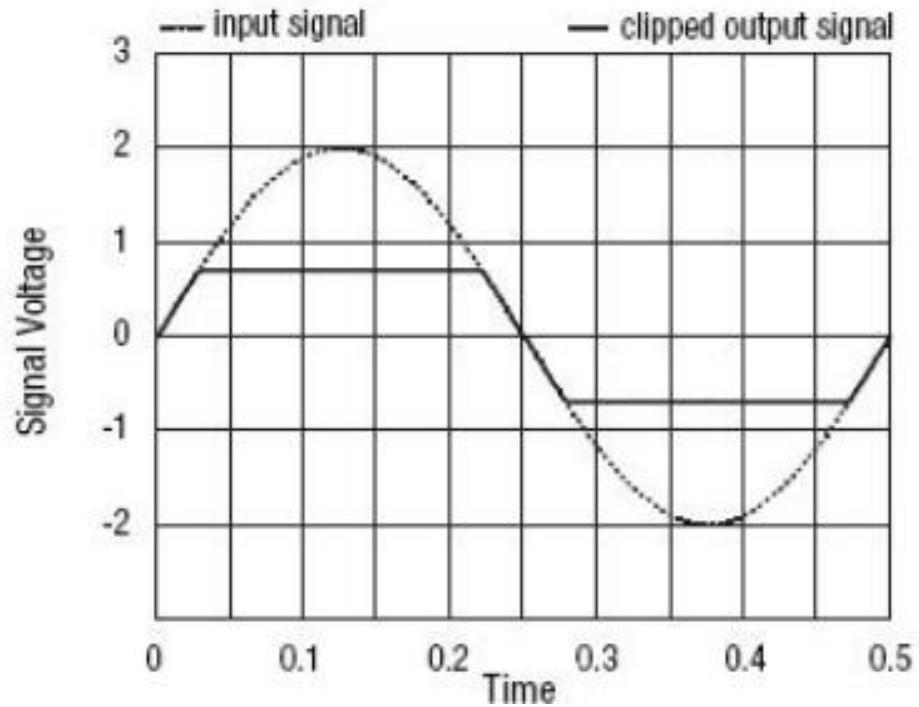
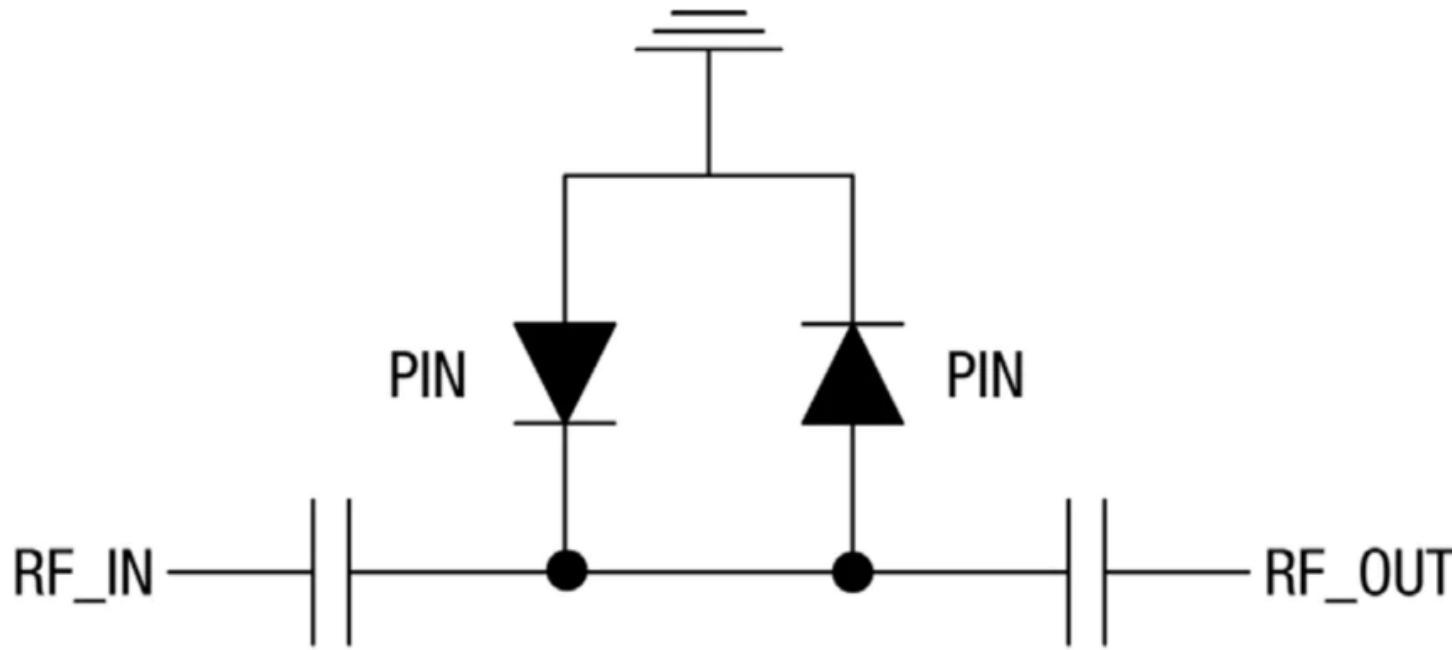


