



**Unión de Radioaficionados
Españoles
Sección local de Madrid**



Ejemplos prácticos de realización de medidas con (nano)VNA.

EA4EJR - Pedro



Índice

- ▼ Introducción.
- ▼ Proceso de calibración.
- ▼ Medidas en 1 puerto (reflexión)
- ▼ Medidas en 2 puertos (transmisión)
- ▼ Funciones avanzadas.



Introducción

- ▼ Esta presentación es una continuación de la que se realizó en su día sobre VNA, concretamente enfocada al nanoVNA.
- ▼ En esta veremos SOLAMENTE aspecto prácticos de como realizar determinadas medida



Breve descripción de un VNA

- ▼ Muy brevemente ya que se trató en la charla anterior.
- ▼ Un VNA es un equipo de medida que mide parámetros “S”:
 - ▼ S_{11} → Reflexión en la entrada. ($\sim$ SWR)
 - ▼ S_{21} → Ganancia (o pérdida) del dispositivo.
 - ▼ S_{22} → Reflexión en la salida.
 - ▼ S_{12} → Ganancia inversa.

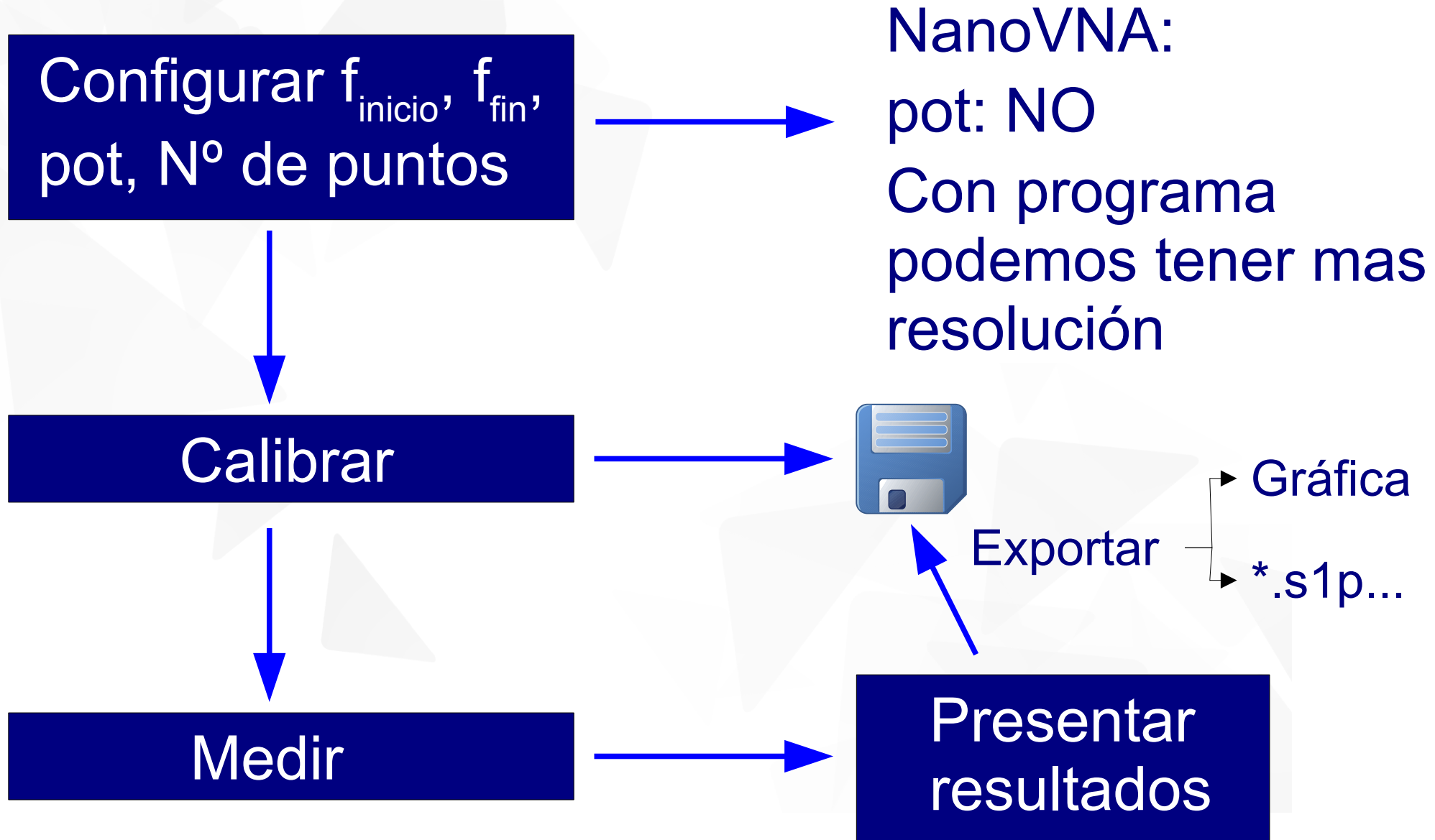


Breve descripción de un VNA

- ▼ Que NO es un VNA:
- ▼ No es un medidor de estacionarias, ya que aunque las mide, proporciona además la FASE de la misma.
- ▼ No es un polímetro, ya que el polímetro mide SOLO en DC, aquí podemos medir en un margen, en general amplio de frecuencias.
- ▼ No es un analizador de espectros, aunque las gráficas se le parezcan



Proceso de medida





Calibración

- Antes de realizar cualquier medida es imprescindible calibrar. ¿Por qué?
- Necesitamos cables que conecten nuestro equipo de medida con el dispositivo a medir.
- Los cables de medición influyen, la impedancia que medimos de una antena, por ejemplo, si no está adaptada cambia con la longitud del cable.
- Los cables pueden llegar a ser largos y hay que descontar las pérdidas.
- El nivel de salida de nuestro propio equipo de medida puede variar con la frecuencia.
- Que impedancia del VNA sea algo distinta de 50Ω



Calibración

- ▼ Con la calibración eliminamos todas estas incertidumbres.
- ▼ Hay 2 tipos de calibración que debemos realizar:
 - ▼ Reflexión
 - ▼ Transmisión
- ▼ ¿Se puede medir sin calibrar?
 - ▼ Si, para medidas que no necesitemos conocer otra información → Dipolo se ha ido en frecuencia.
 - Frecuencias de corte de un filtro.
 - Si un amplificador funciona o no



Calibración. Consideraciones:

- ▶ Si el equipo tiene dos puertos activos (mide también el S_{12} y S_{22}), el calibrado hay que hacerlo en los dos (el nanoVNA, no)
- ▶ Una calibración sirve siempre que no cambiemos la frecuencia, la potencia o el n° de puntos de medida.
- ▶ Tampoco podemos cambiar los cables con los que hemos calibrado aunque en algunos equipos se pueden compensar si añadimos algo mas de cable pero esto no tiene en cuenta las pérdidas del mismo, solo la longitud → Poca, si no se pierde precisión.
- ▶ Como es un proceso tedioso, se pueden guardar las calibraciones.

