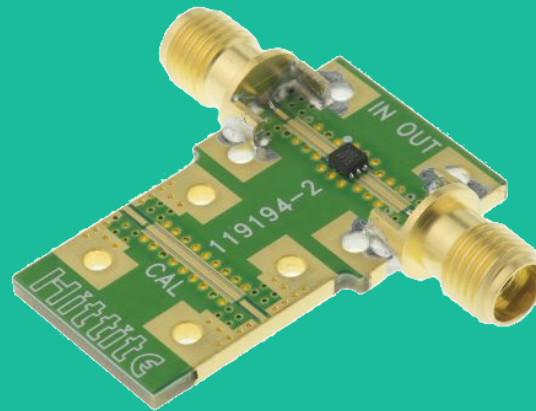


# Medición On-Wafer de parámetros S

## Medidas Electrónicas II



Luis Seva

| Bruno Errasti

| Pablo Di Sabato



**UTN.BA**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

# Introducción

- **TRL**
  - Fundamentos teóricos.
  - Por qué se eligió?
  - TX Line Software.
- **Proceso de fabricación e inconvenientes**
  - Selección de PCB y componentes.
  - Inconvenientes y soluciones.
  - Aspectos a evitar.
- **Mediciones, capturas y comparaciones**
- **Conclusiones**

# TRL

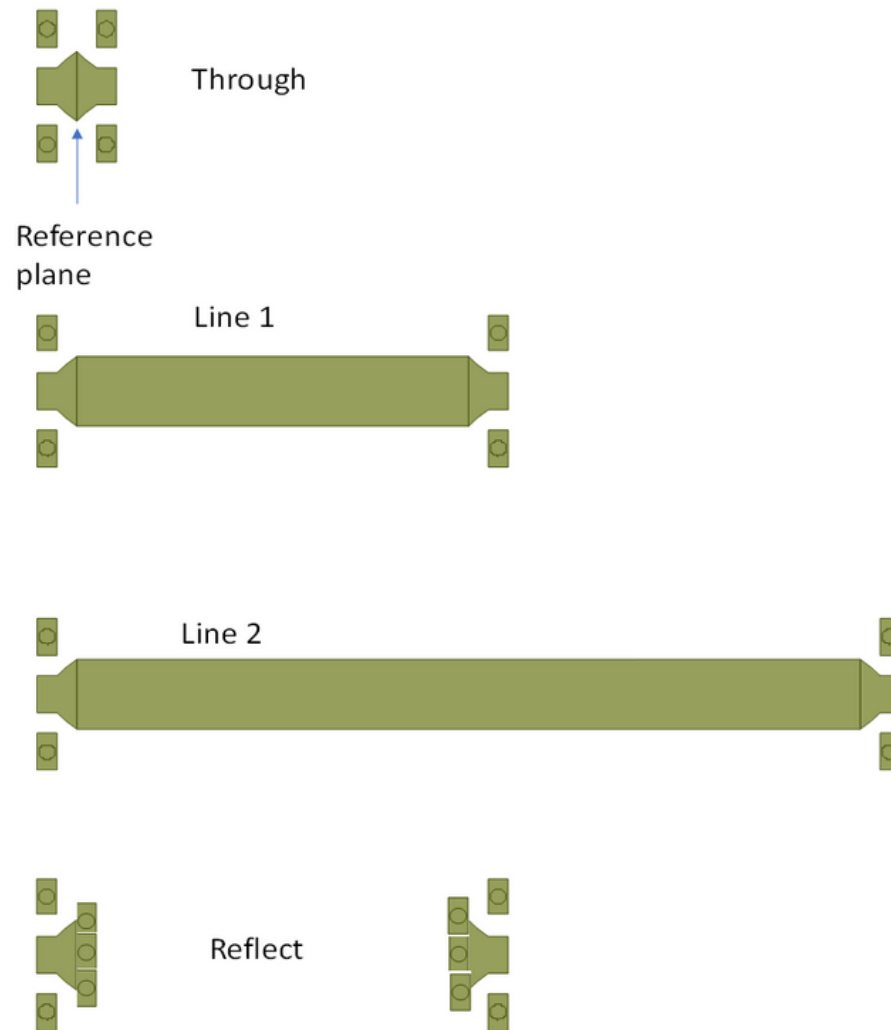
## TRL (Thru, Reflect, Line)

- Familia de técnicas de calibración que miden dos patrones de transmisión y uno de reflexión para determinar los coeficientes de error (2 puertos – 12 términos).
- Incluyen: TRM (Thru, Reflect, Match), LRL (Line, Reflect, Line) y LRM (Line, Reflect, Match).