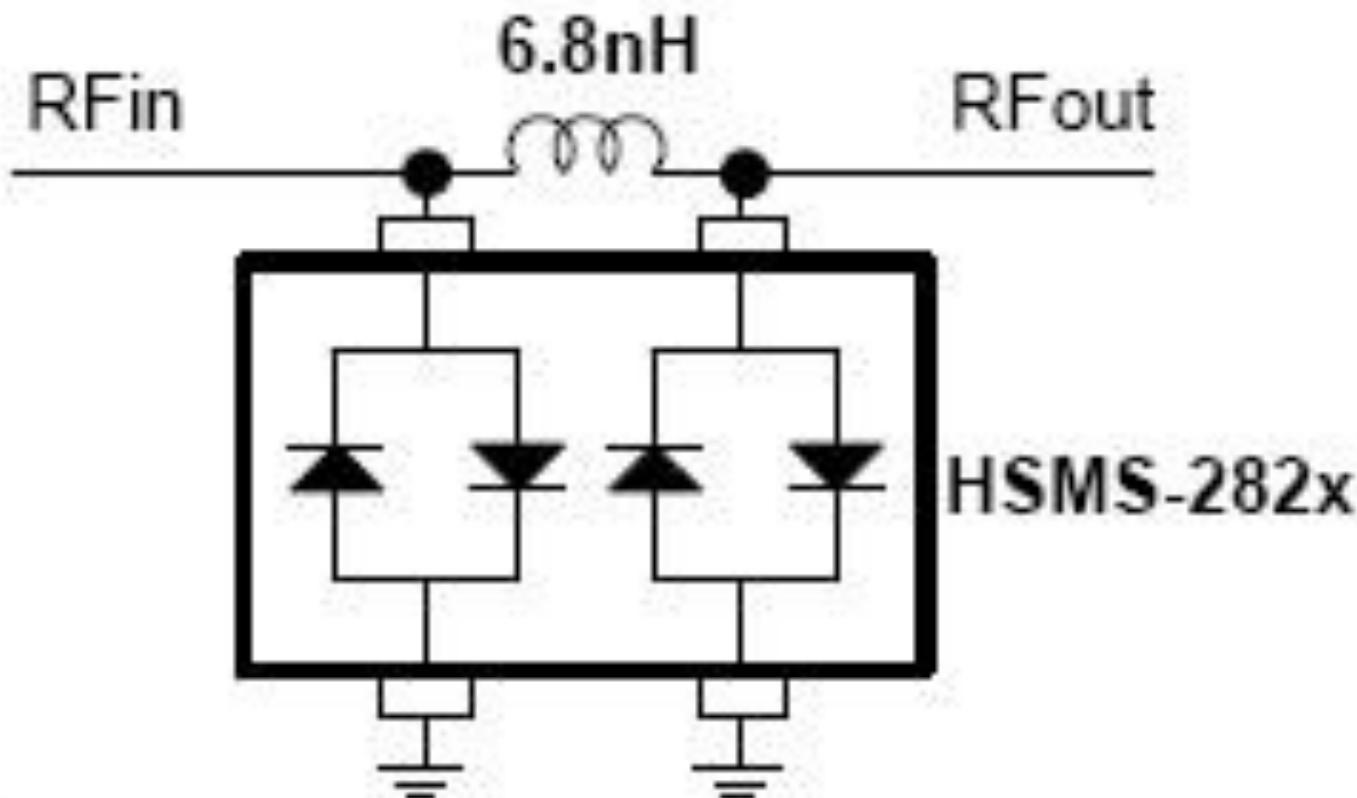
Figure 4. Clipper Circuit and Large Signal Input/Output Waveforms