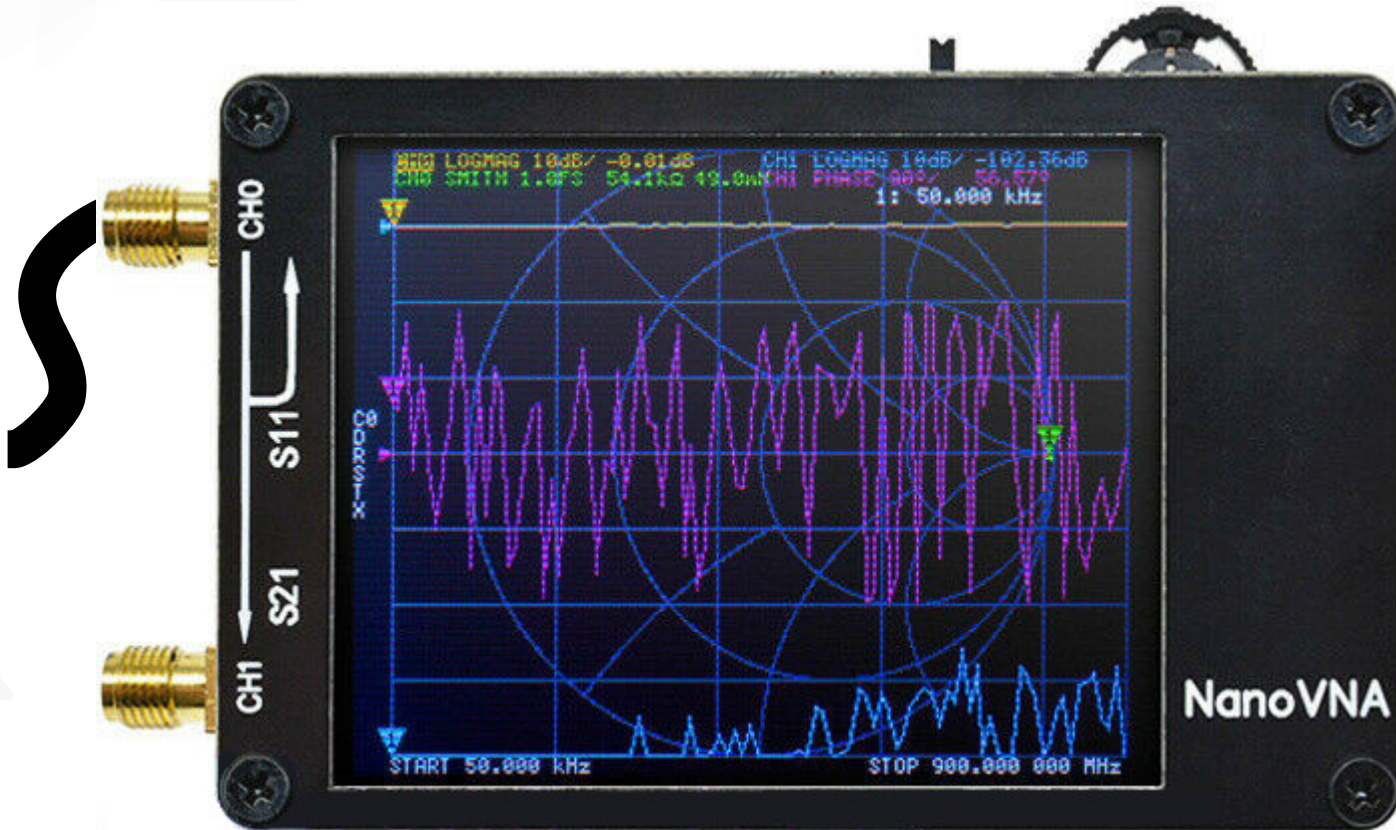


Calibración en reflexión

Corto

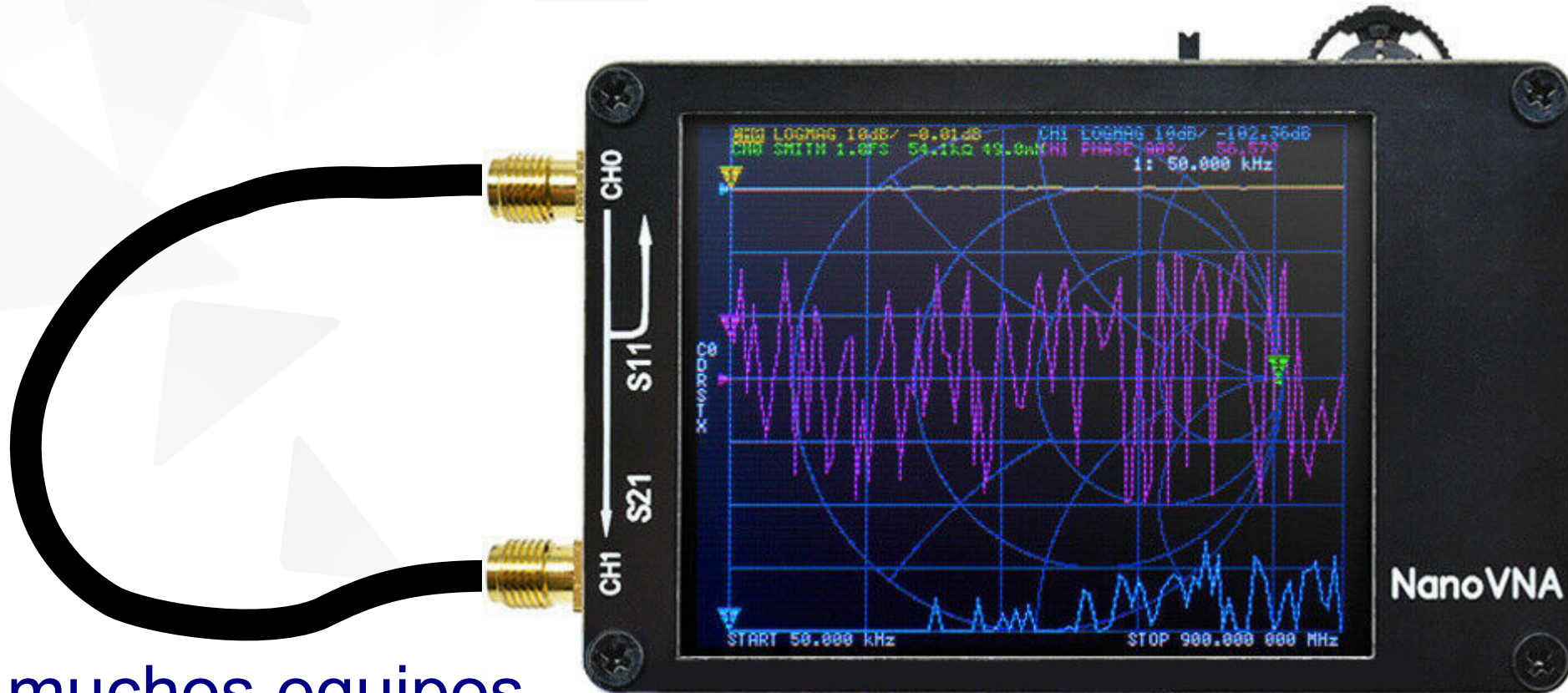
Abierto

Carga
50 Ω



Calibración en transmisión

Transmisión → Señal directa
→ Aislamiento



En muchos equipos,
las medidas de aislamiento se pueden saltar

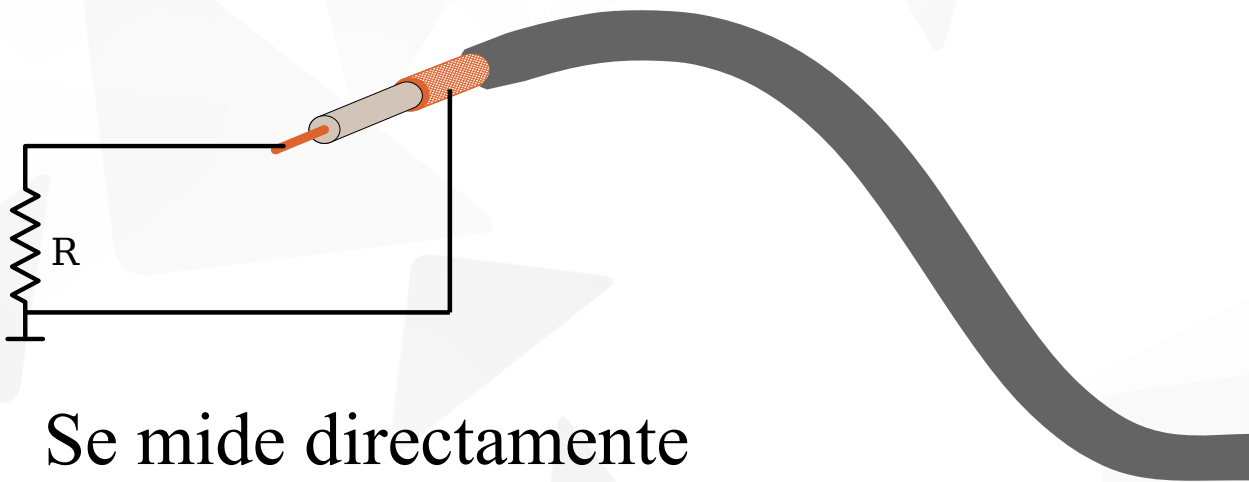


Medidas de un puerto; S_{11} .

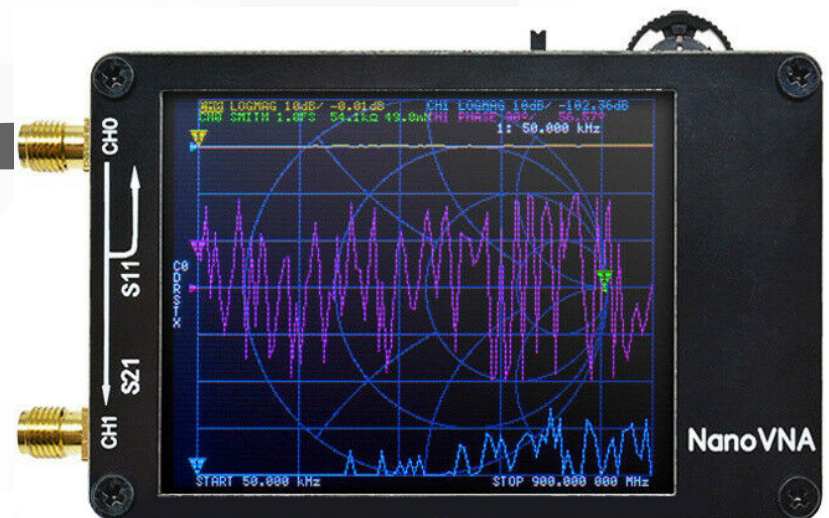
- ▼ Valor de componentes pasivos.
 - Resistencia
 - Capacidad
 - Inductancia
- ▼ Impedancia de una antena.
- ▼ Impedancia característica de un cable.
- ▼ Pérdidas de un cable.

Medida de una resistencia

Cable
50 Ω



De este puerto
nos olvidamos



Medida de una resistencia



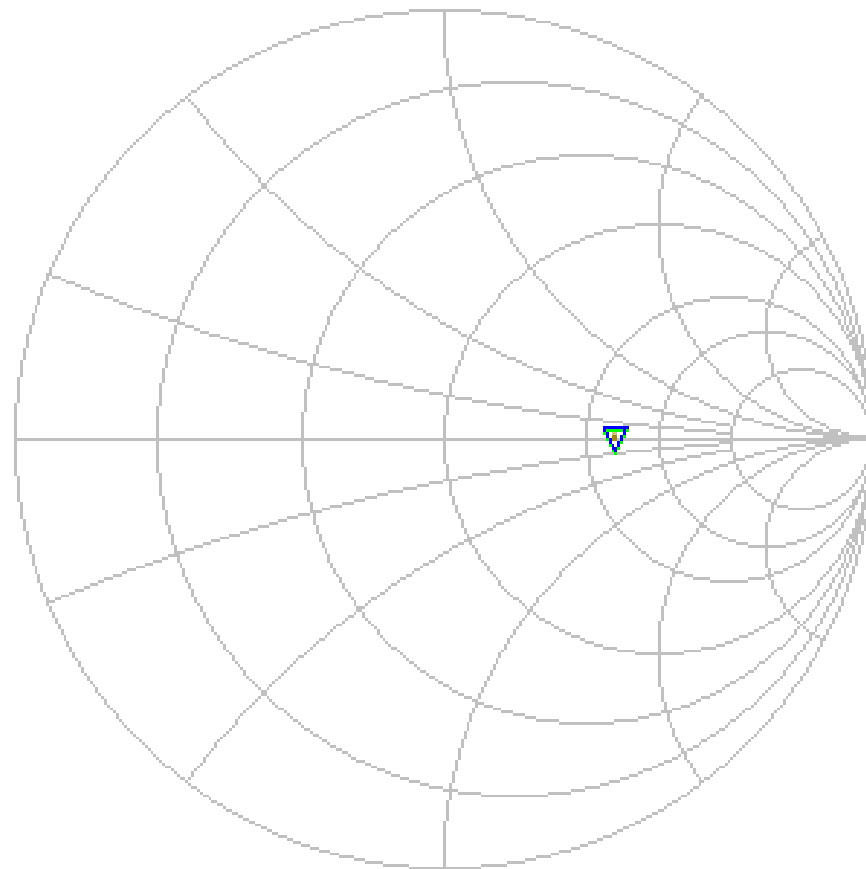
Marker 1

Frequency:	50.0000 kHz	VSWR:	2.363
Impedance:	118+j26.9m Ω	Return loss:	-7.847 dB
Series L:	85.597 nH	Quality factor:	0
Series C:	-118.37 μ F	S11 Phase:	0.01°
Parallel R:	118.13 Ω	S21 Gain:	-79.643 dB
Parallel X:	1.6517 H	S21 Phase:	143.36°

Marker 2

Frequency:	2.04000 MHz	VSWR:	2.358
Impedance:	118-j1.25 Ω	Return loss:	-7.863 dB
Series L:	-97.441 nH	Quality factor:	0.011
Series C:	62.465 nF	S11 Phase:	-0.63°
Parallel R:	117.91 Ω	S21 Gain:	-94.808 dB
Parallel X:	7.0096 pF	S21 Phase:	101.42°

S11 Smith Chart



▼ Resistencia de 120 Ω .

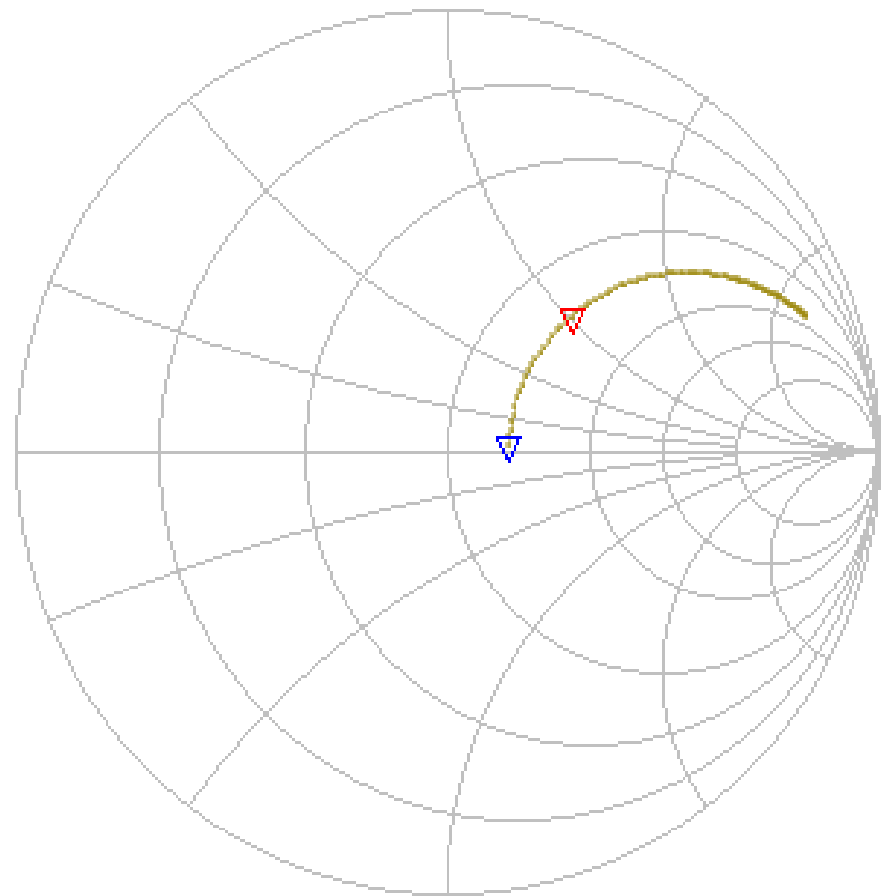
Medida de una resistencia



Frequency:	2.04000 MHz	VSWR:	2.449
Impedance:	69.3+j51 Ω	Return loss:	-7.533 dB
Series L:	3.9762 μ H	Quality factor:	0.736
Series C:	-1.5308 nF	S11 Phase:	46.14°
Parallel R:	106.77 Ω	S21 Gain:	-94.250 dB
Parallel X:	11.323 μ H	S21 Phase:	103.27°