## Por que TRL?

- Excelente precisión.
- Muy utilizado cuando no se cuenta con patrones de calibración con los mismos tipos de conectores que el DUT (por ejemplo mediciones on-wafer).
- Utilizado generalmente para realizar mediciones con probe stations.
- Relativamente sencillo de fabricar e implementar.
- Los patrones no necesitan ser definidos con tanta precisión y exactitud, ya que son modelados (a diferencia de SOTL).

# TRL - Cálculos



# TRL - Cálculos

## Line

- Idealmente, el largo de la pista patrón debe ser de  $\frac{1}{4} \lambda$  (90 grados eléctricos).
- Para realizar un barrido en frecuencia a lo largo de una buena porción del espectro, se vuelve impráctico e irrealizable.
- **Criterio de ingeniería:** El largo el patrón **Line** funciona razonablemente bien entre 20 y 160 grados eléctricos. Dependiendo del ancho de banda que se necesite medir, se crean los patrones necesarios.
- Podemos pensar el ancho de banda a cubrir como un ratio entre la menor frecuencia y la mayor. Esto nos permite fácilmente saber cuantos patrones line vamos a necesitar:
  - 1 línea cubre un ratio 8:1
  - 2 líneas cubren un ratio 64:1
  - 3 líneas cubren un ratio 512:1
  - 4 líneas cubren un ratio 4096:1

# TRL - Cálculos

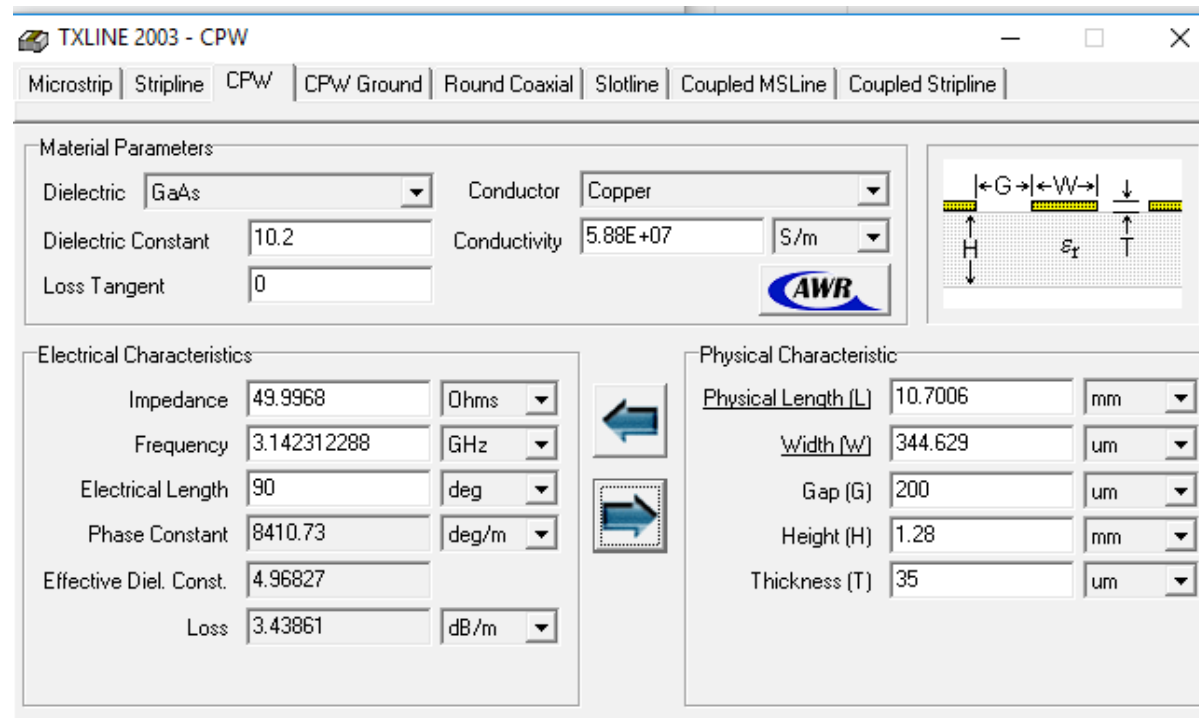
<b>Enter Keff</b>	10,2				
<b>Enter FL</b>	<b>Enter FH</b>		Ratio FH/FL		<b>Result</b>
0,24	24	GHz	100		<b>Three lines</b>