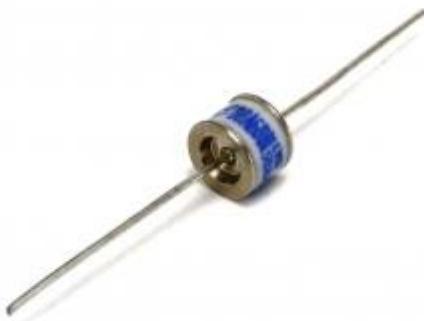
Limitadores con diodos



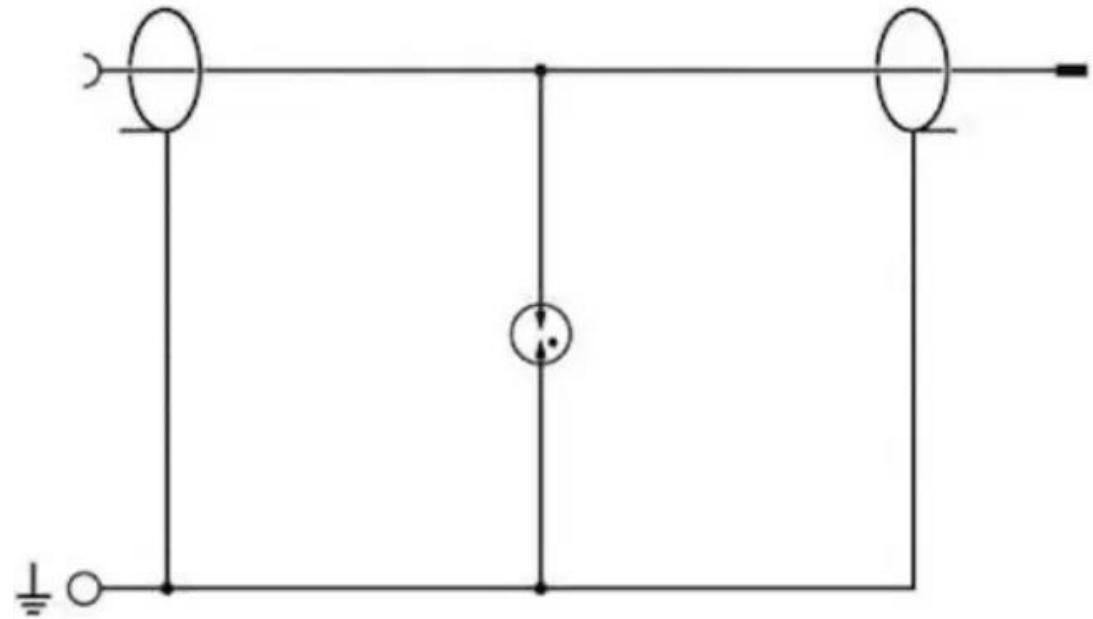
Limitadores con diodos



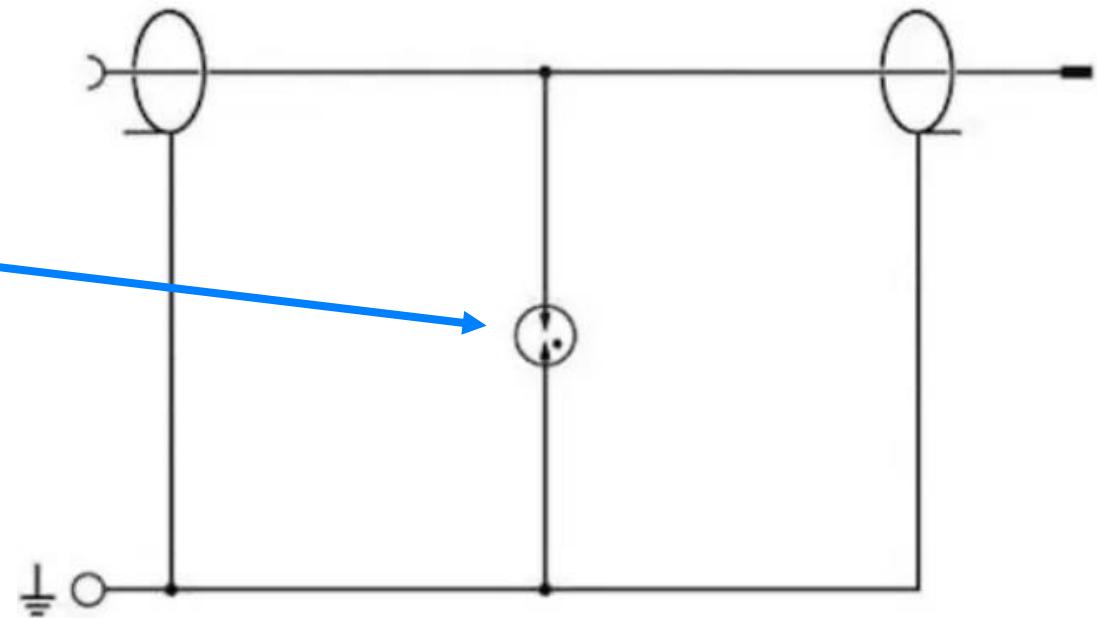
