



IX Reunión Anual de los Entusistas de las Microondas

# MicroMeet 2025

Radio-Comunicaciones ▪ Experimentación ▪ Técnica ▪ EME ▪ AmateurDSN





# MEDICIONES EN MICROONDAS VNA Y SOLUCIONES ACTUALES

*Alex Fernández (EA4BFK)*

# MEDICIONES EN $\mu$ W's CON VNA SOLUCIONES ACTUALES



ALEX FERNÁNDEZ (EA4BK)

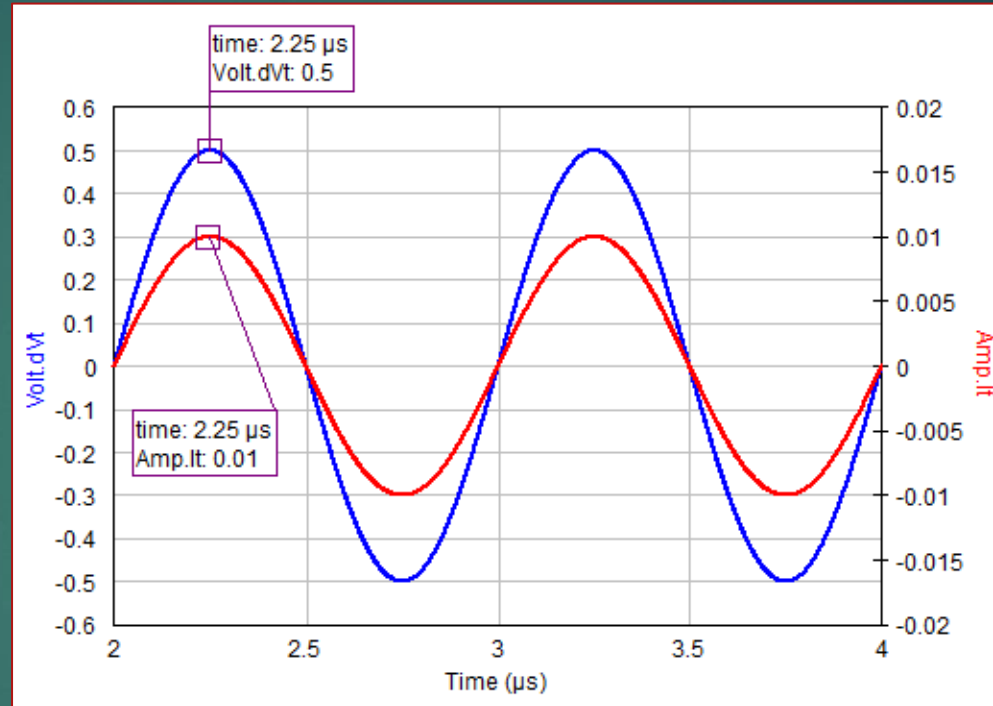
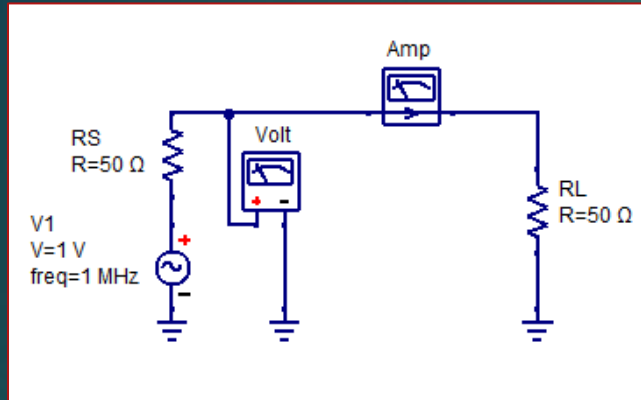
ANTONIO FERNÁNDEZ (EA4LE)

MANEL RIVAS (EA1BLA)

# AGENDA

- ▶ La impedancia, una Resistencia algo más entretenida.
- ▶ Coeficiente de Reflexión
- ▶ La carta de Smith
- ▶ Adaptación de Impedancias
- ▶ Los parámetros S
- ▶ La calibración
- ▶ Kits de calibración
- ▶ VNA's accesibles para uW's

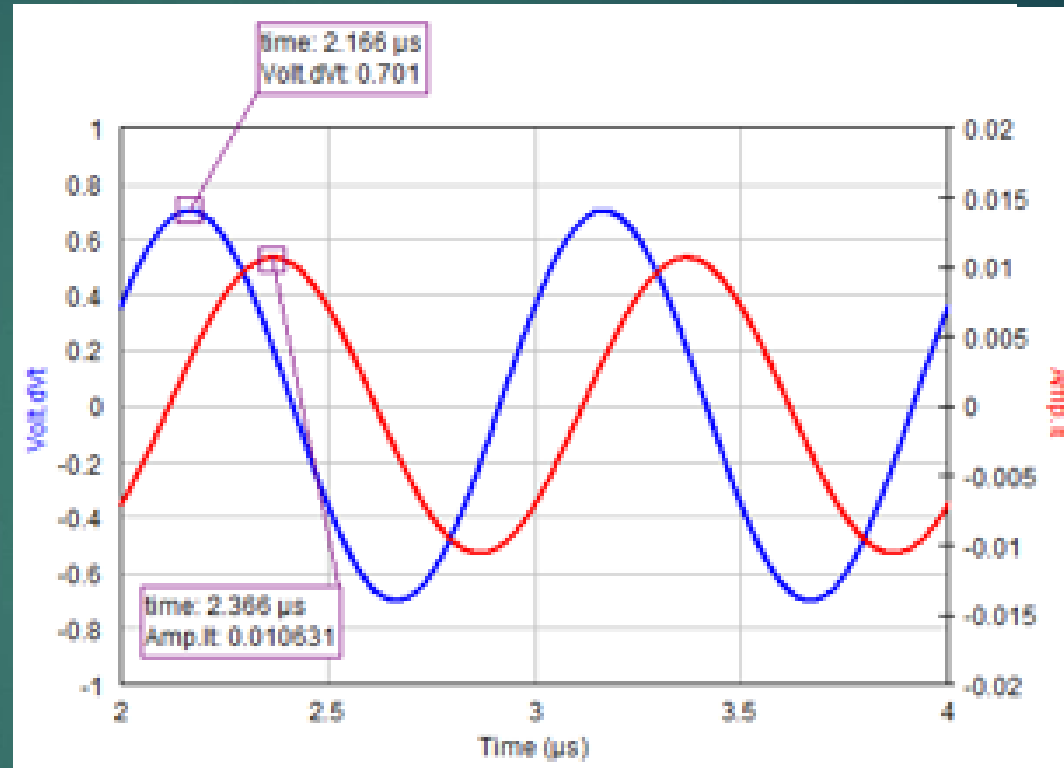
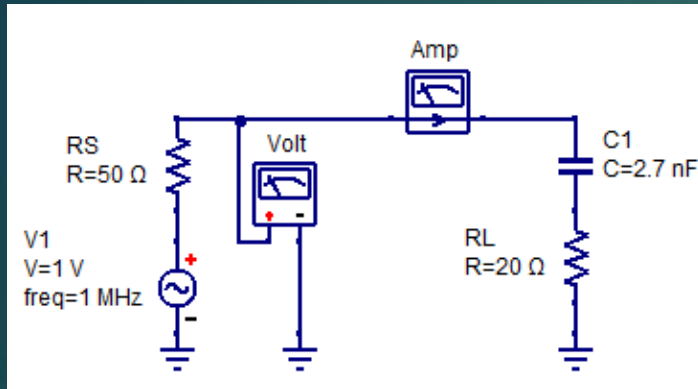
# LA IMPEDANCIA



- ▶ Carga RESISTIVA PURA -> Voltaje / intensidad están en fase.
- ▶ La intensidad que circula en cada momento es:

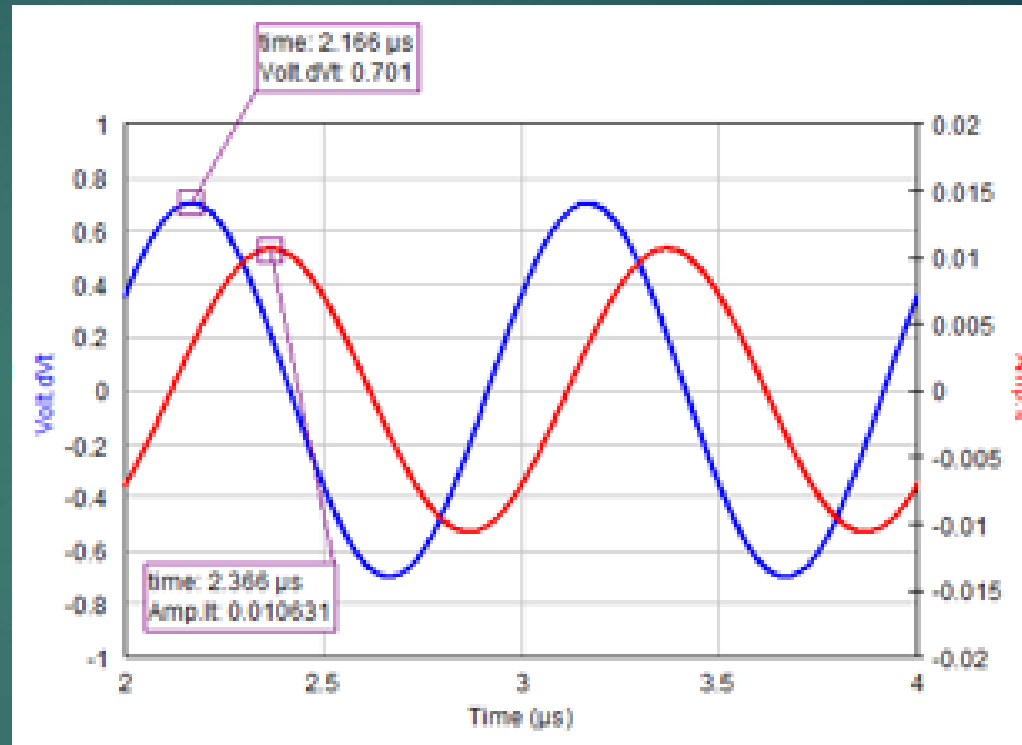
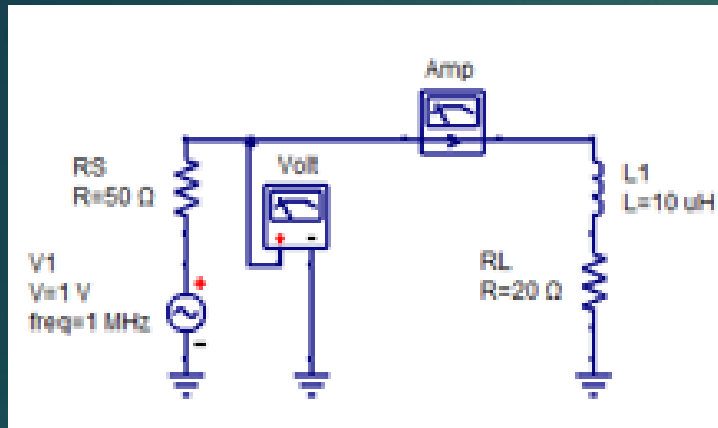
$$I = \frac{V}{R}$$