Marker 2

Frequency:	50.0000 kHz	VSWR:	1.343
Impedance:	67.1+j1.33 Ω	Return loss:	-16.685 dB
Series L:	4.2288 μ H	Quality factor:	0.02
Series C:	-2.396 μ F	S11 Phase:	3.79°
Parallel R:	67.129 Ω	S21 Gain:	-94.467 dB
Parallel X:	10.793 mH	S21 Phase:	76.79°



Un polímetro suele dar mas precisión pero con el VNA obtenemos mas información, ejemplo de resistencia bobinada de 68 Ω



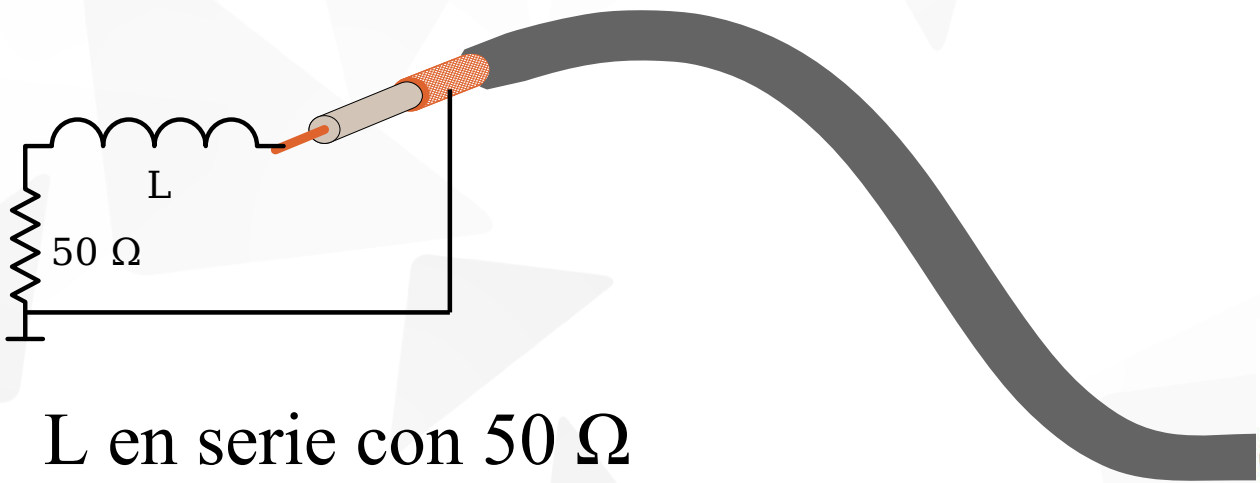
Medida de una resistencia

Para valores muy bajos o muy altos de resistencia, la precisión baja, sobre todo en valores muy altos.

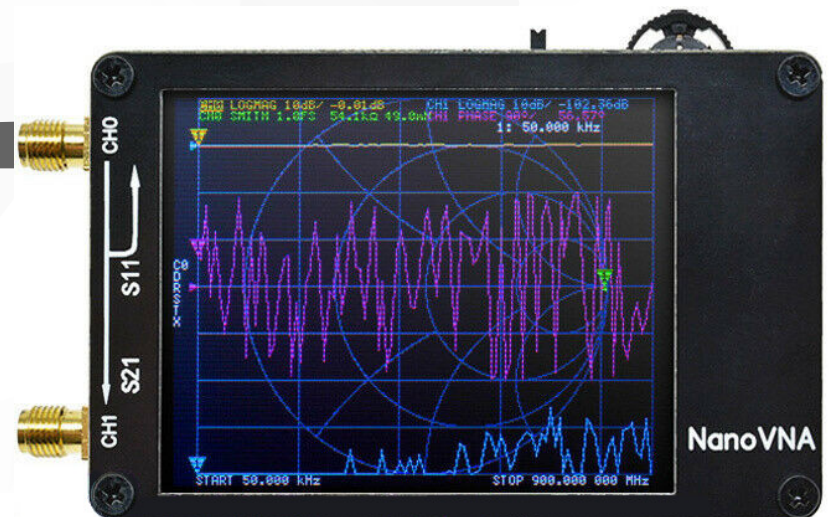


Medida de una inductancia

Cable
 50Ω



De este puerto
nos olvidamos





Medidas de una inductancia

- ¿Se podría medir directamente conectando la inductancia en el puerto 0?
- Si, se puede, pero la precisión de las medidas con un VNA es mayor cuando mas cerca de 50Ω estamos; por eso es mejor poner una resistencia de 50Ω en serie con la inductancia.
- OJITO con los “rabitos” de cable, **LO MAS CORTOS** posibles, en caso de tener que poner hilos algo mas largos para conectar, habrá que incluirlos en la calibración.
- Para una capacidad, el procedimiento es similar.

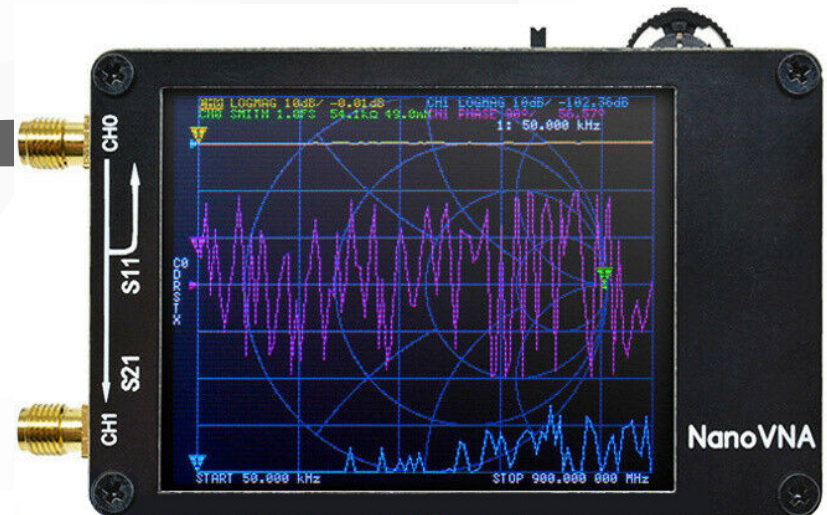


Impedancia de una antena

Cable
 $50\ \Omega$

Antena

De este puerto
nos olvidamos



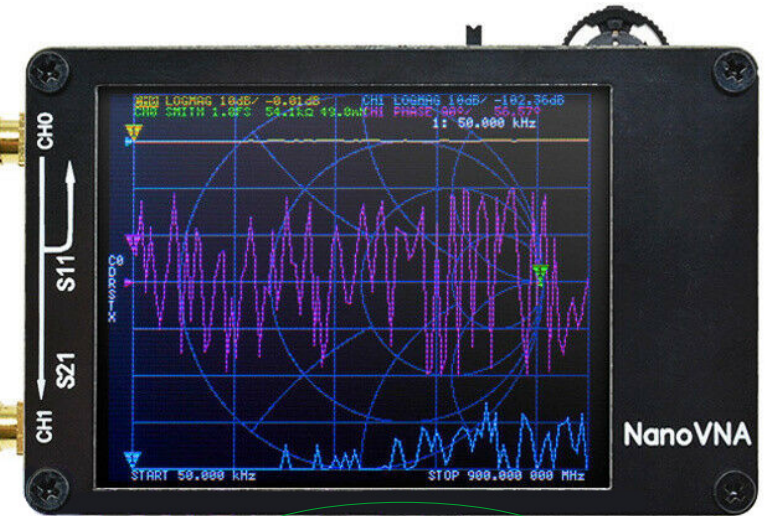
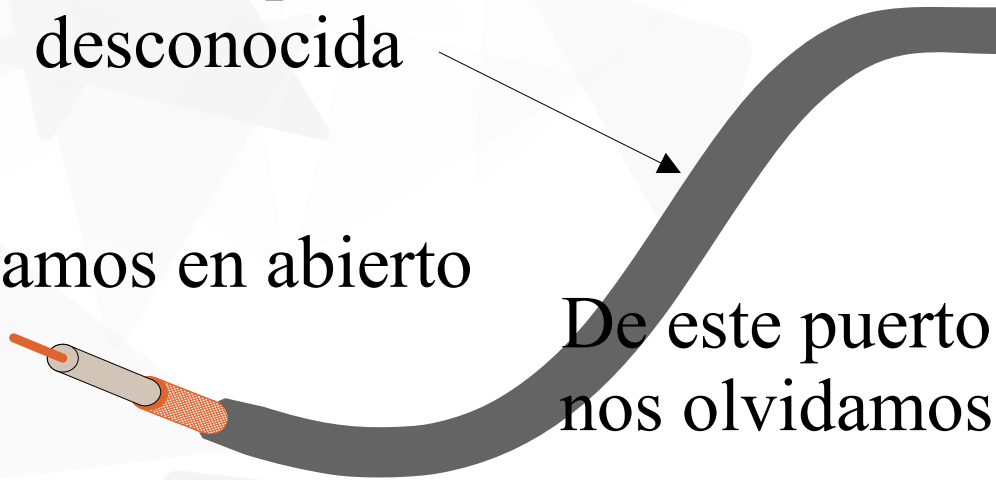


Medida de impedancia de un cable

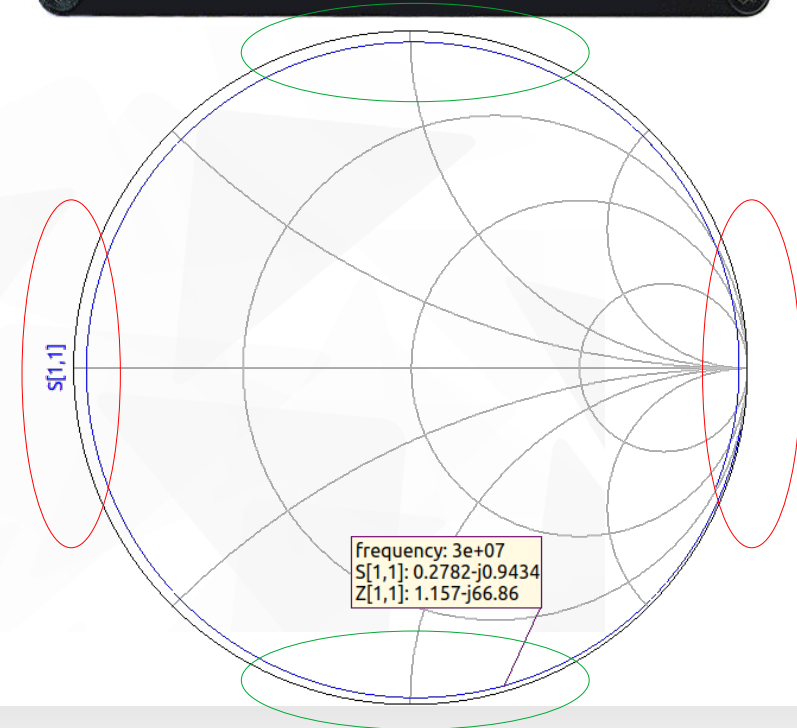
Cable de impedancia desconocida

Lo dejamos en abierto

De este puerto nos olvidamos



Medimos la impedancia que presenta a una determinada frecuencia
Preferiblemente cerca de las zonas **verdes**, nunca cerca de las **rojas**.