Descargadores gaseosos



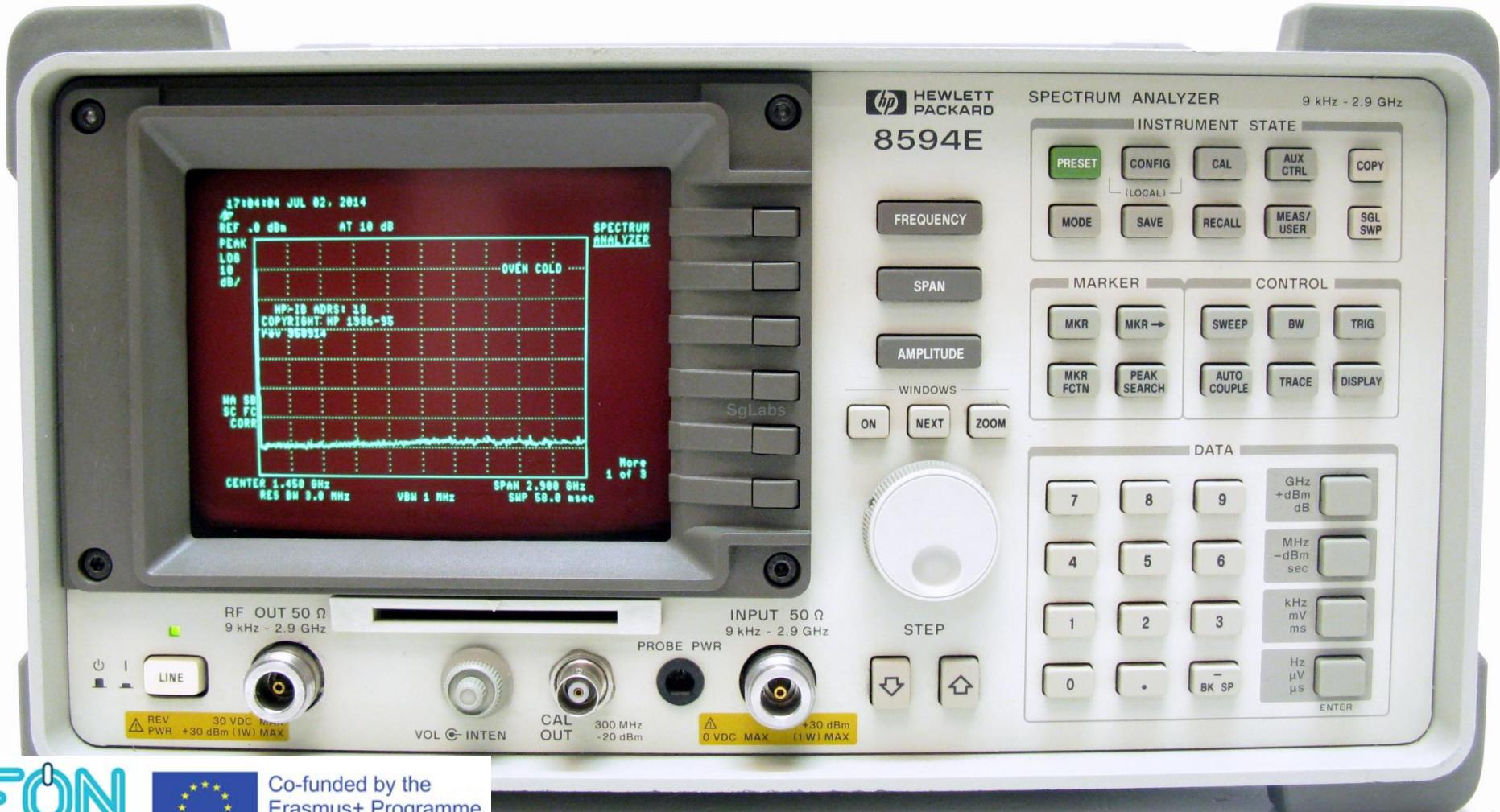
Descargadores gaseosos



Descargadores gaseosos



Analizador de espectros



Analizador de espectros: Precauciones