<b>One line solution</b>	FL	FC	FH					
Frequencies	0,24		12,12	24	GHz			
Line length		1,9375751581			mm			
Time delay		20,6270627063			ps			
Phase at lower trans		1,7821782178			deg			
Phase at upper trans		178,2178217822			deg			
		Band 1		Band 2				
<b>Two line solution</b>	FL	FC1	FT	FC2	FH			
Frequencies	0,24	1,32	2,4	13,2	24	GHz		
Line lengths		17,7904628149		1,7790463		mm		
Time delay		189,3939393939		18,939394		ps		
Phase at lower trans		16,3636363636		16,363636		deg		
Phase at upper trans		163,6363636364		163,63636		deg		
		Band 1		Band 2		Band 3		
<b>Three line solution</b>	FL	FC1	FT1	FC2	FT2	FC3	FH	
Frequencies	0,24	0,67699066	1,1139813	3,1423123	5,1706433	14,585322		24 GHz
Line lengths		34,6879392908		7,47329		1,6100715		mm
Time delay		369,2813132571		79,559247		17,14052		ps
Phase at lower trans		31,9059054654		31,905905		31,905905		deg
Phase at upper trans		148,0940945346		148,09409		148,09409		deg

## TXLine Software

- Utilizado para calcular, analizar y sintetizar líneas de transmisión.
- En nuestro caso lo utilizamos para poder determinar las características del PCB que necesitábamos adquirir.

**3,14 GHz**



## 15 GHz

TXLINE 2003 - CPW

Microstrip | Stripline | CPW | CPW Ground | Round Coaxial | Slotline | Coupled MSLine | Coupled Stripline

Material Parameters

Dielectric: GaAs  
 Dielectric Constant: 10.2  
 Loss Tangent: 0

Conductor: Copper  
 Conductivity: 5.88E+07 S/m

AWR

Diagram:

Electrical Characteristics

Impedance: 49.9968 Ohms  
 Frequency: 14.58532163 GHz  
 Electrical Length: 90 deg  
 Phase Constant: 38980.2 deg/m  
 Effective Diel. Const.: 4.95327  
 Loss: 7.43137 dB/m