Medida de la impedancia de un cable

Marker 1

Frequency: 25.0519 MHz
Impedance: $262m-j45.8 \Omega$
Series L: -291.1 nH
Series C: 138.65 pF
Parallel R: 8.0077 k Ω
Parallel X: 138.65 pF

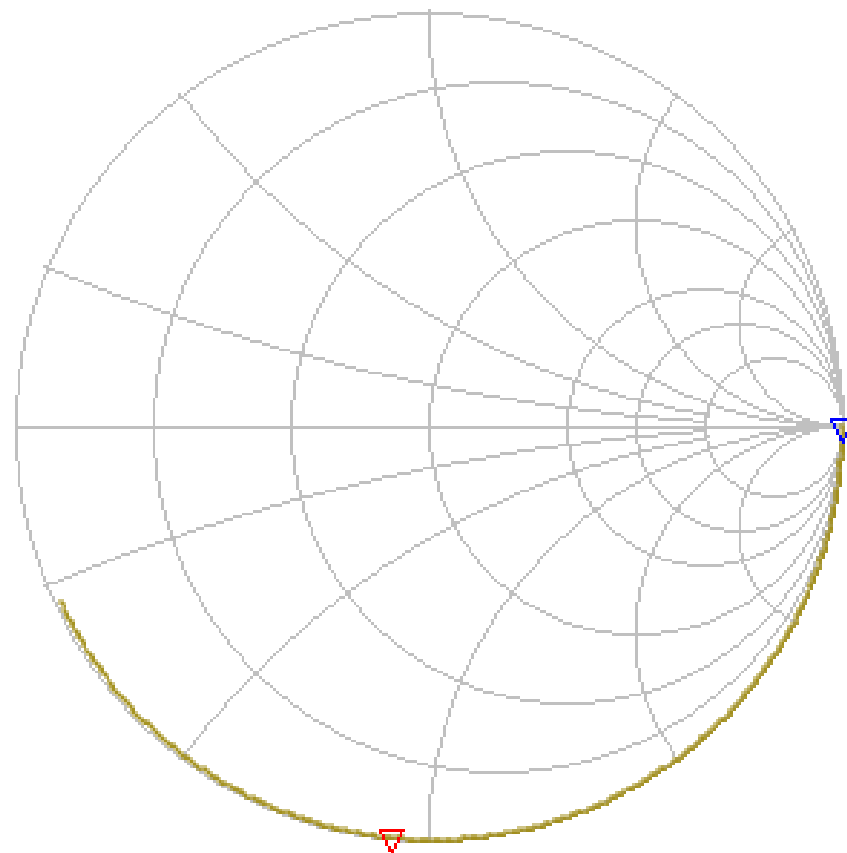
VSWR: 350.854
Return loss: -0.050 dB
Quality factor: 174.8
S11 Phase: -94.99°
S21 Gain: -88.654 dB
S21 Phase: 158.87°

Marker 2

Frequency: 50.0000 kHz
Impedance: $26.6k-j23k \Omega$
Series L: -73.149 mH
Series C: 138.51 pF
Parallel R: 46.451 k Ω
Parallel X: 59.223 pF

VSWR: 929.026
Return loss: -0.019 dB
Quality factor: 0.864
S11 Phase: -0.11°
S21 Gain: -92.058 dB
S21 Phase: -49.82°

S11 Smith Chart



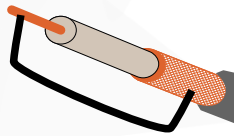
$$Z_{CA}=0,262-j45,8 \Omega$$

Medida de la impedancia de un cable



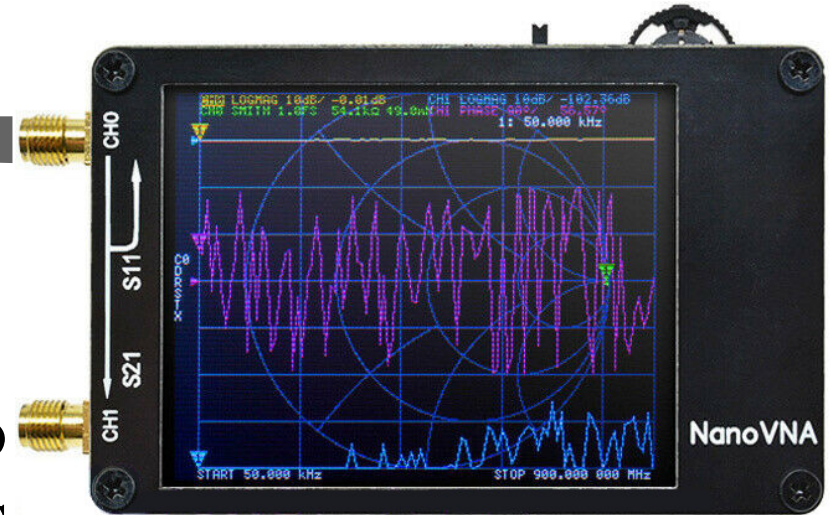
Cable de impedancia desconocida

Lo dejamos en corto



De este puerto nos olvidamos

Medimos la impedancia que presenta a la **misma** frecuencia





Medida de la impedancia de un cable

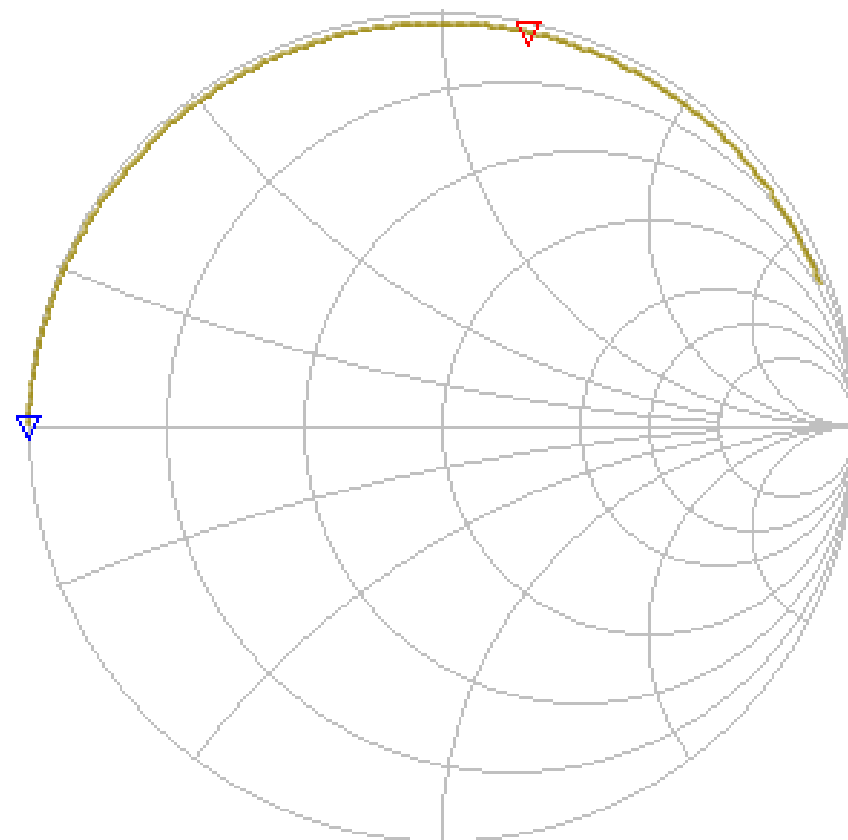
Marker 1

Frequency:	25.0519 MHz	VSWR:	70.829
Impedance:	1.79+j62 Ω	Return loss:	-0.245 dB
Series L:	393.68 nH	Quality factor:	34.6
Series C:	-102.52 pF	S11 Phase:	77.77°
Parallel R:	2.1461 k Ω	S21 Gain:	-89.588 dB
Parallel X:	394.01 nH	S21 Phase:	-27.95°

Marker 2

Frequency:	50.0000 kHz	VSWR:	732.802
Impedance:	68.2m+j112m Ω	Return loss:	-0.024 dB
Series L:	357.5 nH	Quality factor:	1.646
Series C:	-28.342 μ F	S11 Phase:	179.74°
Parallel R:	253.1 m Ω	S21 Gain:	-87.586 dB
Parallel X:	489.45 nH	S21 Phase:	110.45°

S11 Smith Chart



$$Z_{cc}=1,79+62j \Omega$$



Medida de la impedancia de un cable

$$Z_0 = \sqrt{Z_{CA} \cdot Z_{CC}} = \sqrt{(0,262 - 45,8 j) \cdot (1,79 + 62 j)}$$

$$\sqrt{2840,06898 - 65,738 j} = 53,295866 - 0,616727 j \Omega$$

$$Z_0 = 53,2958 \approx 53,3 \Omega$$

De la parte
imaginaria pasamos
por ser muy pequeña

- Para no complicarnos la vida con números complejos podemos multiplicar sólo la parte imaginaria