¡No sobrepasar el nivel máximo de entrada!

Usar atenuadores



Analizador de espectros: Precauciones

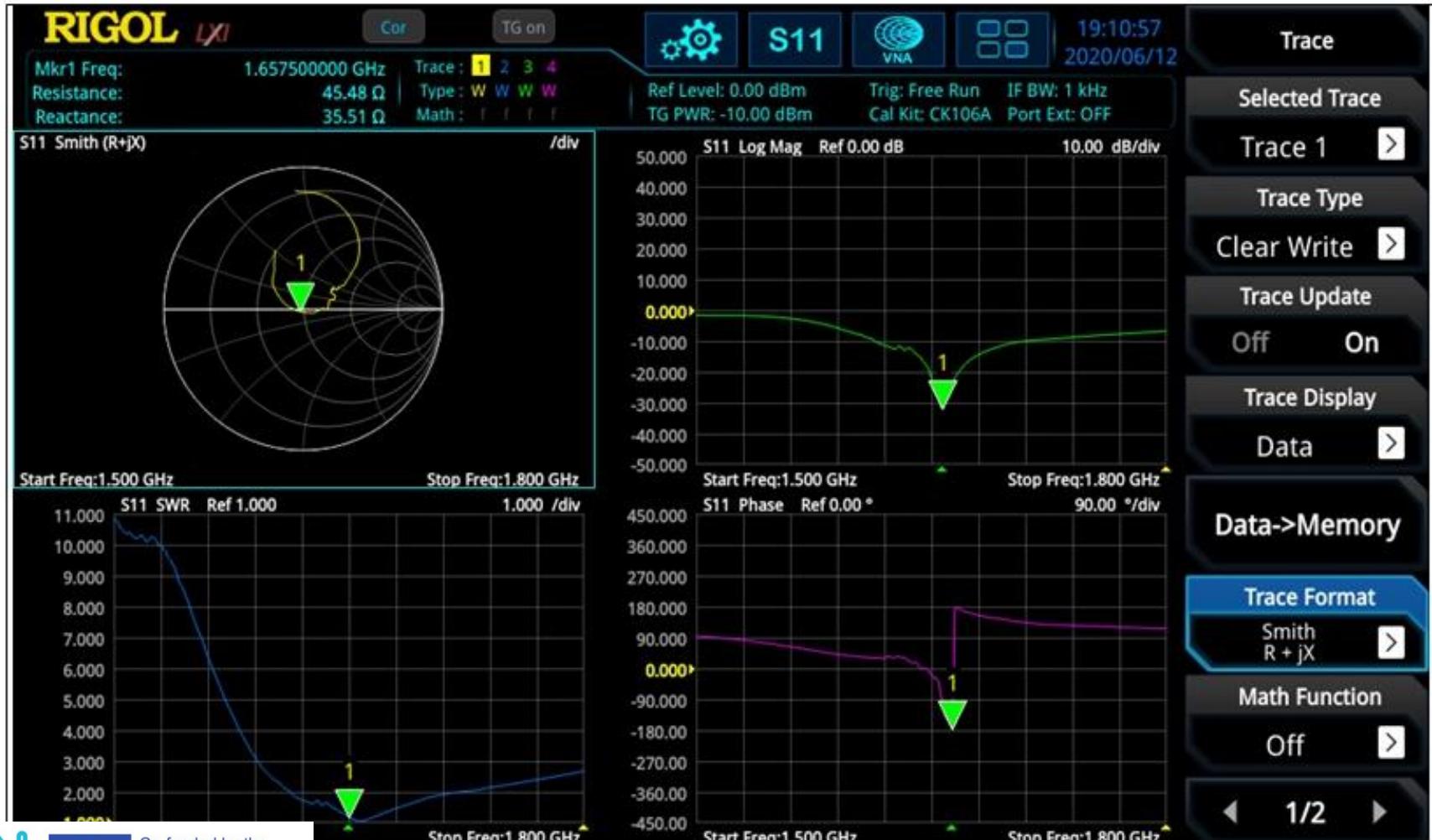
¡No ingresar señales con componentes de continua!