# LA IMPEDANCIA



- ▶ Carga con C + R --> La intensidad se desfase del Voltaje. Adelanta al voltaje.
- ▶ El desfase es función de la Capacidad y la Frecuencia

# LA IMPEDANCIA



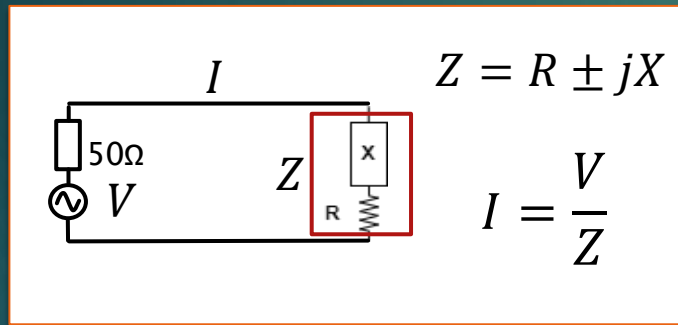
- ▶ Carga con L + R --> La intensidad se desfase del Voltaje. El Voltaje adelanta a la Intensidad.
- ▶ El desfase es función de la Indutancia y la Frecuencia



# IMPEDANCIA

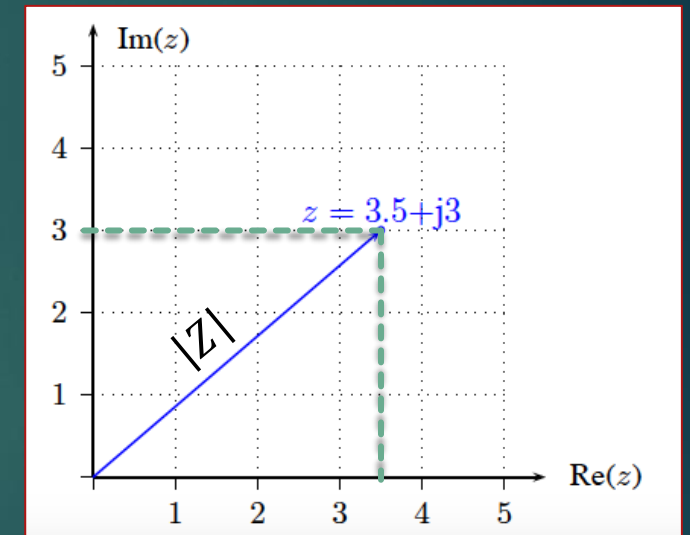
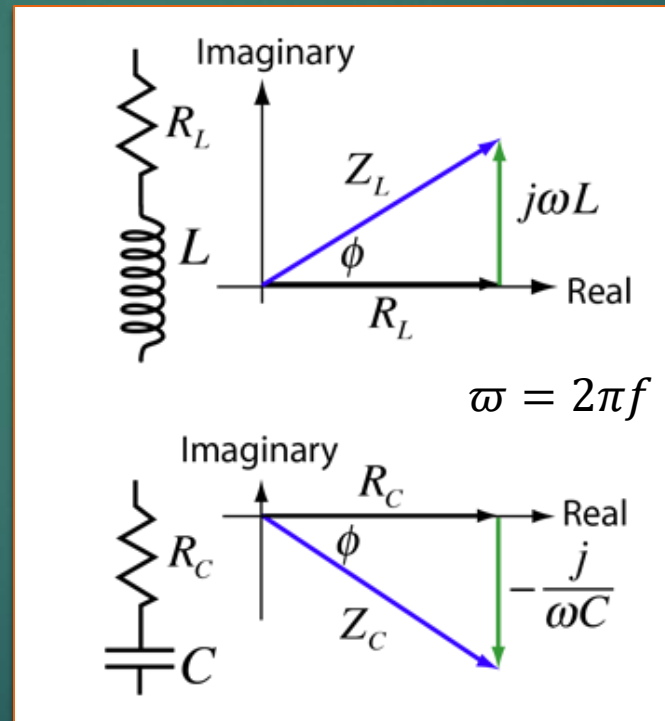


- **Impedancia:** La oposición que presenta un dispositivo al paso de la corriente alterna (RF) debido a la resistencia (R) y a la reactancia (X)
- Es una magnitud con una parte Real (Resistencia) y una parte imaginaria (Reactancia)



La Impedancia es función de la **frecuencia** y del valor de C y/ó L

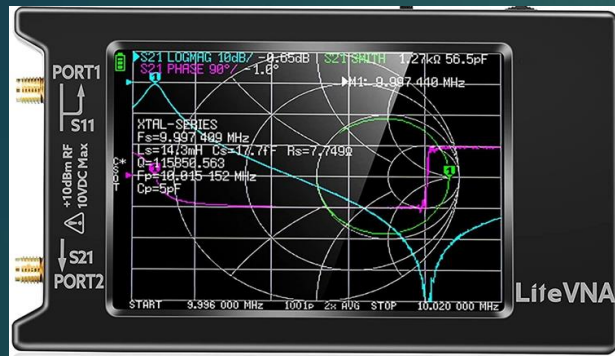
$$X_L = 2\pi fL \quad X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$



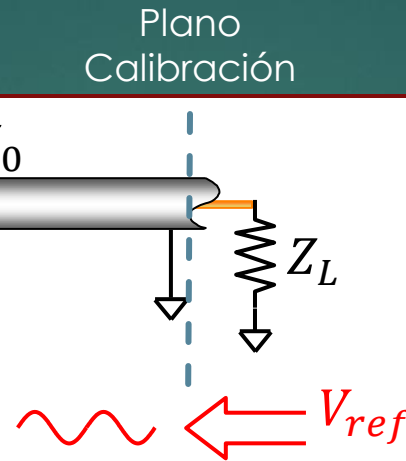
$$|Z| = \sqrt{3^2 + 3.5^2} = 4.609 \Omega$$



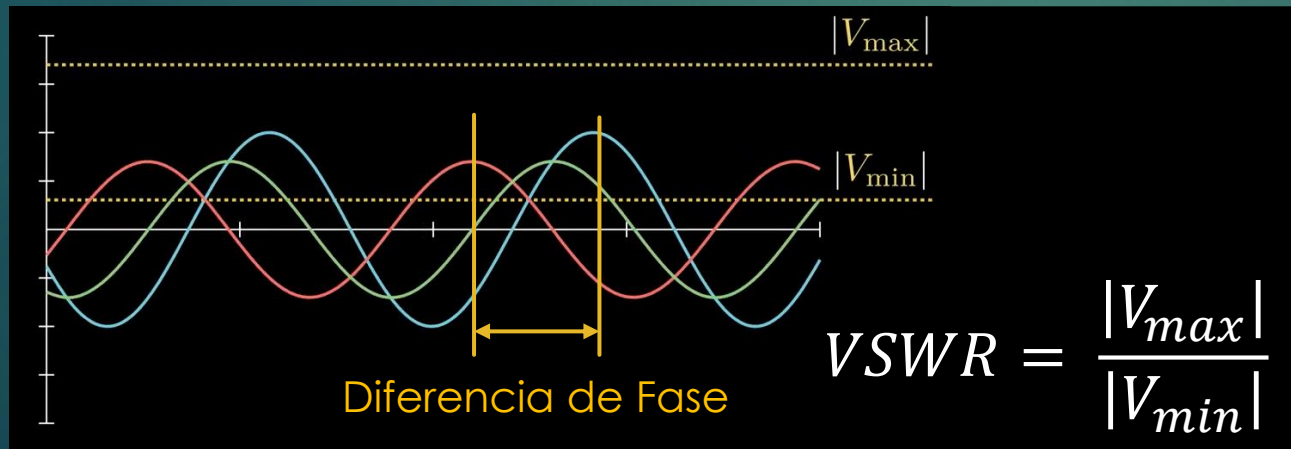
# COEFICIENTE DE REFLEXION



$V_{inc}$



$Z_L \neq Z_0$  **Reflexión**



## Coeficiente Reflexión

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Número  
Complejo  
Magnitud y  
Fase

$$\Gamma_L = |\Gamma_L| \angle \theta^\circ$$

$$\begin{aligned} Z_L = 0 &\longrightarrow \Gamma_L = -1 \\ Z_L = Z_0 &\longrightarrow \Gamma_L = 0 \\ Z_L = \infty &\longrightarrow \Gamma_L = 1 \end{aligned}$$

$$RL = -20 \log(|\Gamma_L|)$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|}$$