$$Z_0 = \sqrt{X_{CA} \cdot X_{CC}} = \sqrt{45,8 \cdot 62} = 53,288 \Omega$$

El cable es un RG-55 según catálogo tiene 53,5



Medida de la impedancia de un cable

Characteristics and Structure Part Name	Characteristics										Structure									
	Capacitance Approx. (nF/km)	Characteristic Impedance Standard (Ω)	Standard Attenuation Value (dB/km)						Shortening Coefficient of Wavelength (%)	Max. Operating Voltage (kV eff)	Internal Conductor Configuration and Outer Diameter (mm)	Insulator		External Conductor		Sheath		Packaging Classification	Cable Outer Diameter (mm)	Approx. Weight (kg/km)
			1 MHz	10 MHz	30 MHz	100 MHz	200 MHz	2,000 MHz				Standard Outer Diameter (mm)	Configuration	Outer Diameter (mm)	Configuration	Standard Outer Diameter (mm)	Material			
22B/u	53	95	9.5	33	56	110	175	—	67	1.0	7/0.386 x 2 Core	7.2	PE _w	8.9	TT	10.7	// (Black)	—	10.7	200
23/u	39	125	3.7	13	22	44	69	—	67	3.0	7/0.724 x 2 Core	9.7	PE ₂	14.0x21.4	2C+C	16.5x24	// (Black)	—	16.5x24	730
23A/u	39	125	3.7	13	22	44	69	—	67	3.0	7/0.724 x 2 Core	9.7	PE ₂	14.0x21.4	2C+C	16.5x24	// (Black)	—	16.5x24	730
24/u	39	125	3.7	13	22	44	69	—	67	3.0	7/0.724 x 2 Core	9.7	PE ₂	14.0x21.4	2C+C	16.5x24	// (Black)	Braid	18.4x24	970
24A/u	39	125	3.7	13	22	44	69	—	67	3.0	7/0.724 x 2 Core	9.7	PE ₂	14.0x21.4	2C+C	16.5x24	// (Black)	Braid	18.4x24	970
29/u	94	53.5	1.3	42	75	150	200	830	67	1.9	0.813	2.9	PE	3.6	T	4.4	PE (Natural)	—	4.4	35
34/u	71	71	3.6	13	23	45	68	320	67	5.2	7/0.724	11.6	PE	12.9	C	15.9	PVC (Black)	—	15.9	340
34A/u	71	71	3.6	13	23	45	68	320	67	5.2	7/0.724	11.6	PE	12.9	C	15.9	// (Black)	—	15.9	340
34B/u	67	75	3.6	13	24	46	70	330	67	5.2	7/0.632	11.7	PE	12.7	C	16.0	// (Black)	—	16.0	310
35/u	71	71	2.3	8.0	15	30	48	250	67	10	2.896	17.3	PE	18.6	C	22.1	// (Grey)	Braid	23.8	880
35A/u	71	71	2.3	8.0	15	30	48	250	67	10	2.896	17.3	PE	18.6	C	22.1	// (Black)	Braid	23.8	880
35B/u	67	75	2.3	8.1	15	31	49	255	67	10	2.654	17.3	PE	18.6	C	22.1	// (Black)	Braid	23.8	800
42/u	66	78	—	—	—	—	770	2,450	67	2.7	0.724N	5.0	PE	6.6	SS	8.7	PVC (Black)	—	8.7	130
54A/u	88	57	—	29	52	100	145	—	67	3.0	7/0.386	4.5	PE	5.3	T	6.1	PE (Natural)	—	6.1	60
55/u	94	53.5	12	41	72	140	195	750	67	1.9	0.813	2.9	PE	4.2	TT	5.0	PE (Natural)	—	5.0	55
55A/u	104	50	11	37	66	120	178	700	67	1.9	0.889S	2.9	PE	4.2	SS	5.4	PVC (Black)	—	5.4	60
55B/u	97	53.5	12	41	72	140	195	750	67	1.9	0.813S	2.9	PE	4.2	TT	5.0	PE (Black)	—	5.0	55
57/u	56	95	8.0	28	50	100	160	—	67	3.0	7/0.724 x 2 Core	12.0	PE _p	13.2	T	15.9	PVC (Black)	—	15.9	360
57A/u	56	95	8.0	28	50	100	160	—	67	3.0	7/0.724 x 2 Core	12.0	PE _p	13.2	T	15.9	// (Black)	—	15.9	360
58/u	94	53.5	13	42	75	140	200	830	67	1.9	0.813	2.9	PE	3.6	T	5.0	// (Black)	—	5.0	40
58A/u	102	50	14	48	81	160	230	900	67	1.9	19/0.180T	2.9	PE	3.6	T	5.0	// (Black)	—	5.0	40



Medida de la impedancia de un cable.

Consideraciones:

- ▼ Cuidado con los “abiertos”, si dejamos un rabillo algo largo puede actuar como una pequeña antena y radiar algo por lo que mediríamos mal.

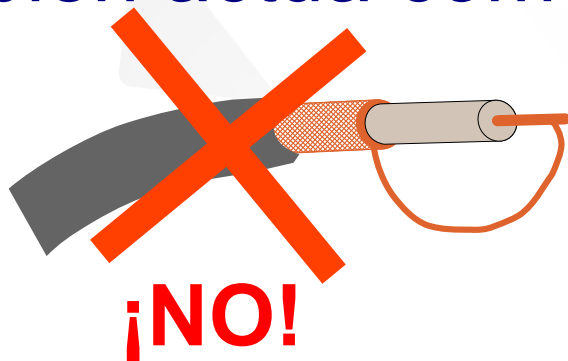


¡NO!



¡SI!

- ▼ Igualmente con los cortos, si hacemos un pequeño lazo también actúa como una pequeña antena.



¡NO!



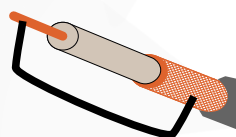
¡SI!



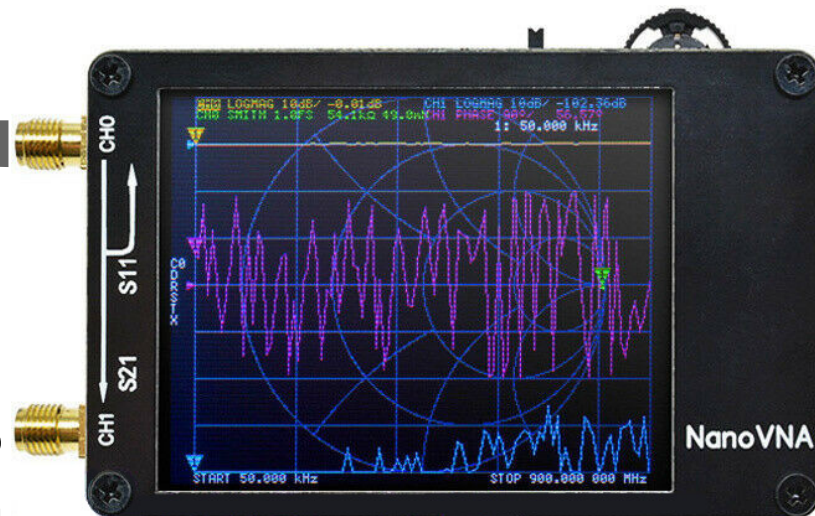
Medida de las pérdidas de un cable

Ponemos el S_{11} en
formato dB

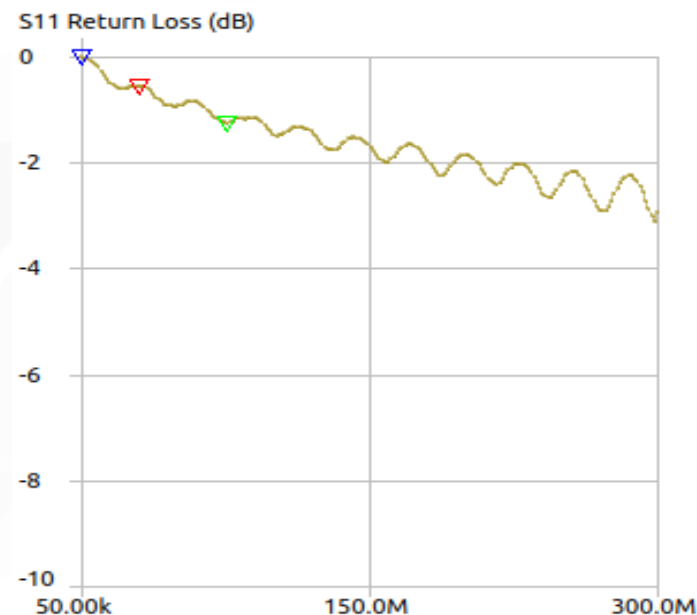
Lo dejamos en corto
o en abierto



De este puerto
nos olvidamos



- Nos basamos en que un corto o un abierto refleja todo, por tanto la señal vuelve (casi) toda. Como la señal tiene que ir y volver, las pérdidas es la mitad de lo que se mida.





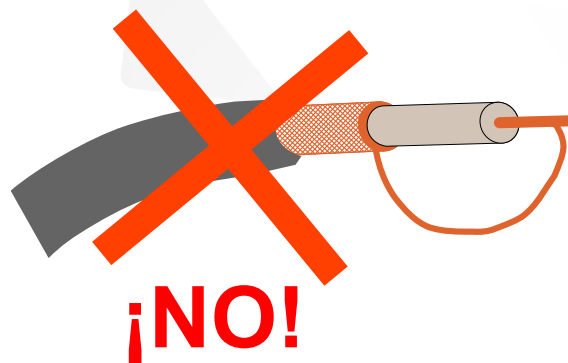
Medida de las pérdidas de un cable.

Consideraciones:

- Al igual que antes cuidado con los “abiertos”, y con los cortos, para no cometer errores de medida.



¡SI!



¡SI!

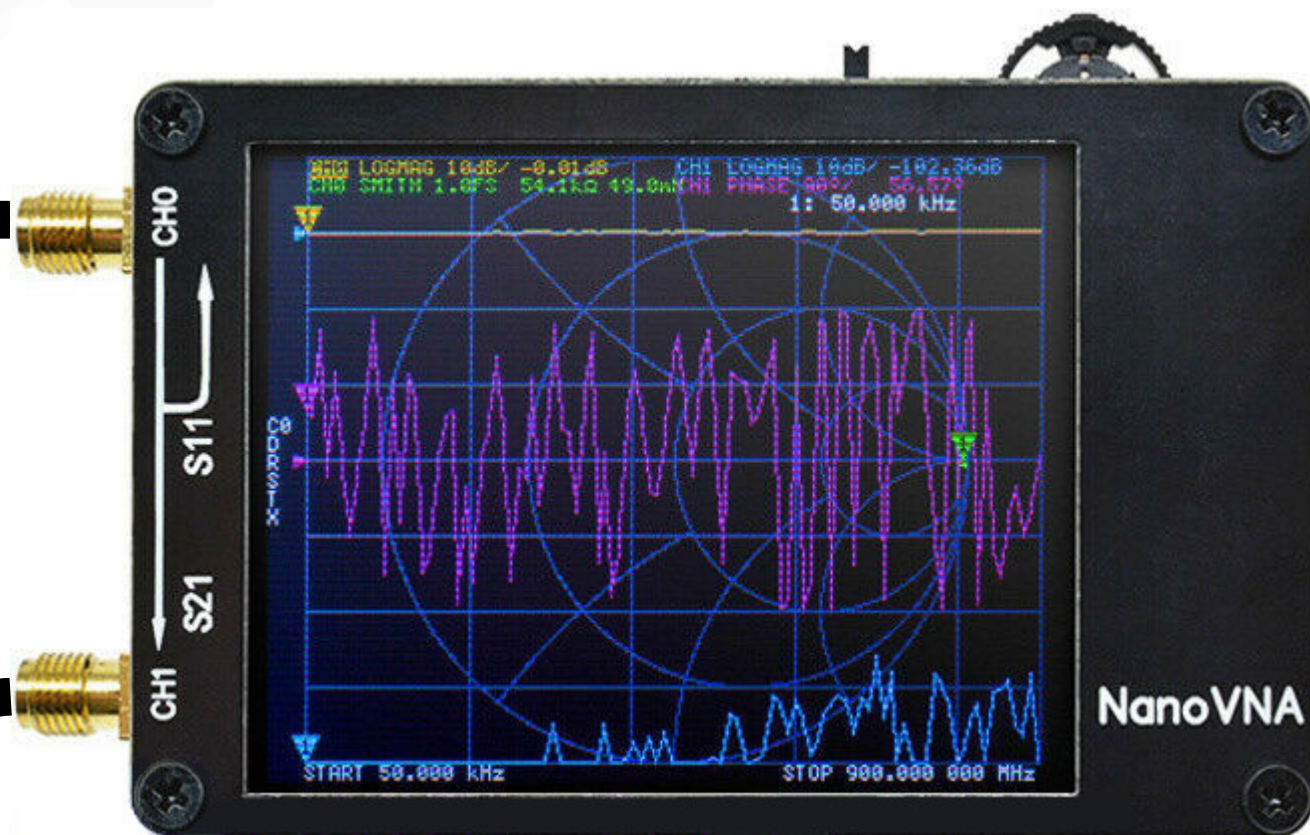
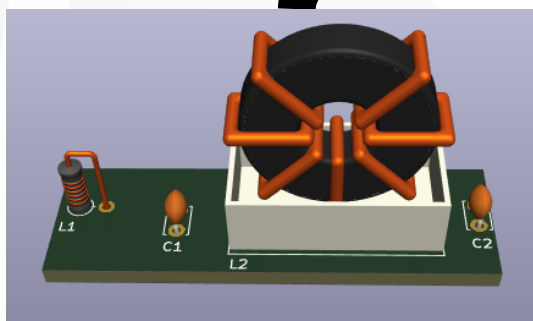


Medidas de dos puertos. ejemplos

- ▶ En redes de dos puertos medimos simultáneamente la reflexión; S_{11} → impedancia de entrada y la ganancia (o pérdida); S_{21} .
- ▶ Filtros.
- ▶ Amplificador.
- ▶ Pérdidas de un cable (otro método).
- ▶ Factor de velocidad de un cable.
- ▶ Impedancia característica de un cable. (otro método)