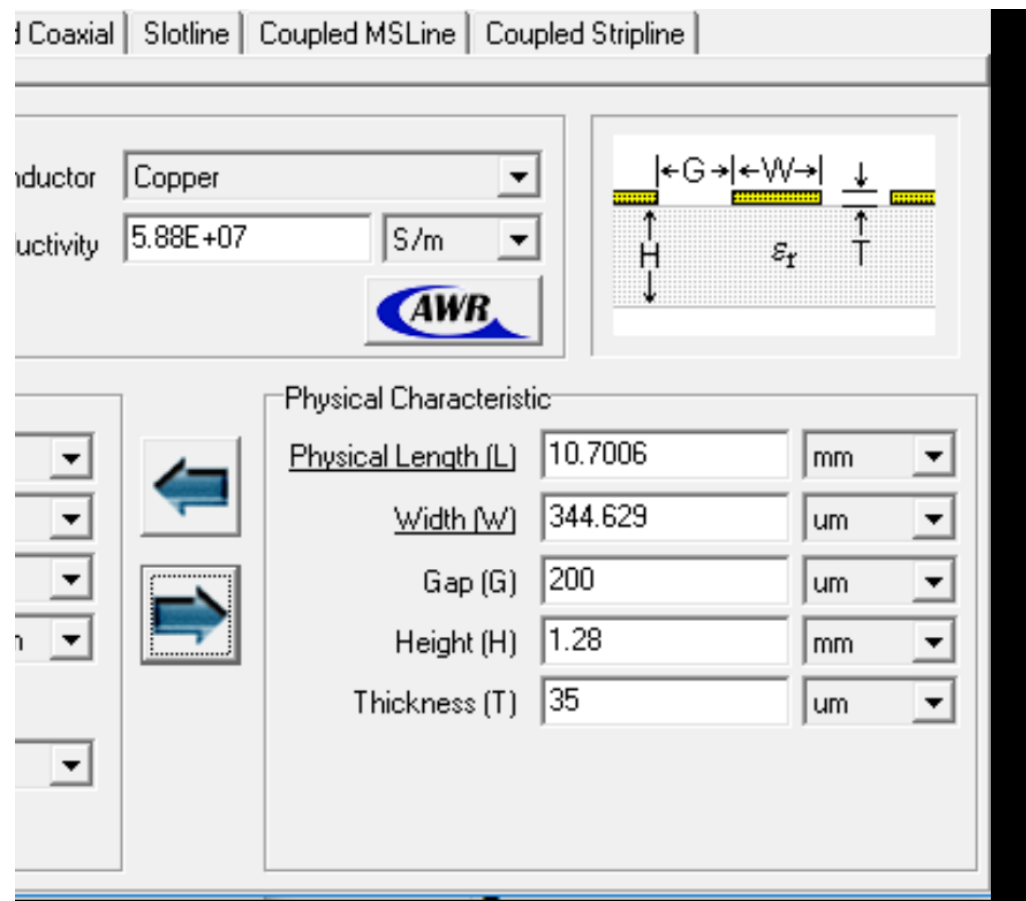
Physical Characteristic

Physical Length (L): 2.30887 mm  
 Width (W): 342.705 um  
 Gap (G): 200 um  
 Height (H): 1.28 mm  
 Thickness (T): 35 um



# Proceso de fabricación e inconvenientes

## Selección de PCB



# Proceso de fabricación e inconvenientes

## Selección de PCB

- Necesitábamos cumplir con los siguientes requerimientos:
  - CPW (Coplanar Waveguide)
  - Dieléctrico 10,2
  - Gap y Width limitados, por las características de las puntas de medición (probes): pitch desde 50 a 1250  $\mu\text{m}$
  - Conductor de cobre



### RO3200™ Series Circuit Materials

RO3203™, RO3206™ and RO3210™  
High Frequency Circuit Laminates

Sample Items:

Item Name	Qty Ordered
RO3210 12X9 H1/H1 R3 0500+-002/DI	2

# Proceso de fabricación e inconvenientes

## RO3210 Series

- Laminados de cerámica reforzados con fibra de vidrio tejida.
- Balance entre alta performance eléctrica y **estabilidad mecánica**.
- Cumple con el valor de constante dieléctrica ( $K=10,2$ ).
- Factor de disipación bajo 0,0027 (muy importante en RF alta frecuencia, para minimizar las pérdidas y errores).
- Costo aproximado de 50 USD.

Standard Thickness	Standard Panel Size	Standard Copper Cladding
<b>RO3203:</b> 0.010" (0.25mm) 0.020" (0.50mm) 0.030" (0.75mm) 0.060" (1.52mm)	12" X 18" (305 X 457mm) 24" X 18" (610 X 457mm)	½ oz. (17µm) electrodeposited copper foil (HH/HH) & rolled copper foil (5R/5R) 1 oz. (35µm) electrodeposited copper foil. (H1/H1) & rolled copper foil (1R/1R) 2 oz. (70µm) electrodeposited copper foil. (H2/H2) & rolled copper foil (2R/2R)
<b>RO3206/RO3210:</b> 0.025" (0.64mm) 0.050" (1.28mm)	12" X 18" (305 X 457mm) 24" X 18" (610 X 457mm)	½ oz. (17µm) electrodeposited copper foil (HH/HH) 1 oz. (35µm) electrodeposited copper foil. (H1/H1) 2 oz. (70µm) electrodeposited copper foil. (H2/H2) Other claddings may be available. Contact customer service.

# Proceso de fabricación e inconvenientes

Property	Typical Value <sup>(1)</sup>			Direction	Unit	Condition	Test Method
	RO3203	RO3206	RO3210				
Dielectric Constant, $\epsilon_r$ Process	3.02± 0.04	6.15± 0.15	10.2± 0.50	Z	-	10 GHz 23°C	IPC-TM-650 2.5.5.5 Clamped Stripline
<sup>[2]</sup> Dielectric Constant, $\epsilon_r$ Design	3.02	6.6	10.8	Z	-	8 GHz - 40 GHz	Differential Phase Length Method
Dissipation Factor, $\tan \delta$	0.0016	0.0027	0.0027	Z	-	10 GHz 23°C	IPC-TM-650 2.5.5.5
Thermal Coefficient of $\epsilon_r$	-13	-212	-459	Z	ppm/°C	10 GHz 0-100°C	IPC-TM-650 2.5.5.5
Dimensional Stability	0.8	0.8	0.8	X,Y	mm/m	COND A	ASTM D257
Volume Resistivity	10 <sup>7</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>		MΩ•cm	COND A	IPC 2.5.17.1
Surface Resistivity	10 <sup>7</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>		MΩ	COND A	IPC 2.5.17.1
Tensile Modulus	409 351	462 462	579 517	MD CMD	kpsi	23°C	ASTM D638
Water Absorption	<0.1	<0.1	<0.1	-	%	D24/23	IPC-TM-650 2.6.2.1
Specific Heat	0.95	0.85	0.79		J/g/K		Calculated
Thermal Conductivity	0.48	0.67	0.81	-	W/m/K	80°C	ASTM C518
Coefficient of Thermal Expansion	13 58	13 34	13 34	X,Y, Z	ppm/°C	-55 to 288°C	ASTM D3386-94
Td	500	500	500		°C	TGA	ASTM D3850
Color	Tan	Tan	Off White				
Density	2.1	2.7	3.0		gm/cm3		
Copper Peel Strength	10.2	10.7	11.0		pli	1 oz. EDC After Solder Float	IPC-TM-2.4.8
Flammability	V-0	V-0	V-0				UL 94
Lead Free Process Compatible	YES	YES	YES				