# COEFICIENTE DE REFLEXIÓN

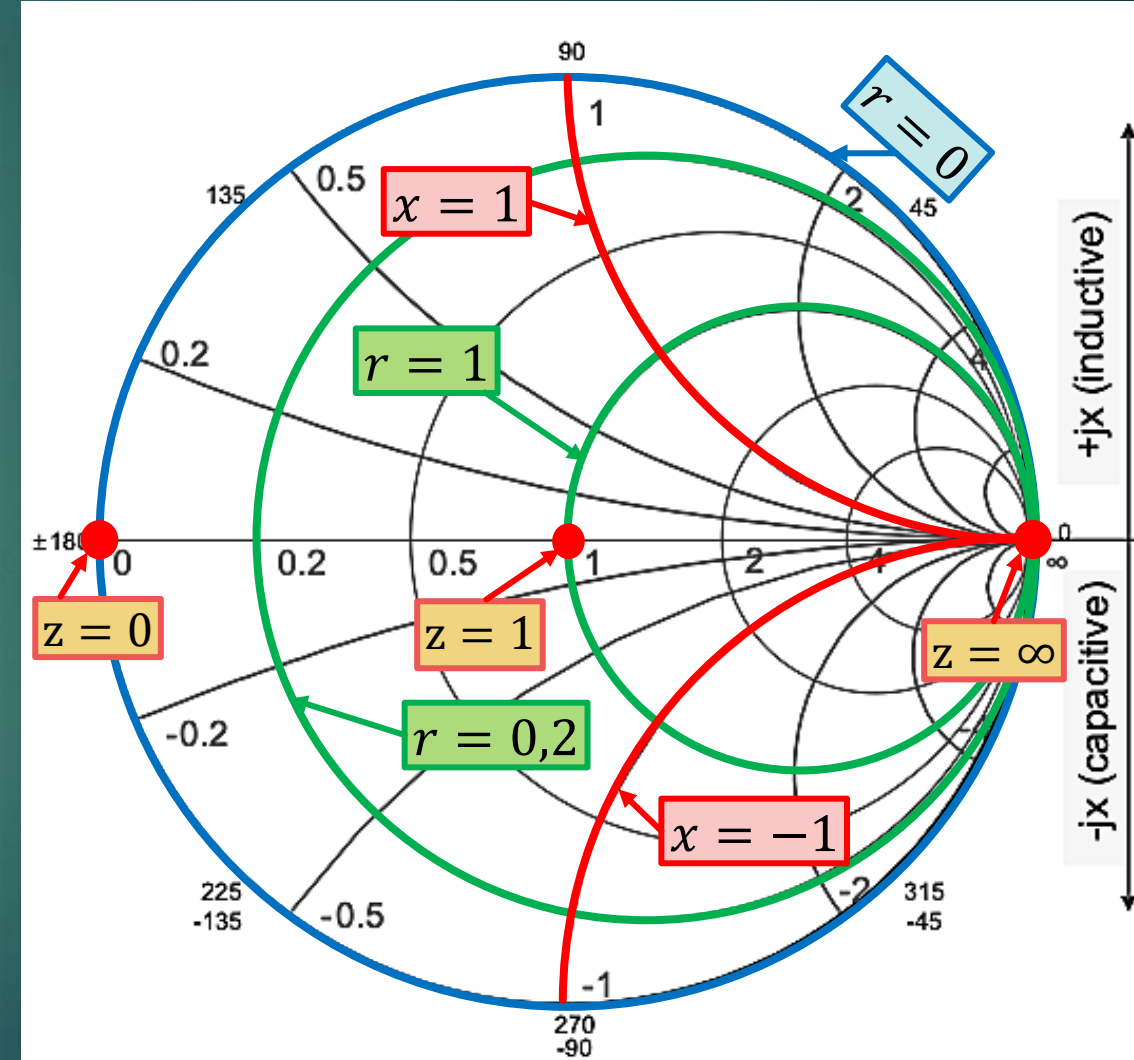
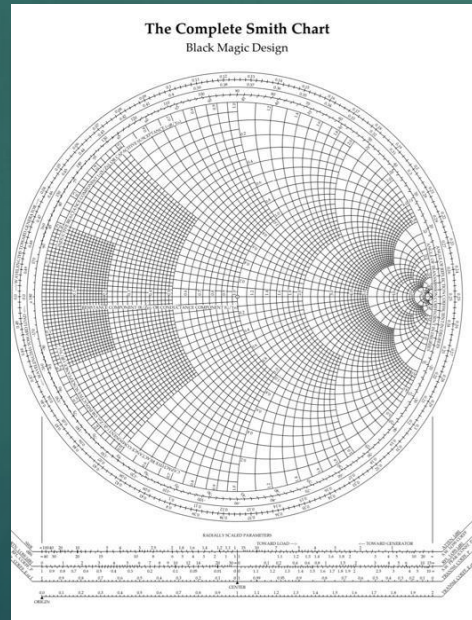
- ▶ Impedancia normalizada a  $Z_0 = 50\Omega$

$$z = \frac{Z}{Z_0} = \frac{Z}{50}$$

$$z = \frac{R}{50} \pm j \frac{X}{50} = r \pm jx$$

- ▶ Representación gráfica de las impedancia.
- ▶ El Chart de Smith

- Mizuhashi Tosaku - 1937
- **Phillip Smith** - 1939



# COEFICIENTE DE REFLEXIÓN

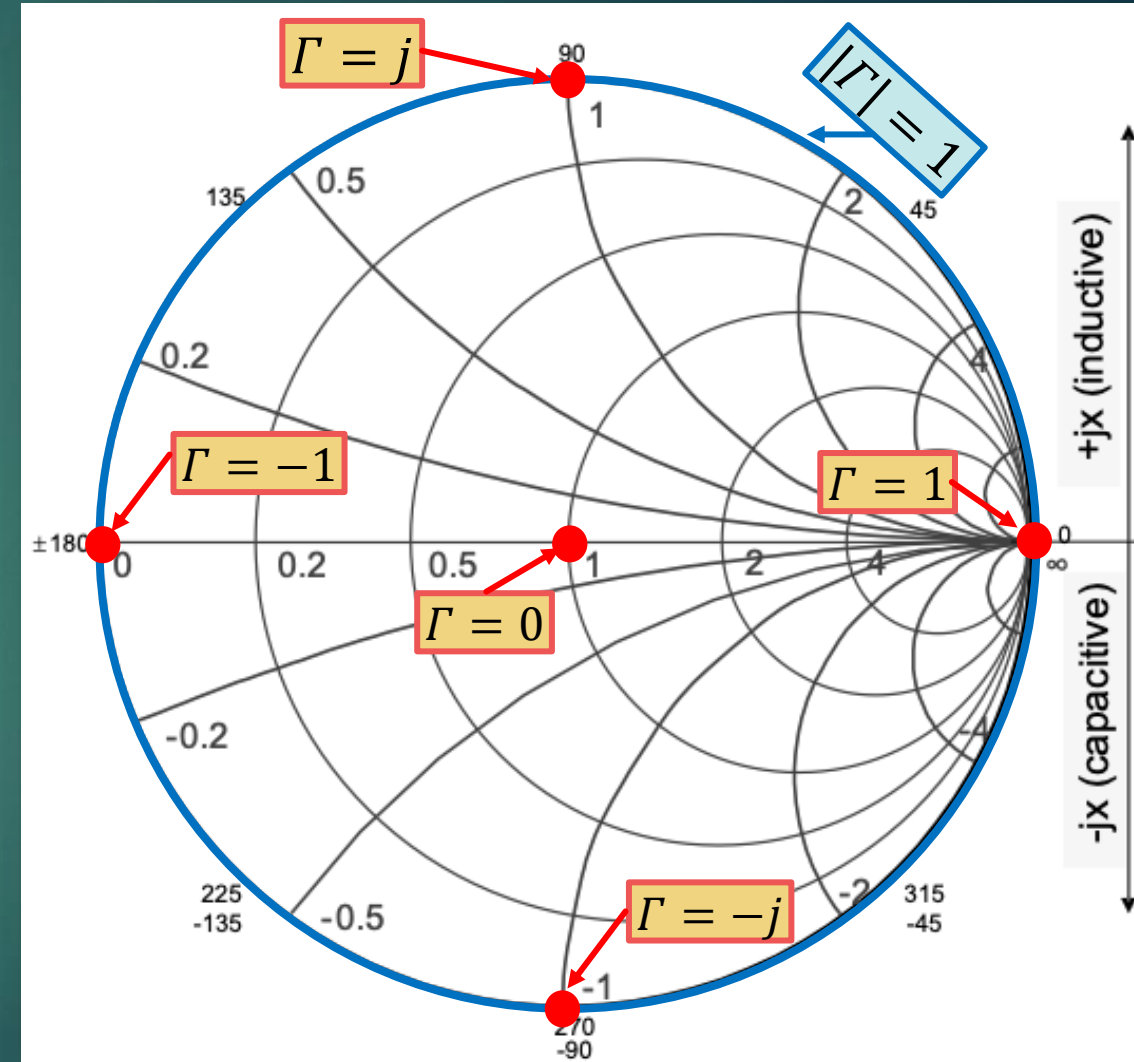


- Impedancia normalizada a  $Z_0 = 50\Omega$

$$z' = \frac{Z}{Z_0} = \frac{Z}{50}$$

- Representación gráfica del Coeficiente de reflexión

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad \longrightarrow \quad \Gamma = \frac{z - 1}{z + 1}$$