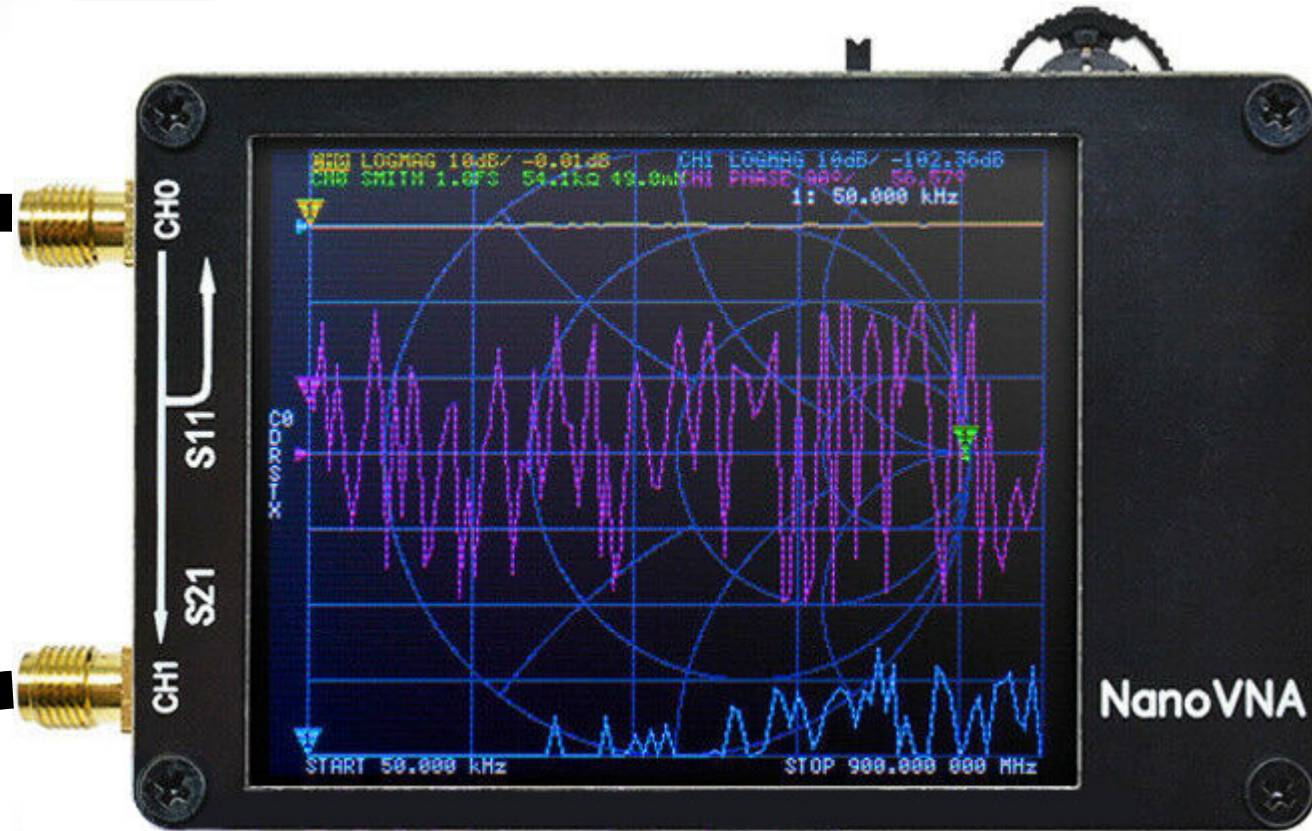


Filtro



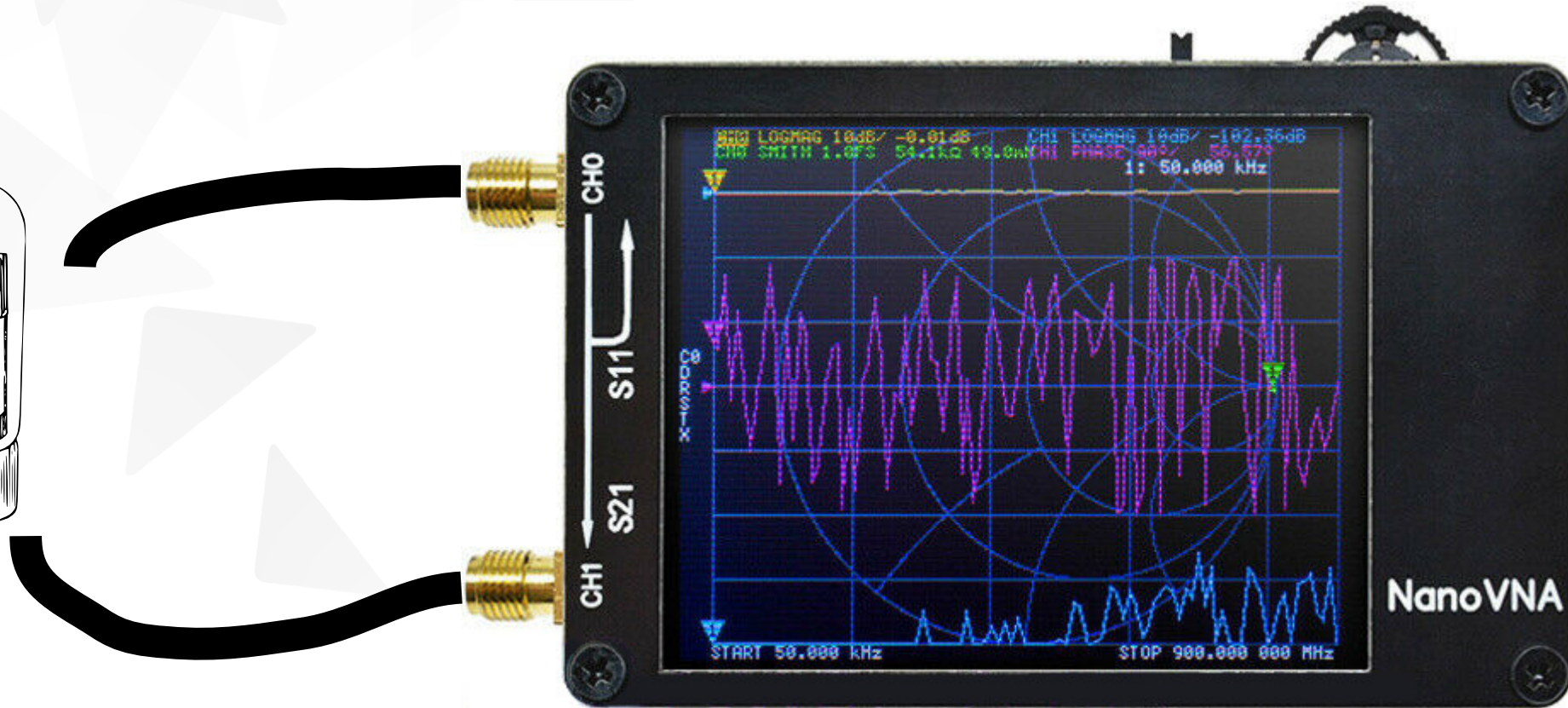
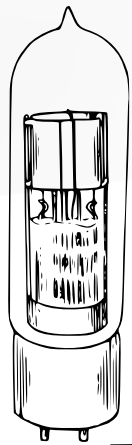


Atenuador





Amplificador





Amplificador. Consideraciones.

- Si la ganancia es excesiva podemos saturar el receptor del VNA, en este caso es mejor intercalar un atenuador a la salida y luego sumar para hallar la ganancia total.
- O lo que es peor, **muchísimo ojo** con la potencia que inyectamos al VNA porque pasa a QRT definitivo.

NO VALE PARA AMPLIFICADORES DE POTENCIA





Amplificador. Consideraciones.

- El propio equipo lo contempla, en “sweep settings”:

Sweep settings

☐ Single sweep ☐ Continuous sweep ☒ Averaged sweep

Logarithmic sweeping changes the step width in each segment in logarithmical manner. Useful in conjunction with small amount of datapoints and many segments. Step display in SweepControl cannot reflect this currently.

☐ Logarithmic sweep

Averaging allows discarding outlying samples to get better averages. Common values are 3/0, 5/2, 9/4 and 25/6.

Number of measurements to average

Number to discard

Some times when you measure amplifiers you need to use an attenuator in line with the S21 input (CH1) here you can specify it.

Attenuator in port CH1 (s21) in dB

Sweep band

Select band



Amplificador. Consideraciones.

- Los amplificadores de potencia suelen ser ya no lineales y su impedancia tanto de entrada como de salida pueden cambiar con el nivel de potencia.
- Igualmente, también muchísimo ojo con la potencia que inyectamos al amplificador, sobre todo en el caso de los de bajo ruido porque pueden estar saturados o pasar igualmente a QRT definitivo.



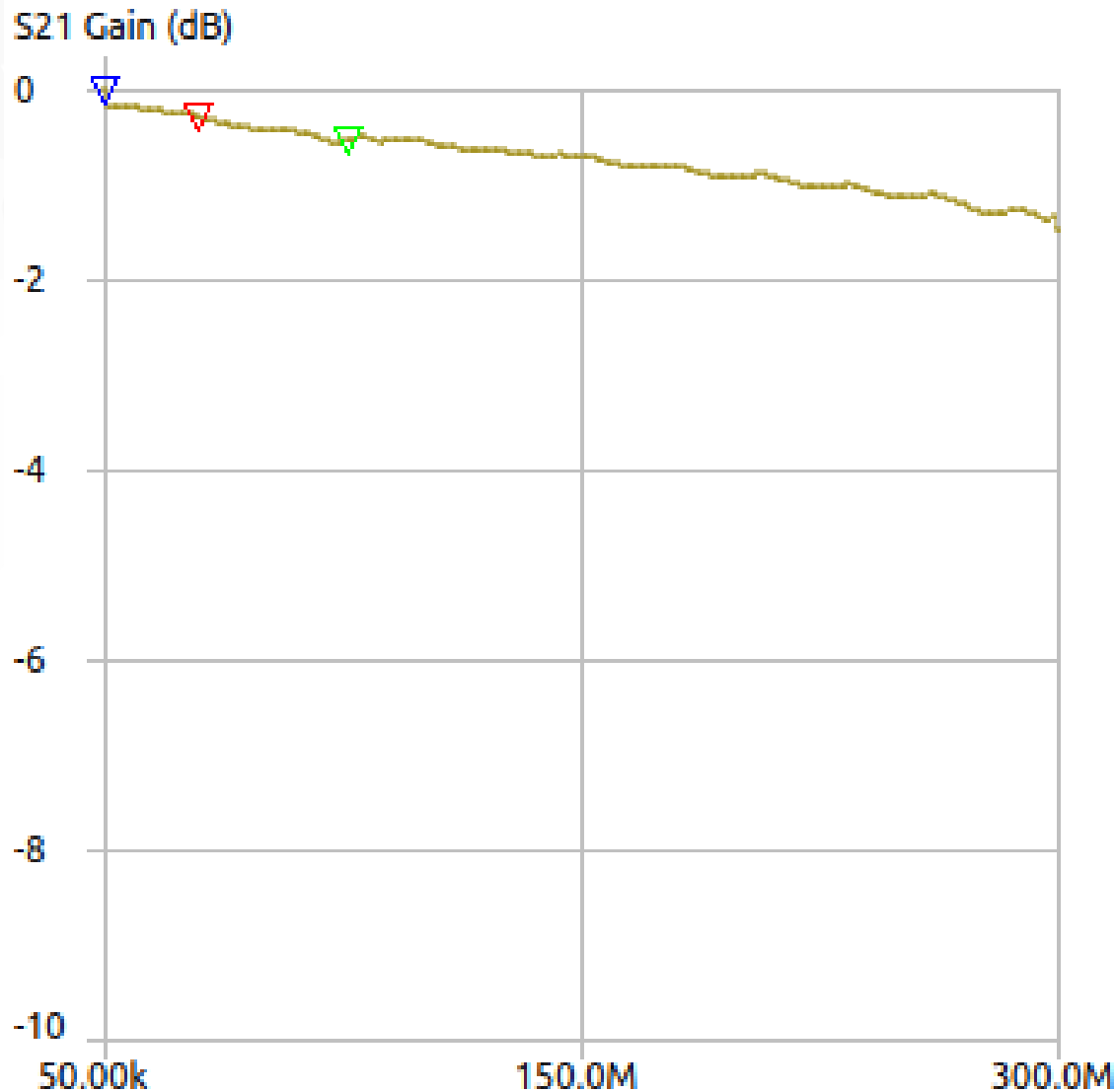
Pérdidas de una línea. Método 2

Conectamos directamente el cable a medir.
Representamos el S_{21} en dB.