Medir con otro instrumento y verificar que el sistema tenga capacitores de desacople en el punto de medición.

Analizador Vectorial de Redes



Analizador Vectorial de Redes



RIGOL

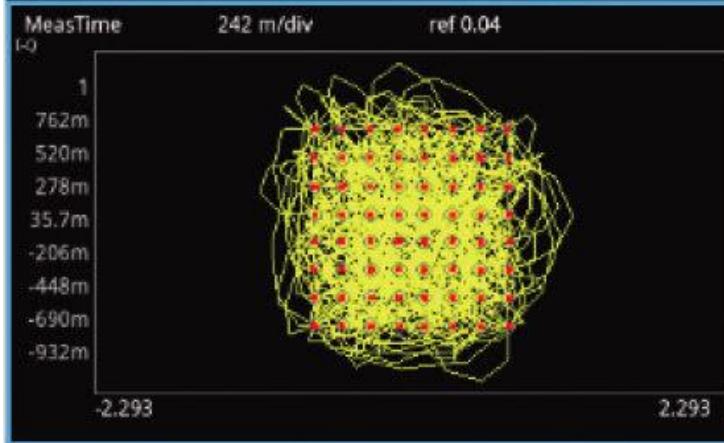
LXI Rmt Ext

Center Freq : 1.000000000 GHz
 Span : 3.125000 MHz

Trace : 1 2 3 4 5 6
 Type: W W W W W W
 Det: N N N N N N

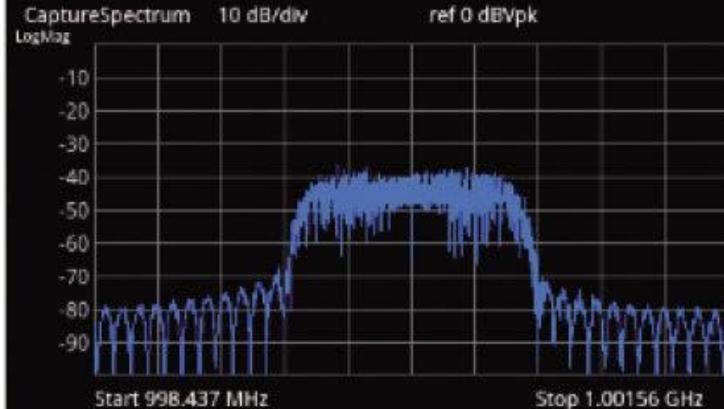


14:13:33
 2018/09/23



Sym

0	11111101	00010110	00111010	11001011
32	00111100	01111101	11010000	01101011
64	01101110	11000001	01101011	11101010
96	10100000	01010010	10111100	10111011
128	10000001	11001110	10010011	11010111
160	01010001	00100001	10011100	00101111



Demod Summary

EVM	= 772.0808	m%	rms
2.1823	% pk at sym		162
Mag Error	= 1.3717	m%	rms
-9.5462	% pk at sym		24
Phase Error	= 761.7466	m	%rms
-3.7507	% pk at sym		200
Freq Offset	= 8.6433		Hz

Meas Setup

ModulFormats

QAM Format
 QAM 64



Meas Interval

500

Points/Symbol

4

Symbol Rate

1.000000 MHz

1/2



nanoVNA