# COEFICIENTE DE REFLEXIÓN



- Impedancia normalizada a  $Z_0 = 50\Omega$

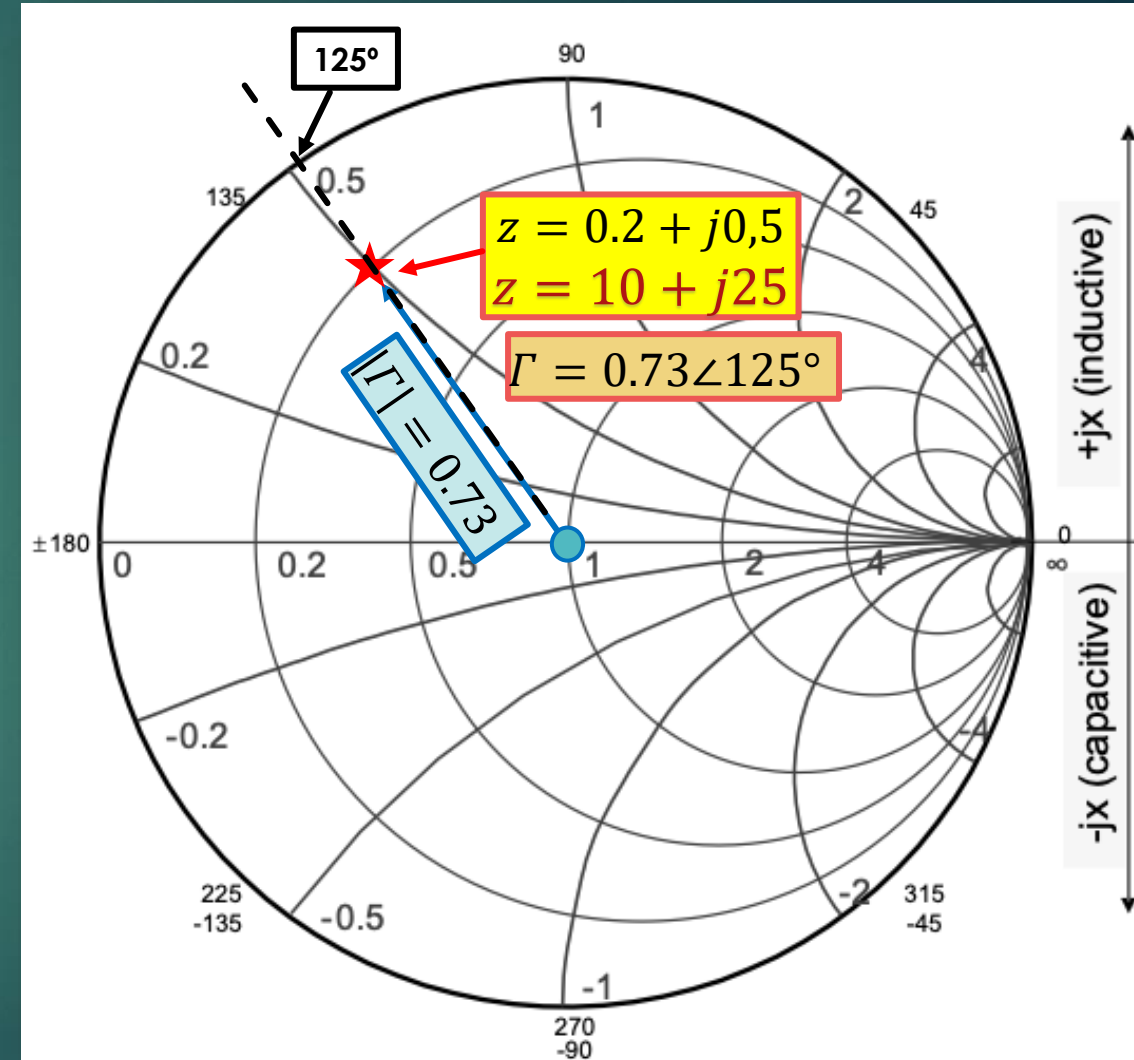
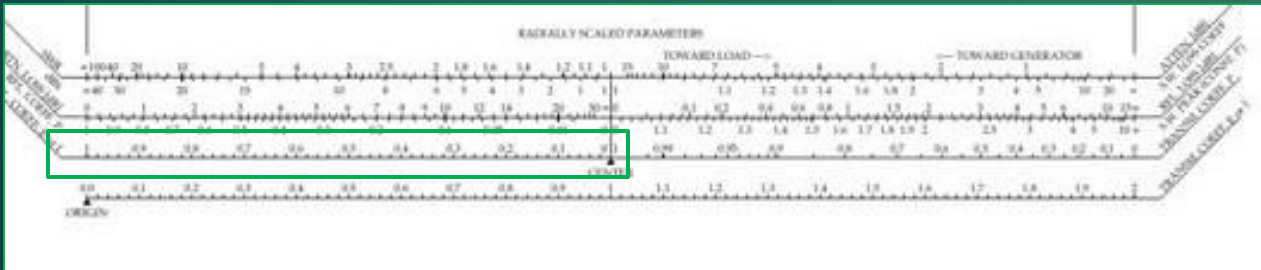
$$z' = \frac{Z}{Z_0} = \frac{Z}{50}$$

- Representación gráfica del Coeficiente de reflexión

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$



$$\Gamma = \frac{z - 1}{z + 1}$$

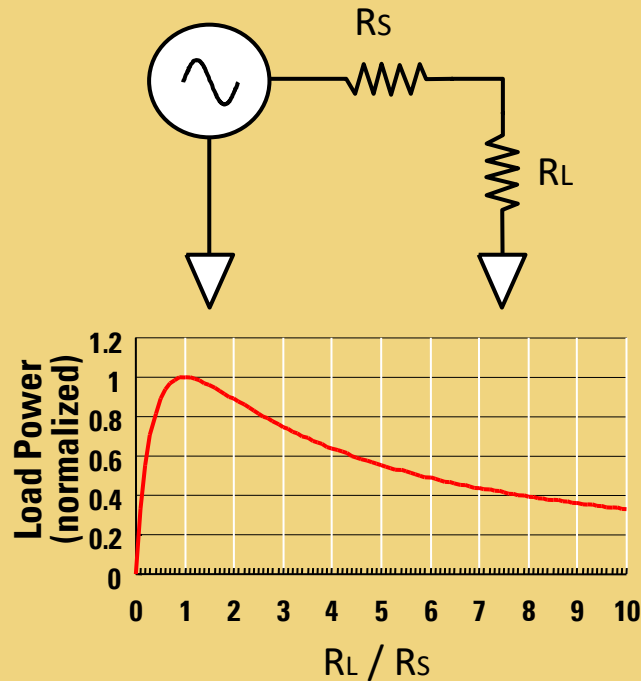


# ADAPTACIÓN DE IMPEDANCIAS



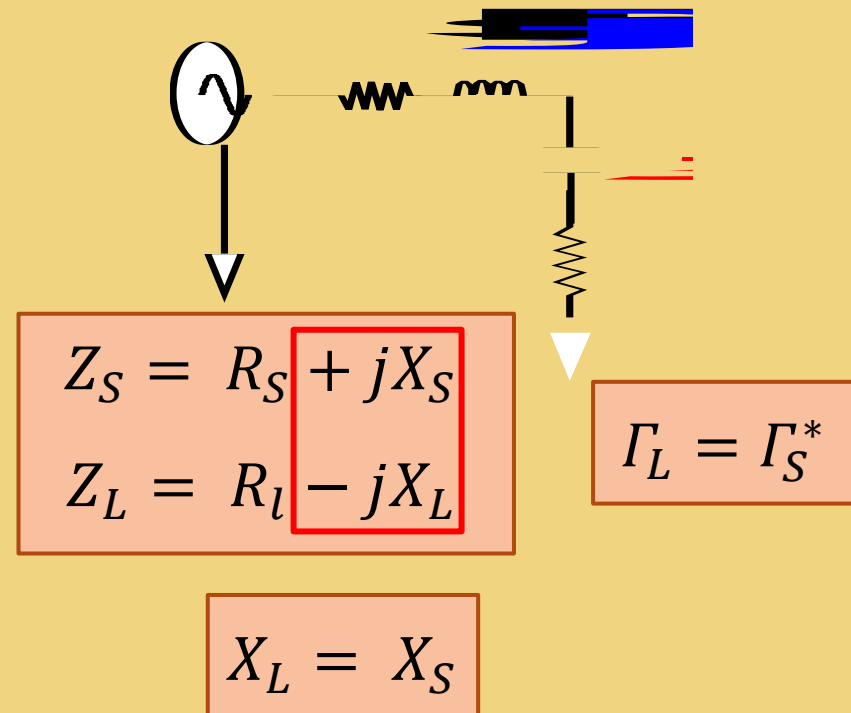
## Impedancia = Resistencia

La máxima transferencia de potencia se produce cuando la **Impedancia de Carga ( $R_L$ )** es igual a la **impedancia del generador ( $R_S$ )**



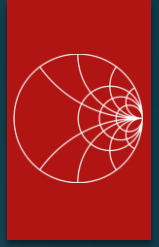
## Impedancia = Resistencia+Reactancia

La máxima transferencia de potencia de RF se logra cuando la **Impedancia de Carga ( $Z_L$ )** es igual a la **Impedancia conjugada del generador ( $Z_S$ )**.





# PARÁMETROS - S



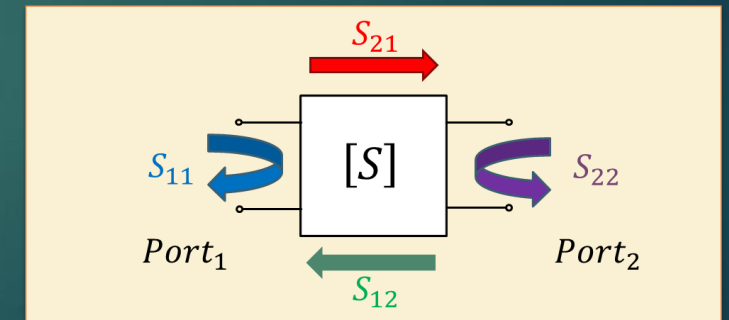
- Describen el comportamiento lineal de un dispositivo cuando se les somete al estímulo de una señal
  - ❖ Están relacionados con medidas habituales (Ganancia, Pérdida de inserción, coeficiente de reflexión, SWR, ...)
  - ❖ Los parámetros-S representan en una matriz de  $N \times N$  ( $N = \text{Número de puertos del dispositivo}$ ) y son valores complejos con Magnitud y Fase
  - ❖ Se exportan e importan los datos en formatos standard para emplearlos en herramientas de simulación.
  - ❖ Los coeficientes de reflexión  $S_{11}$  y  $S_{22}$  se pueden representar en el chart de Smith

$S_{11}$  = Coeficiente de reflexión Entrada (**Adaptación de Entrada**)

$S_{21}$  = Coeficiente de Transmisión (**Ganancia o Pérdidas**)

$S_{22}$  = Coeficiente de reflexión Salida (**Adaptación de Salida**)