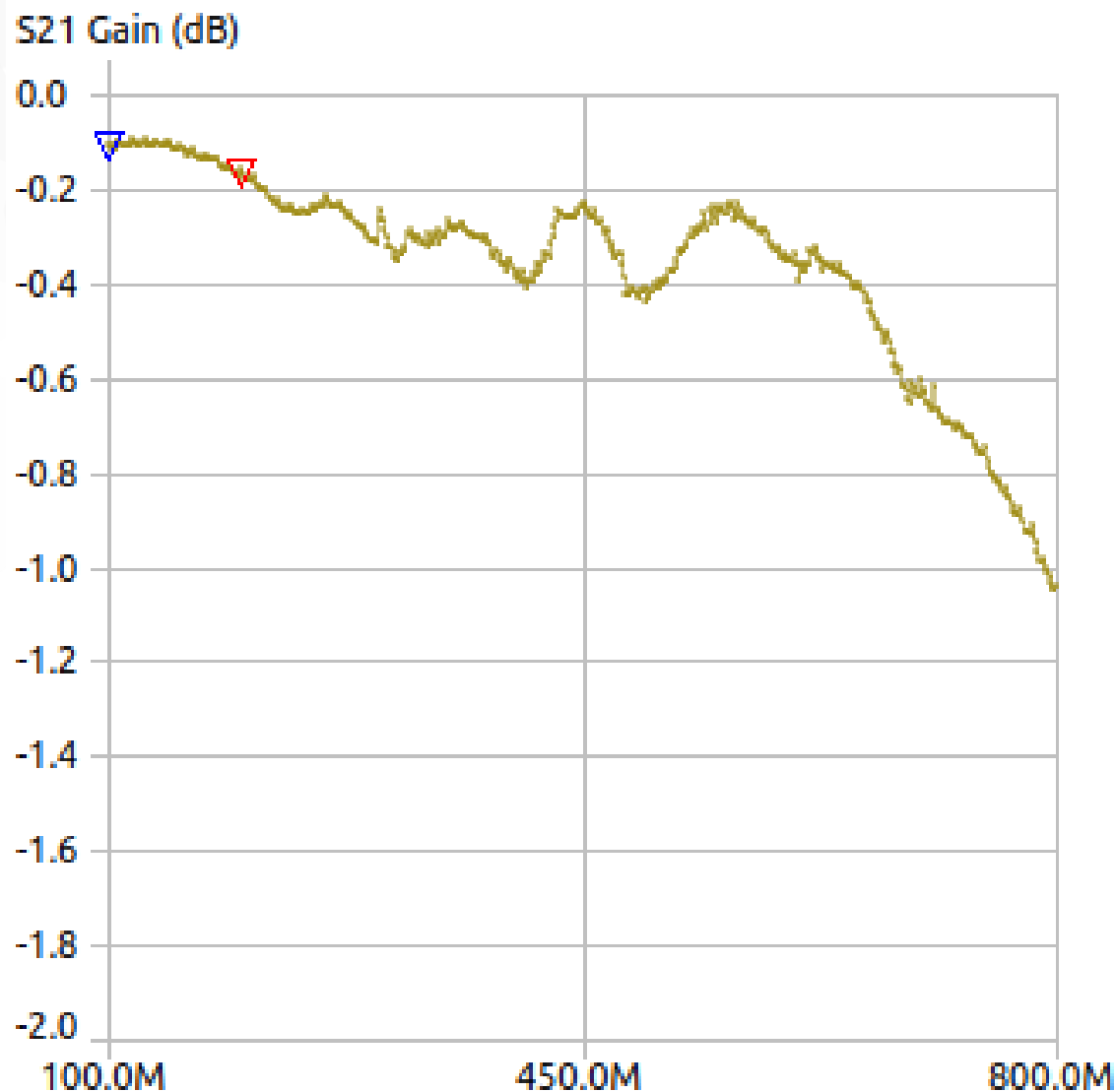
Pérdidas de una línea. Método 2



- ▼ El valor S21 medido son directamente las pérdidas del cable.
- ▼ Da algo más de precisión que el otro método.



Pérdidas de una línea. Método 2

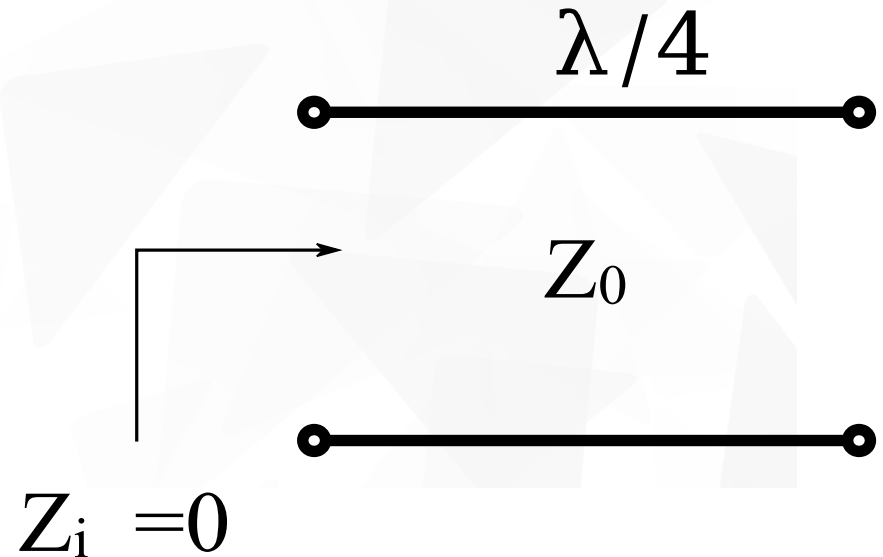
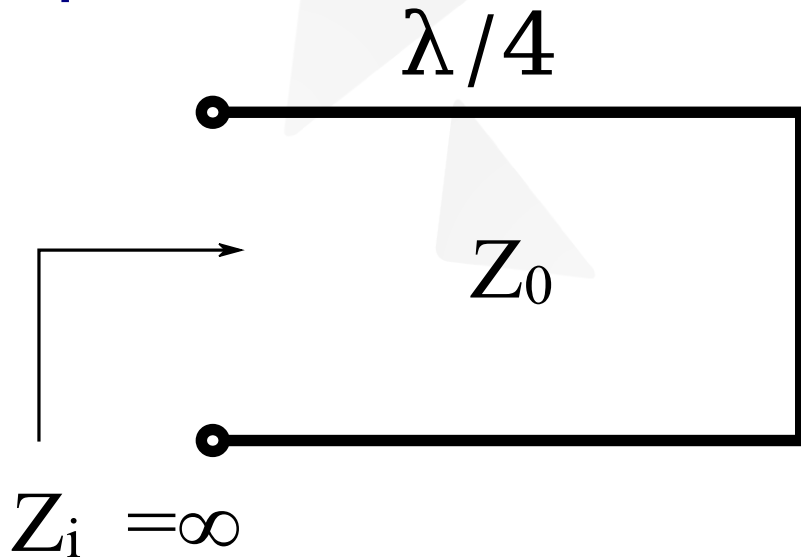


- ▶ Si el cable no es de 50Ω . las pérdidas hay que medirlas en los máximos ya que estaríamos midiendo también las pérdidas por desadaptación.
- ▶ Los máximos son $n \cdot \lambda/2$ y no hay pérdidas por reflexión.



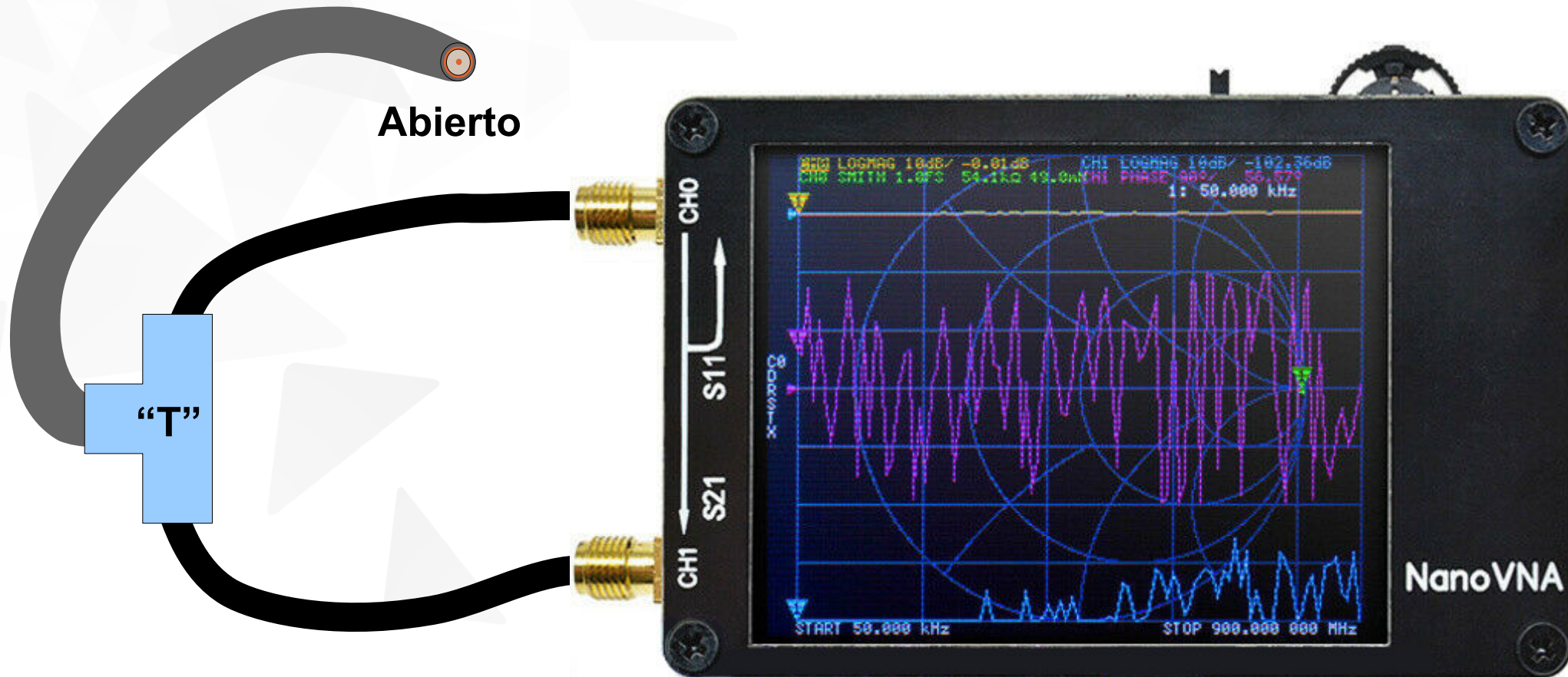
Factor de velocidad

- Para el factor de velocidad, nos basamos en que un cable de longitud un cuarto de onda ($\lambda/4$) terminado en abierto presenta una impedancia vista de cortocircuito. (Cualquier multiplo impar de $\lambda/4$).
- Igualmente, si está terminada en corto, su impedancia de entrada es circuito abierto.