# Proceso de fabricación e inconvenientes

## Inconvenientes y consideraciones...

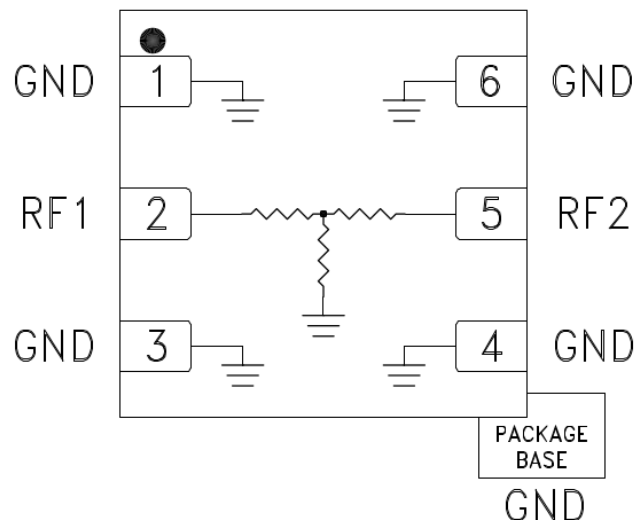
- Revisar todos los aspectos e imperfecciones del diseño antes de la impresión de la filmina. Revisar con diversos softwares.
- Minimizar el tamaño de los contactos/pads (llamdas launchers) de cada uno de los patrones (para reducir imperfecciones y meduciones indeseadas).
- No usar conectores (genralmetne SMA) baratos.
- Utilizar preferentemente un corto-circuito (short) para el patrón Reflect.
- Tener en cuenta tiempos de entrega, demoras y posibles imprevistos.
- Tener en cuenta **desde un principio** las características del probe.

# Proceso de fabricación e inconvenientes

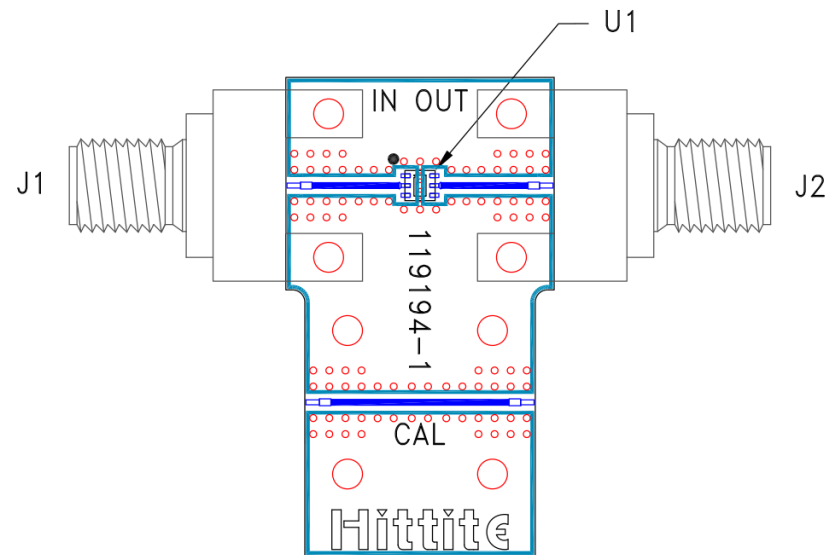
## HMC652LP2E

- **4 Attenuator Products:**
- **2, 3, 4 & 6 dB Fixed Attenuation Levels**
- **Wide Bandwidth: DC - 25 GHz**
- **Excellent Attenuation Accuracy**
- **6 Lead 2x2 mm SMT Package: 4 mm 2**