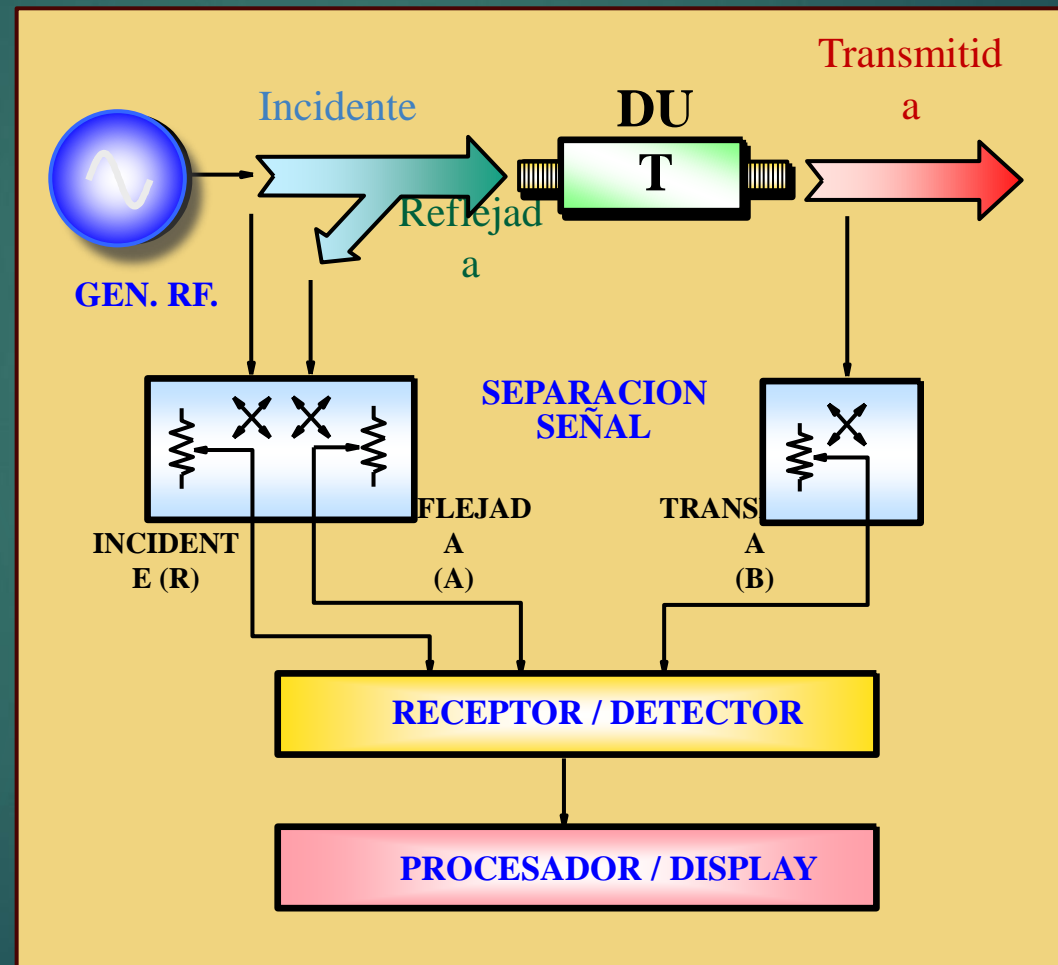
$S_{12}$  = Coeficiente de Transmisión reciproca (**Aislamiento Salida Entrada**)



<https://www.youtube.com/c/OpenEngineeringRF>  
<https://www.youtube.com/watch?v=-Pi0UbErHTY>

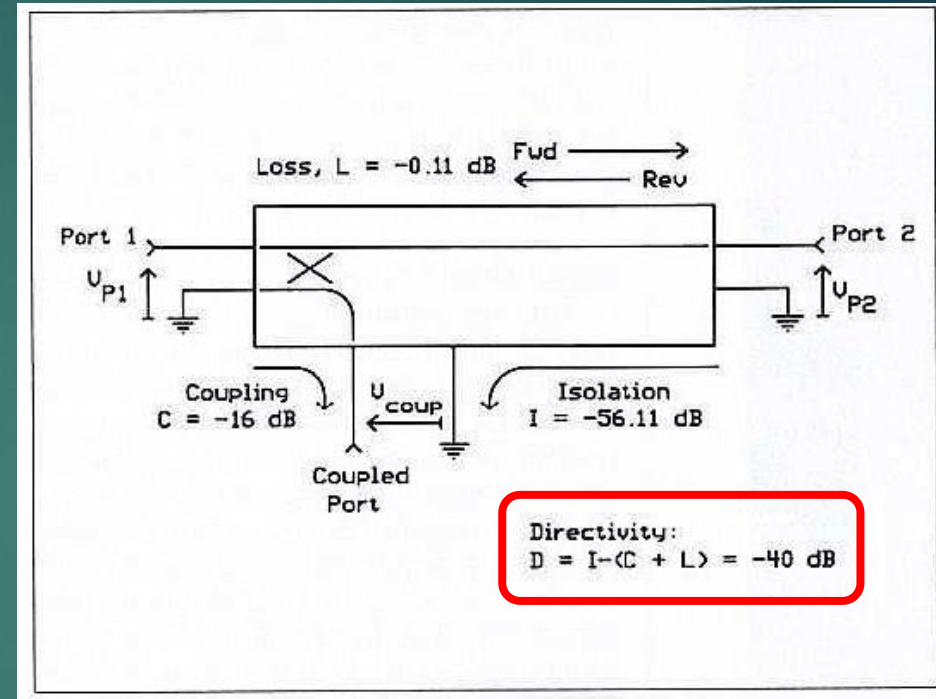
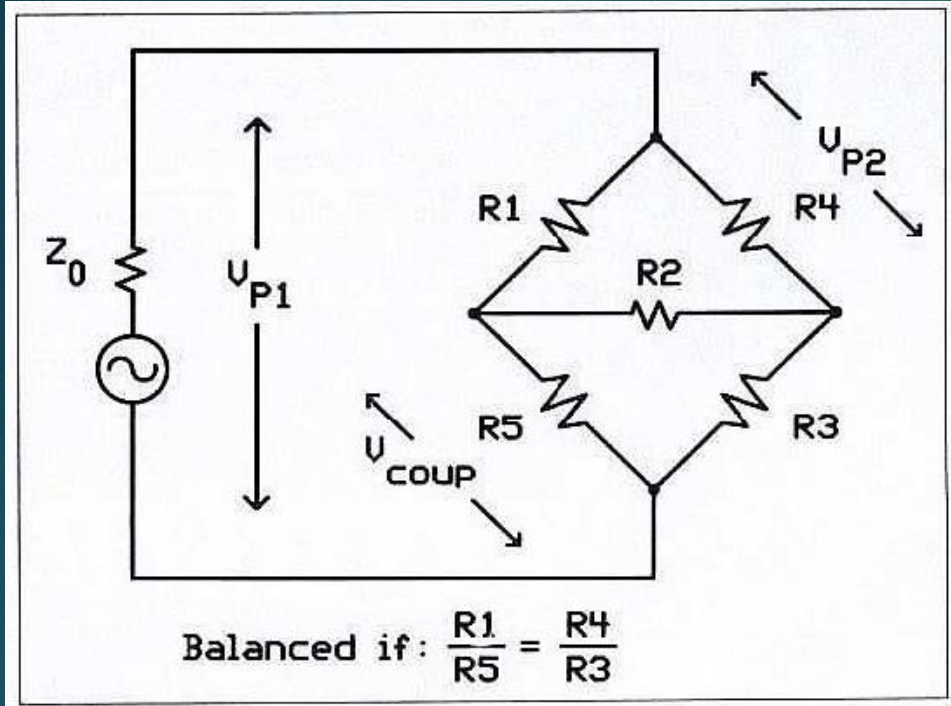
# EL VNA

- Equipo de medida de parámetros S y mas cosas...