Factor de velocidad



- Esta medida se puede hacer sin calibrar porque solo nos interesa la frecuencia, no el valor.



Factor de velocidad

Marker 3

Frequency: 46.3027 MHz
Impedance: 741m+j4.64 Ω
Series L: 15.941 nH
Series C: -741.17 pF
Parallel R: 29.776 Ω
Parallel X: 16.348 nH

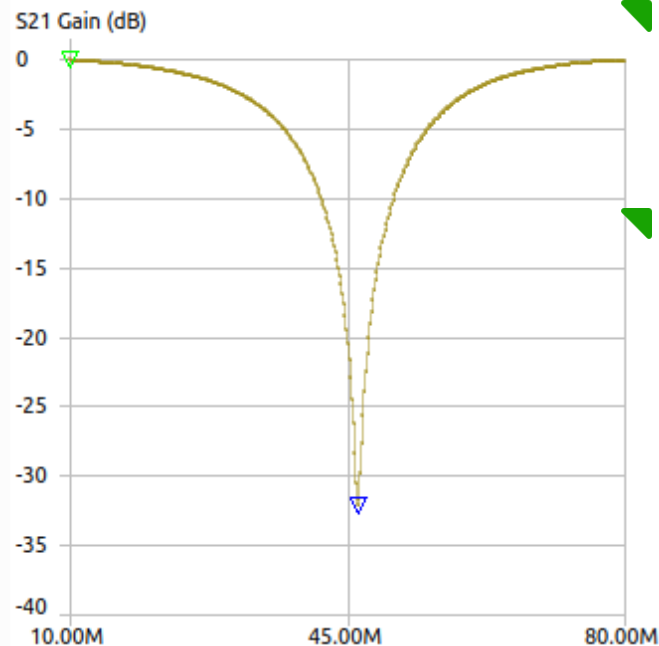
VSWR: 68.081
Return loss: -0.255 dB
Quality factor: 6.261
S11 Phase: 169.40°
S21 Gain: -32.165 dB
S21 Phase: -9.99°

S11

Min VSWR: 1.281 @ 79.9999MHz
Return loss: -18.192 dB

S21

Min gain: -32.165 dB @ 46.3027MHz
Max gain: -0.140 dB @ 10.0000MHz



- ▶ Ejemplo, tenemos un cable de 1,10 m.
- ▶ Nos fijamos en la frecuencia del mínimo, en este caso 46,3 MHz, a esa frecuencia esa longitud es $\lambda/4$. $\rightarrow \lambda=6,479$ m.

$$\lambda = \frac{v}{f} \rightarrow v = \lambda \cdot f = 1,1 \times 4 \times 46,3 \cdot 10^6 = 2,03732 \cdot 10^8$$

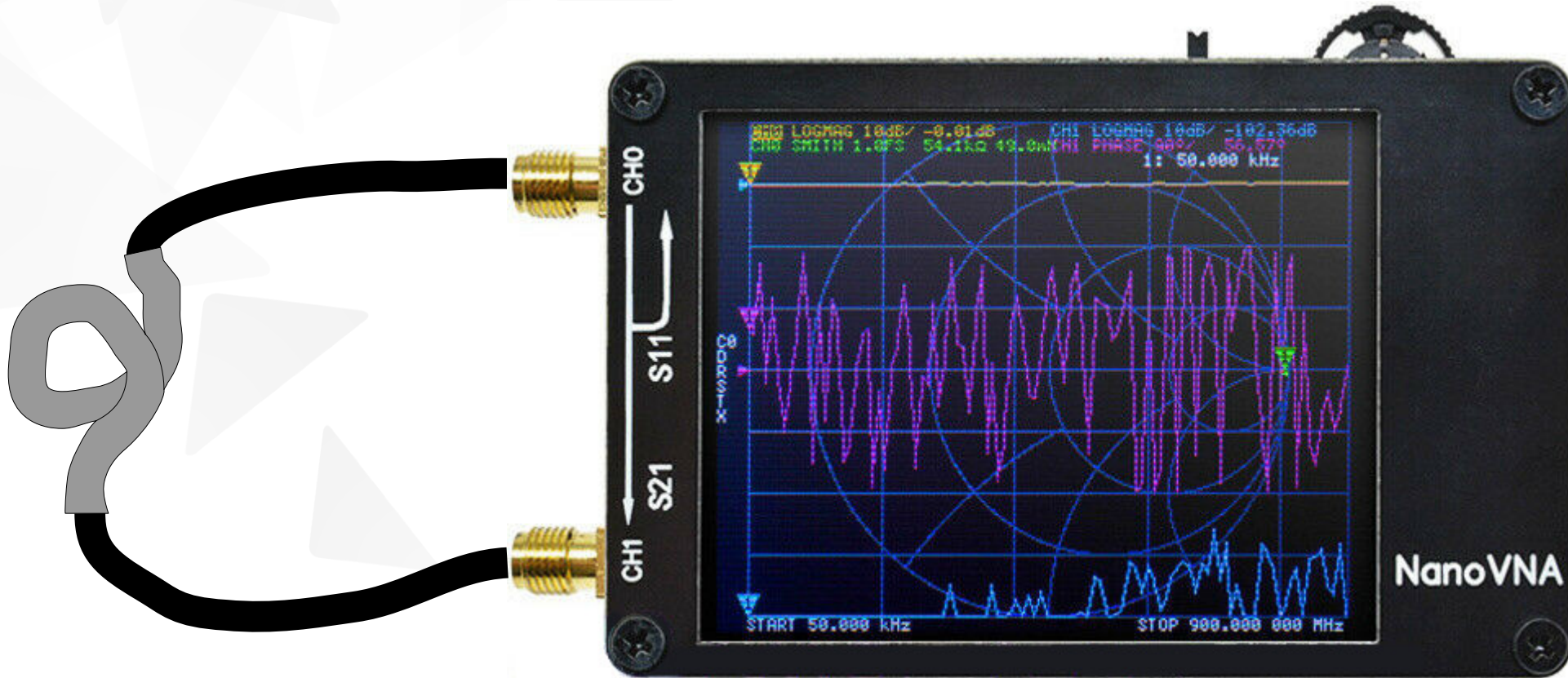
Como $c = 3 \cdot 10^8$; el factor de velocidad es: $\frac{2,0373188 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8} \approx 0,68$

El cable es un RG-55 según catálogo tiene 0,67



Impedancia de una línea. Método 2

Otro método.





Impedancia de una línea. Método 2

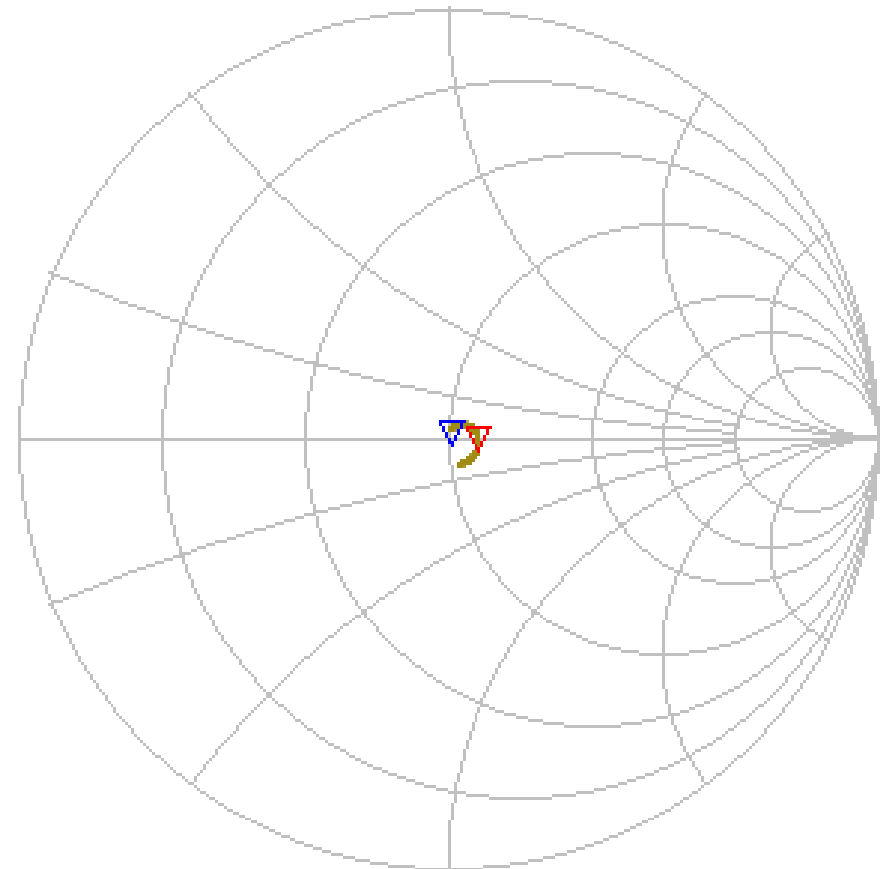
Marker 1

Frequency:	51.8610 MHz	VSWR:	1.152
Impedance:	57.6+j192m Ω	Return loss:	-23.000 dB
Series L:	588.36 pH	Quality factor:	0.003
Series C:	-16.007 nF	S11 Phase:	1.34°
Parallel R:	57.616 Ω	S21 Gain:	-0.090 dB
Parallel X:	53.138 μ H	S21 Phase:	-78.17°

Marker 2

Frequency:	10.0000 MHz	VSWR:	1.038
Impedance:	50.4+j1.85 Ω	Return loss:	-34.505 dB
Series L:	29.417 nH	Quality factor:	0.037
Series C:	-8.6107 nF	S11 Phase:	76.84°
Parallel R:	50.464 Ω	S21 Gain:	-0.031 dB
Parallel X:	21.899 μ H	S21 Phase:	-15.19°

S11 Smith Chart



- ▼ Nos fijamos en el punto en el que la circunferencia corta a la línea del eje real (reactancia = 0)

$$Z_0 = \sqrt{50 \cdot Z}$$
$$Z_0 = \sqrt{50 \cdot 56,8} = 53,29 \Omega$$



Funciones avanzadas: Exportar resultados

- ▶ Para estas medidas necesitamos obligatoriamente tener conectado el equipo al PC.
- ▶ Vamos a medir una antena (valdría para otro dispositivo), en general desadaptada, y usar un programa externo para hacerlo.
- ▶ Procedimiento:

**Medimos los
parámetros “S”**



Exportamos a fichero “touchstone”:
*.s1p para 1 puerta.
*.s2p para 2 puertas.



Usamos un programa de
simulación para adaptarlo



Exportar resultados

- ▼ Se pueden exportar los resultados a ficheros de tipo “touchstone” (*.s1p, *.s2p ...) un formato de texto entendido por todos los programas de simulación.
- ▼ Podemos por ejemplo medir un transistor, exportar los datos a un fichero *.s2p e incluirlo en un programa de simulación para diseñar por ejemplo una red de adaptación.
- ▼ Recordar que el nanoVNA sólo mide dos de ellos (S_{11} y S_{21}) y para medir los otros dos (S_{12} y S_{22}) hay que darle la vuelta al dispositivo.



Preguntas y dudas

- Muchas gracias por su atención.
- 73