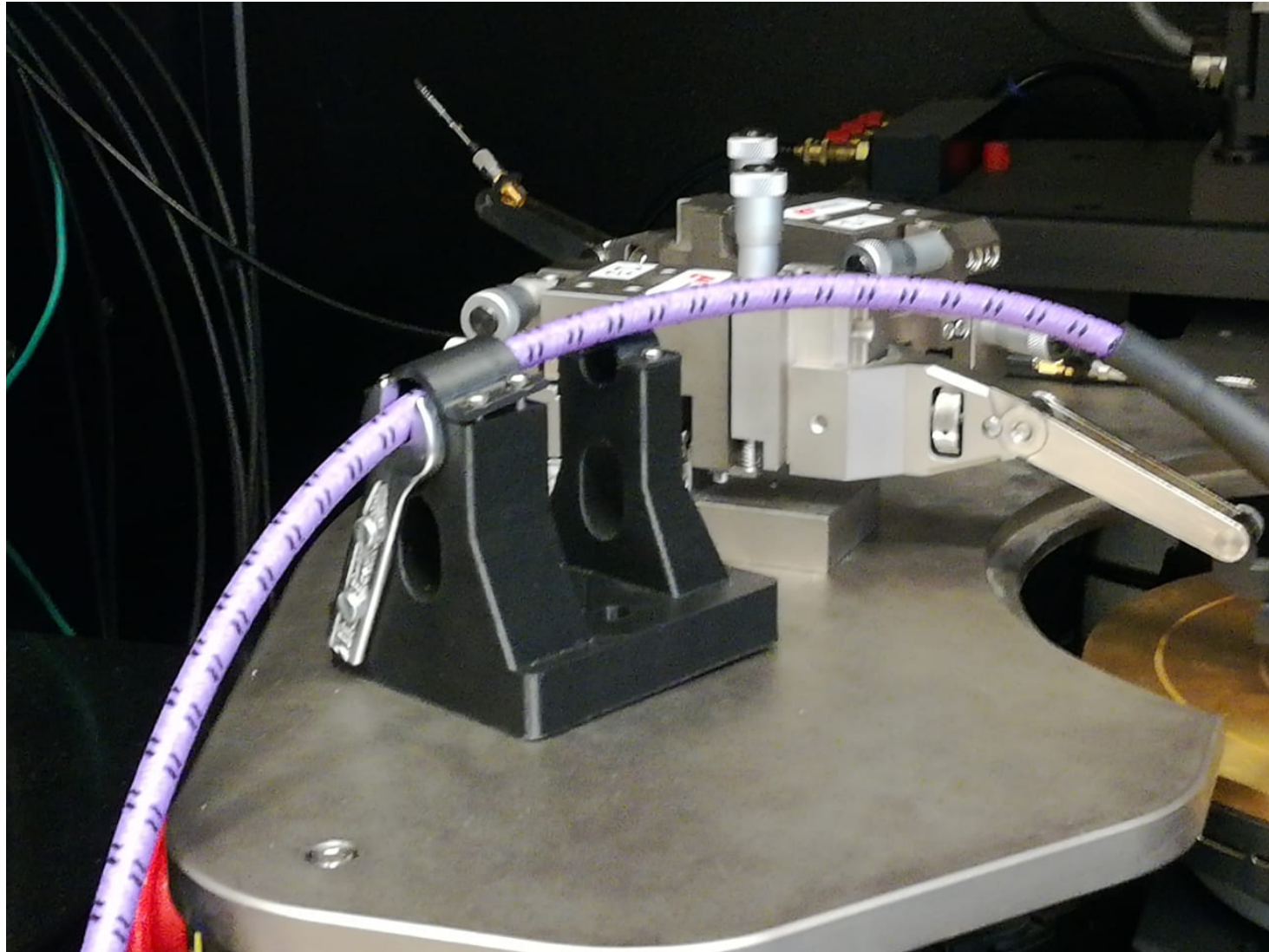
*Functional Diagram*



*Evaluation PCB*



# Mediciones



# Bibliografía

- <https://www.microwaves101.com/encyclopedias/trl-calibration>
- <http://info.asistandards.com/blog/6-things-you-have-to-know-about-calibration-standards>
- <https://www.microwaves101.com/encyclopedias/trl-calibration>
- <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>
- [https://www.rohde-schwarz.com/us/home\\_48230.html](https://www.rohde-schwarz.com/us/home_48230.html)
- <https://www.agilent.com/>
- <https://www.analog.com/en/index.html>



# Dudas?