# EL VNA ¿CÓMO MEDIR LA SEÑAL REFLEJADA?



# LA CALIBRACIÓN

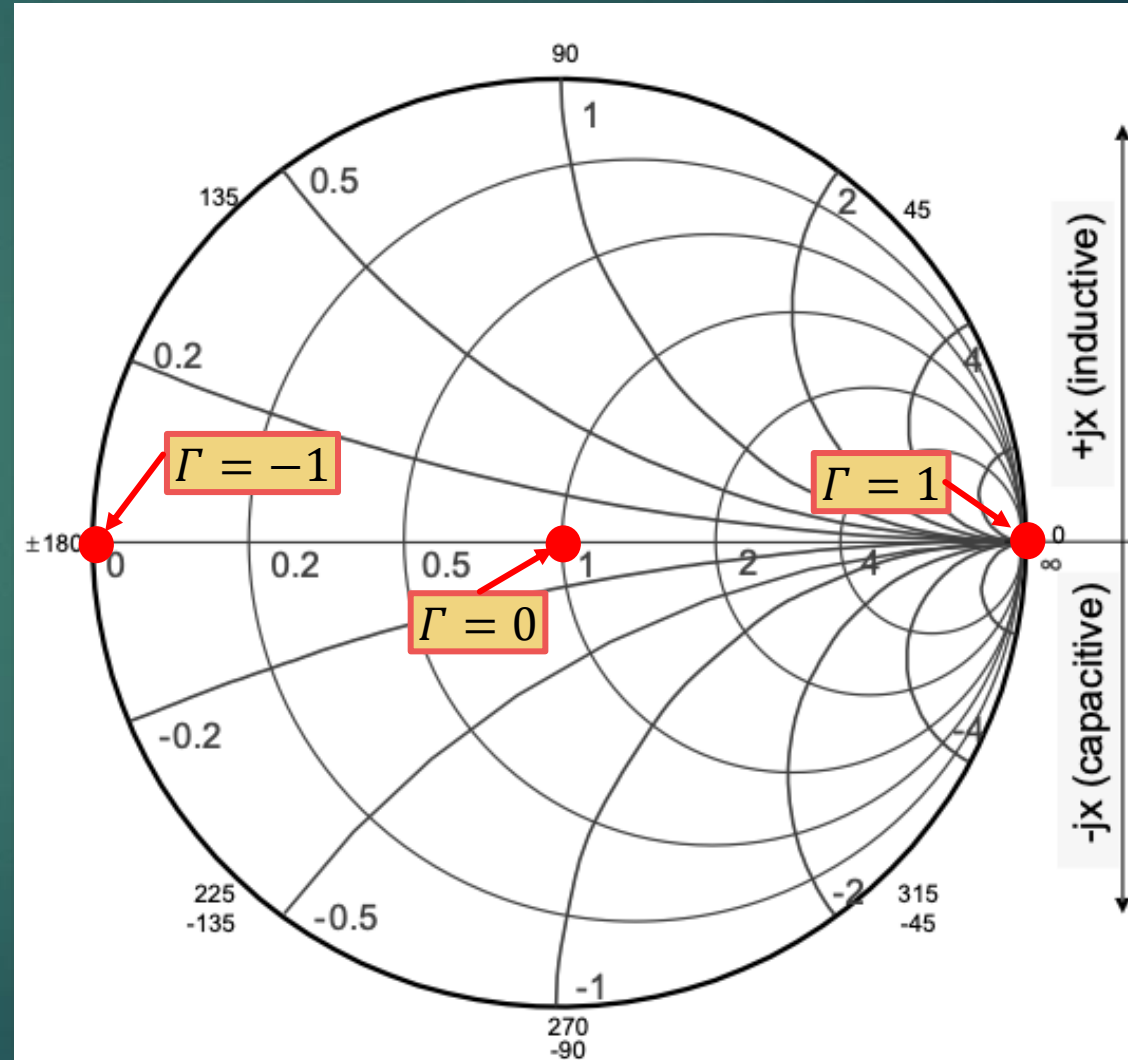
- ▶ Tipos de Errores
  - ▶ Aleatorios
  - ▶ Sistemáticos
- ▶ LA CALIBRACIÓN DEL VNA PERMITE MATEMATICAMENTE ELIMINAR LOS ERRORES SISTEMÁTICOS EN LA MEDIDA
  - ▶ Efecto de los Conectores, Cables, Adaptadores, etc
- ▶ LA CALIBRACIÓN SE REALIZA MEDIANTE EL USO DE **IMPEDANCIAS STANDARD CARACTERIZADAS.**
- ▶ HAY DIVERSOS TIPOS DE CALIBRACIÓN
  - ▶ SOLT , TRL, SSLT, ...

► **SHORT:**  $\Gamma = -1$

► OPEN:  $\Gamma = 1$

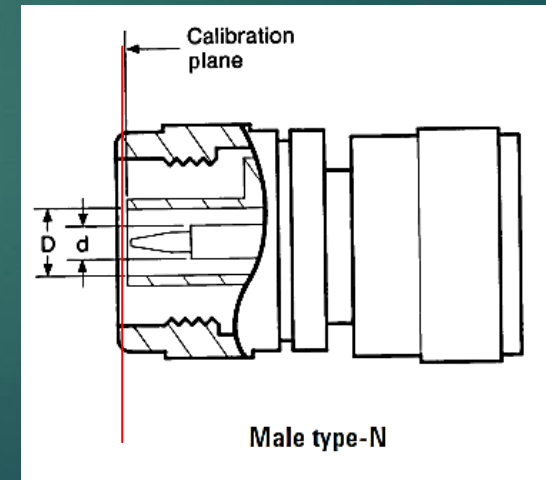
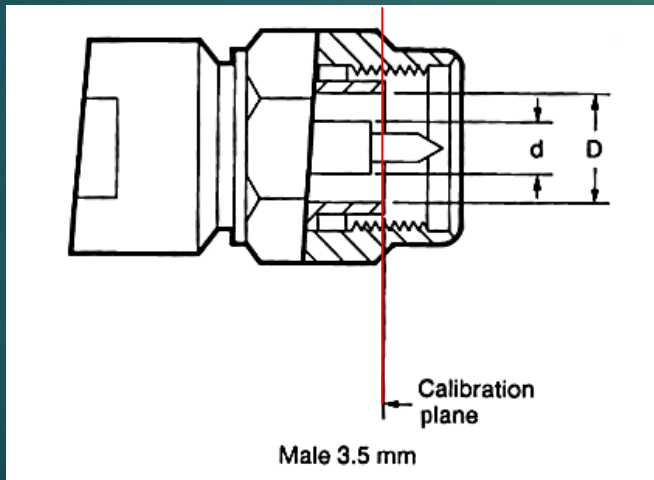
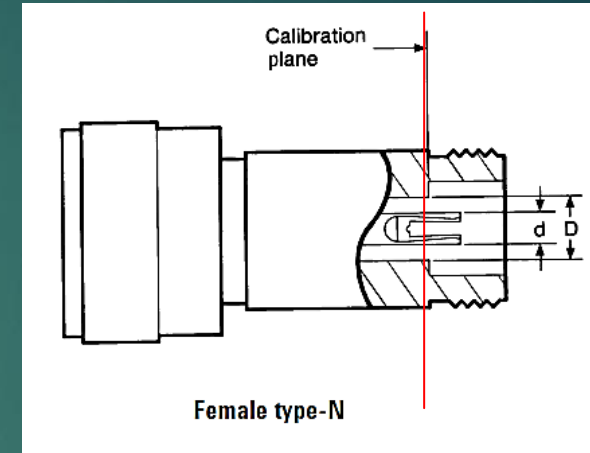
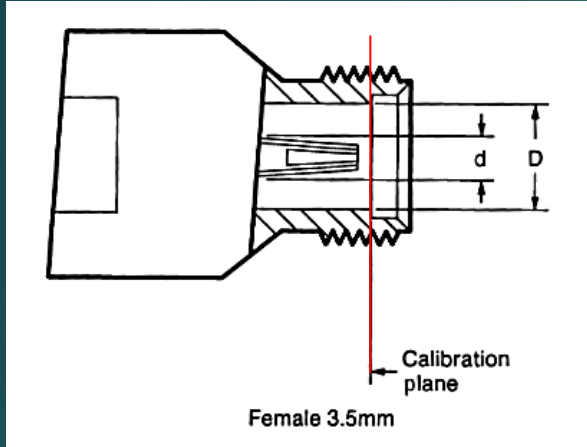
► LOAD:  $\Gamma = 0$

► **THRU:** Atenuación entre el Puerto 1 y 2 en función de la frecuencia

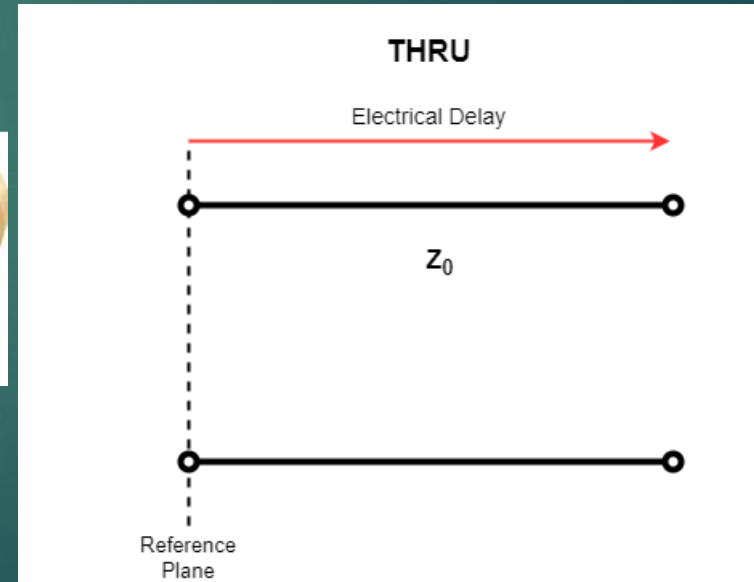
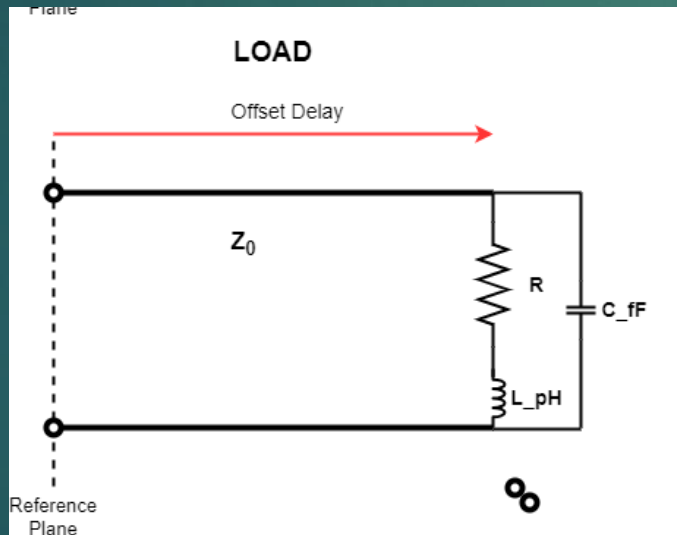
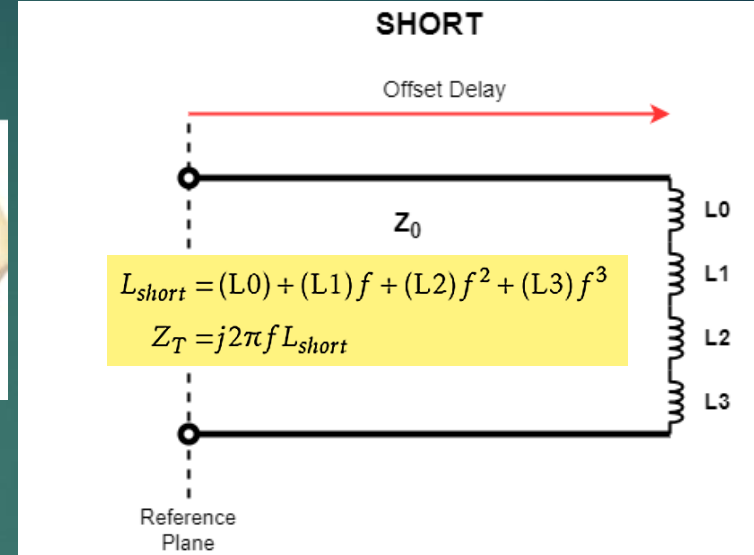
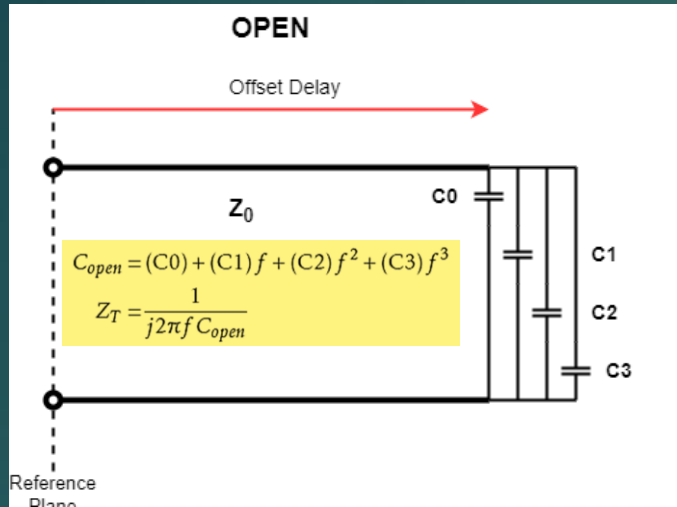


# PLANO DE CALIBRACIÓN

- La calibración permite establecer el Plano de calibración. Fase = 0



# STANDARDS DE CALIBRACIÓN





# STANDARDS DE CALIBRACIÓN

## ¿Cómo conocerlos?

- Opción 1. Comprar un kit de calibración que incluya la información



**Kit de calibración HP - Agilent - Keysight**  
85033D 3,5 mm - [ver título original](#)

**Alltest Instruments** (9173) · Vendedor profesional  
99,3% de votos positivos · [Otros artículos del vendedor](#) · [Contactar con el vendedor](#)

**USD1.990,00**  
Aproximadamente 1.845,16 EUR  
o Mejor oferta

Estado: Usado ⓘ  
"To be tested prior to shipment (Cal & ext warranty available upon request)"

Cantidad:  7 disponibles · 1 vendido

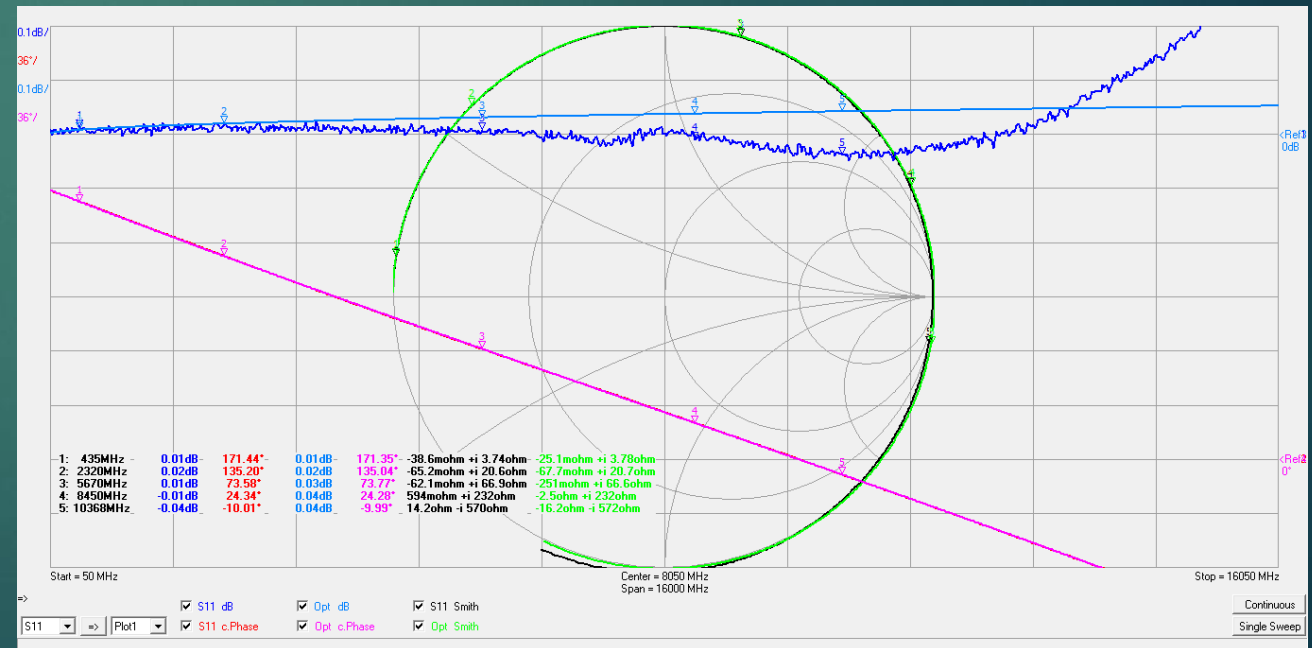
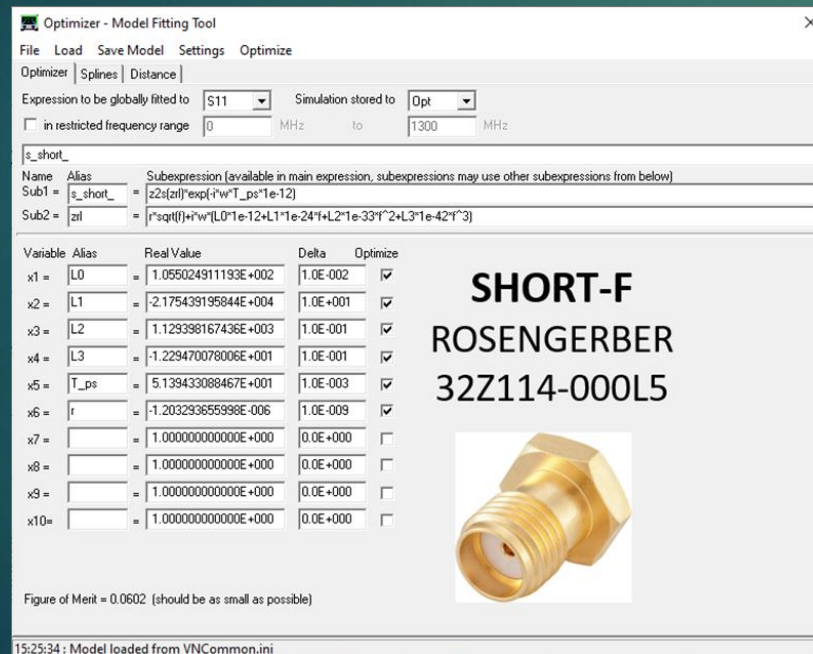
**¡Cómpralo ya!**

# STANDARDS DE CALIBRACIÓN

## ¿Cómo conocerlos?

### ► Opción 2.

- Encontrar un amigo con un **VNA calibrado con un Kit PRO**
- Medir el S11 del Open, Short y Load → Ficheros \*.s1p y medir S11, S21, S12, S22 del Thru con un **VNA calibrado con un Kit PRO** → Fichero \*.s2p
- Crear el modelo con el software de DG8SAQ para el VNWA





# KITS DE CALIBRACIÓN

► KIT CALIBRACIÓN ROSSENBERGER HASTA 12GHz por 110€

22€



OPEN	Delay (ps)	C0 ( $e^{-15}F$ )	C1 ( $e^{-27}F/Hz$ )	C2 ( $e^{-36}F/Hz^2$ )	C3 ( $e^{-45}F/Hz^3$ )
32K101-K00L5	37.80	90.7086	11564.6018	-1618.3821	65.839

41€



SHORT	Delay (ps)	L0 ( $e^{-12}H$ )	L1 ( $e^{-24}H/Hz$ )	L2 ( $e^{-33}H/Hz^2$ )	L3 ( $e^{-42}H/Hz^3$ )
32Z114-000L5	25.70	150.503	-21754.392	1129.398	-12.295

45€



LOAD	Delay (ps)	R ( $\Omega$ )	L (pH)	C (fF)
32K17R-001E3	40.04	50.00*	0.000606	14.006

-

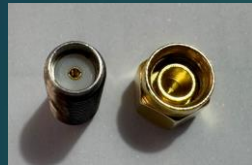


TRHU	E. Delay (ps)
32K101-K00L5	42.50

\* Si es posible medir el valor de R en DC con mayor precisión, usar el valor medido

# KITS DE CALIBRACIÓN

## ► KIT CALIBRACIÓN LiteVNA64 HASTA 8GHz



OPEN	Delay (ps)	C0 ( $e^{-15}F$ )	C1 ( $e^{-27}F/Hz$ )	C2 ( $e^{-36}F/Hz^2$ )	C3 ( $e^{-45}F/Hz^3$ )
	37.47	282.42	-759.44	795.11	-37.54



SHORT	Delay (ps)	L0 ( $e^{-12}H$ )	L1 ( $e^{-24}H/Hz$ )	L2 ( $e^{-33}H/Hz^2$ )	L3 ( $e^{-42}H/Hz^3$ )
	28.36	1063.67	-5517.09	-491.36	1373.87



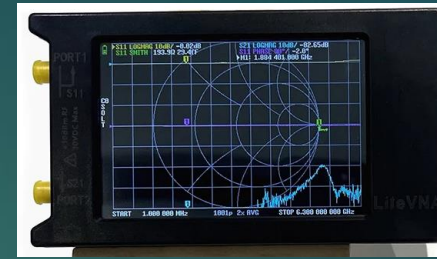
LOAD	Delay (ps)	R ( $\Omega$ )	L (pH)	C (fF)
	28.23	50.00*	-38.02	15.16



TRHU	E. Delay (ps)
	48.79

\* Si es posible medir el valor de R en DC con mayor precisión, usar el valor medido

# VNA`s PARA uW's



## ► LiteVNA 64

- 50KHz – 6,3GHz / 1001p / S11 noise floor < -50dB / S21 dinamic range 70-90dB
- Tarjeta SD. Guardar Calibraciones / Cal Kits / Imágenes / Medidas S1p y S2p
- Firmware con actualizaciones frecuentes (1.3.43 – Mar 2025)
- Amplia gama de visualizaciones de las medidas de reflexión y transmisión

### Reflexión (S11)

<input checked="" type="checkbox"/> LOGMAG	POLAR	Z PHASE
PHASE	LINEAR	SERIES C
DELAY	REAL	SERIES L
SMITH R + jX	IMAG	PARALLEL R
SWR	Q FACTOR	PARALLEL X
RESISTANCE	CONDUCTANCE	PARALLEL C
REACTANCE	SUSCEPTANCE	PARALLEL L
IZI	IYI	
→ MORE	→ MORE	← BACK
← BACK	← BACK	

### Transmisión (S21)

<input checked="" type="checkbox"/> LOGMAG	SERIES R
PHASE	SERIES X
DELAY	SERIES IZi
SMITH Re + Im	SHUNT R
POLAR	SHUNT X
LINEAR	SHUNT IZi
REAL	Q FACTOR
IMAG	
→ MORE	← BACK
← BACK	

### MEASURES

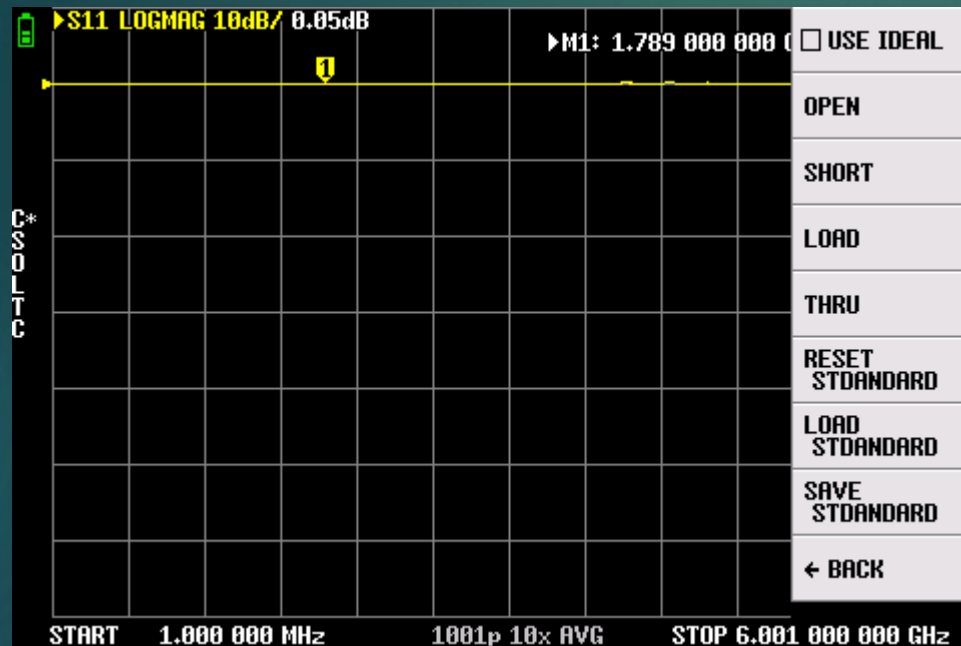
<input checked="" type="radio"/> OFF
<input type="radio"/> L/C MATCH
<input type="radio"/> CABLE (S11)
<input type="radio"/> RESONANCE (S11)
<input type="radio"/> SHUNT LC (S21)
<input type="radio"/> SERIES LC (S21)
<input type="radio"/> SERIES XTAL (S21)
<input type="radio"/> FILTER (S21)
← BACK

# VNA's PARA uW's



## ► LiteVNA 64

- Calibración Ideal o con parámetros del Kit empleado



OPEN	SHORT	LOAD	THRU
Z0 50Ω	Z0 50Ω	R 50.96Ω	Z0 50Ω
DELAY 128ps	DELAY 126ps	Z0 50Ω	DELAY 63.6ps
OFFSET LOSS 0GΩ/s	OFFSET LOSS 0GΩ/s	DELAY 163ps	OFFSET LOSS 0GΩ/s
C0 -6.27*10 <sup>15</sup>	L0 59.39*10 <sup>12</sup>	OFFSET LOSS 0GΩ/s	← BACK
C1 17387.3613*10 <sup>-15</sup>	L1 -84183.7344*10 <sup>-12</sup>	L 332.28*10 <sup>12</sup> H	
C2 -6228.8599*10 <sup>-15</sup>	L2 27810.3906*10 <sup>-12</sup>	C 116.63*10 <sup>15</sup> F	
C3 128.21*10 <sup>-45</sup>	L3 -2604.1602*10 <sup>-12</sup>	← BACK	
← BACK	← BACK		

**IMPORTANTE**  
EL KIT DE CALIBRACIÓN SOLO SE  
USA PARA CALIBRAR



~~VNA's PARA UW's~~

→ SNA's PARA UW's

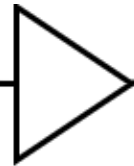
## ▶ ADALM PLUTO con "ESTEROIDES" + SATSAGEN

Port 1

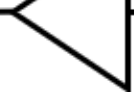
ACOPLADOR DIRECCIONAL



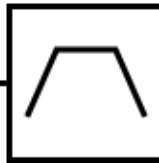
AMP  
20 - 25 dB Gain



AMP  
20 - 25 dB Gain



FILTRO BPF  
7 - 11GHz



SATSAGEN  
Modo SNA  
3<sup>rd</sup> Harmonic



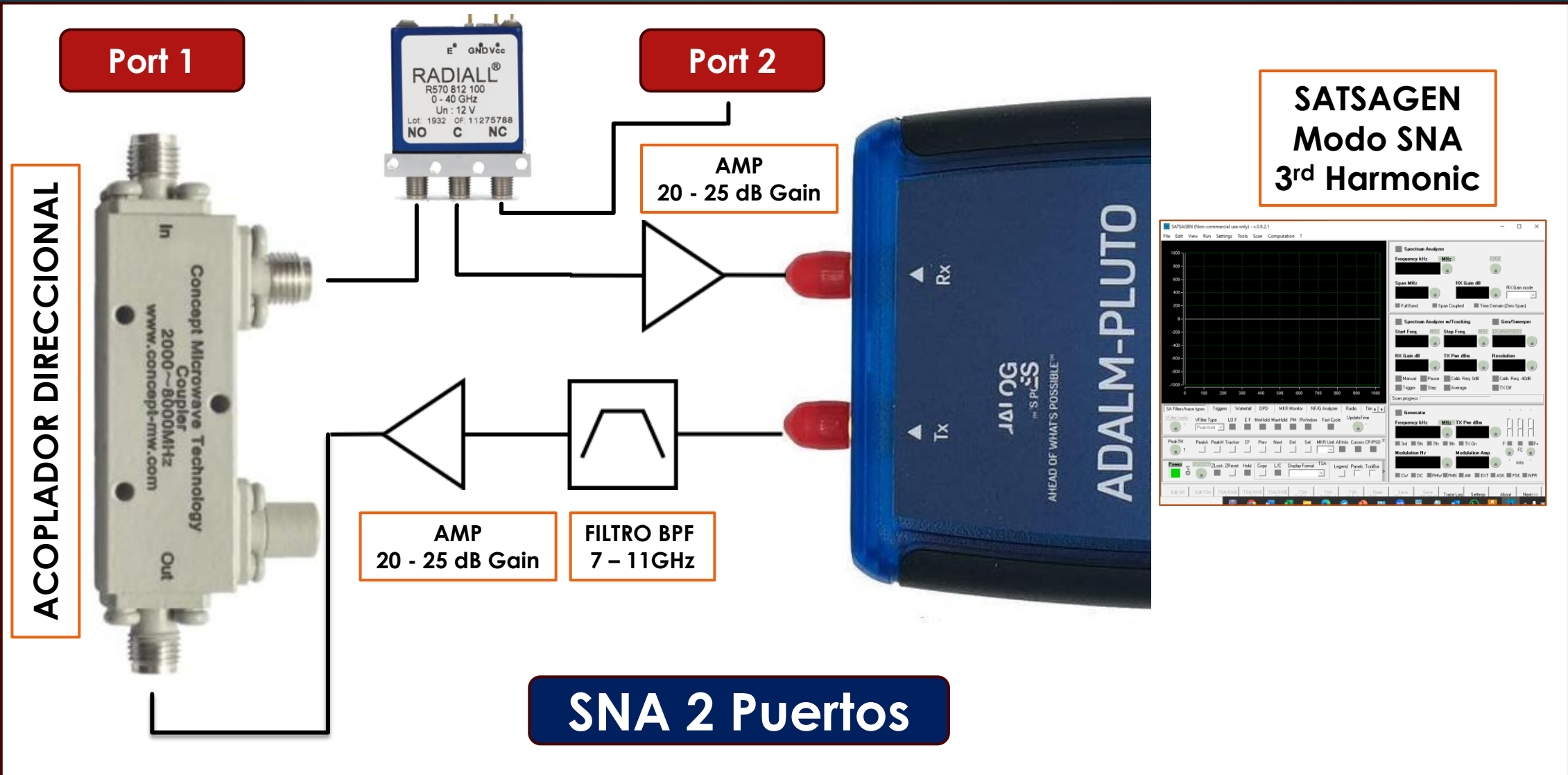
SNA 1 Puerto



~~VNA's PARA UW's~~

→ SNA's PARA UW's

▶ ADALM PLUTO con "+ESTEROIDES"+ SATSAGEN



# VNA`s PARA uW's

- ▶ ADALM PLUTO con "+++ESTEROIDES"+ SATSAGEN





# VNA`s PARA uW's

- ▶ ADALM PLUTO con “++ESTEROIDES”+ SATSAGEN

**NO OS PERDAIS  
LOS TALLERES DE MEDICIONES  
AULAS 10 y 9**

# GRACIAS

