

Metrología en RF y Microondas

Ing. Alejandro Henze

ahenze@inti.gov.ar

INTI - ELECTRÓNICA e INFORMÁTICA - UTRF



INTI

Instituto
Nacional
de Tecnología
Industrial

50
ANIVERSARIO
1957-2007

Metrología en RF y Microondas

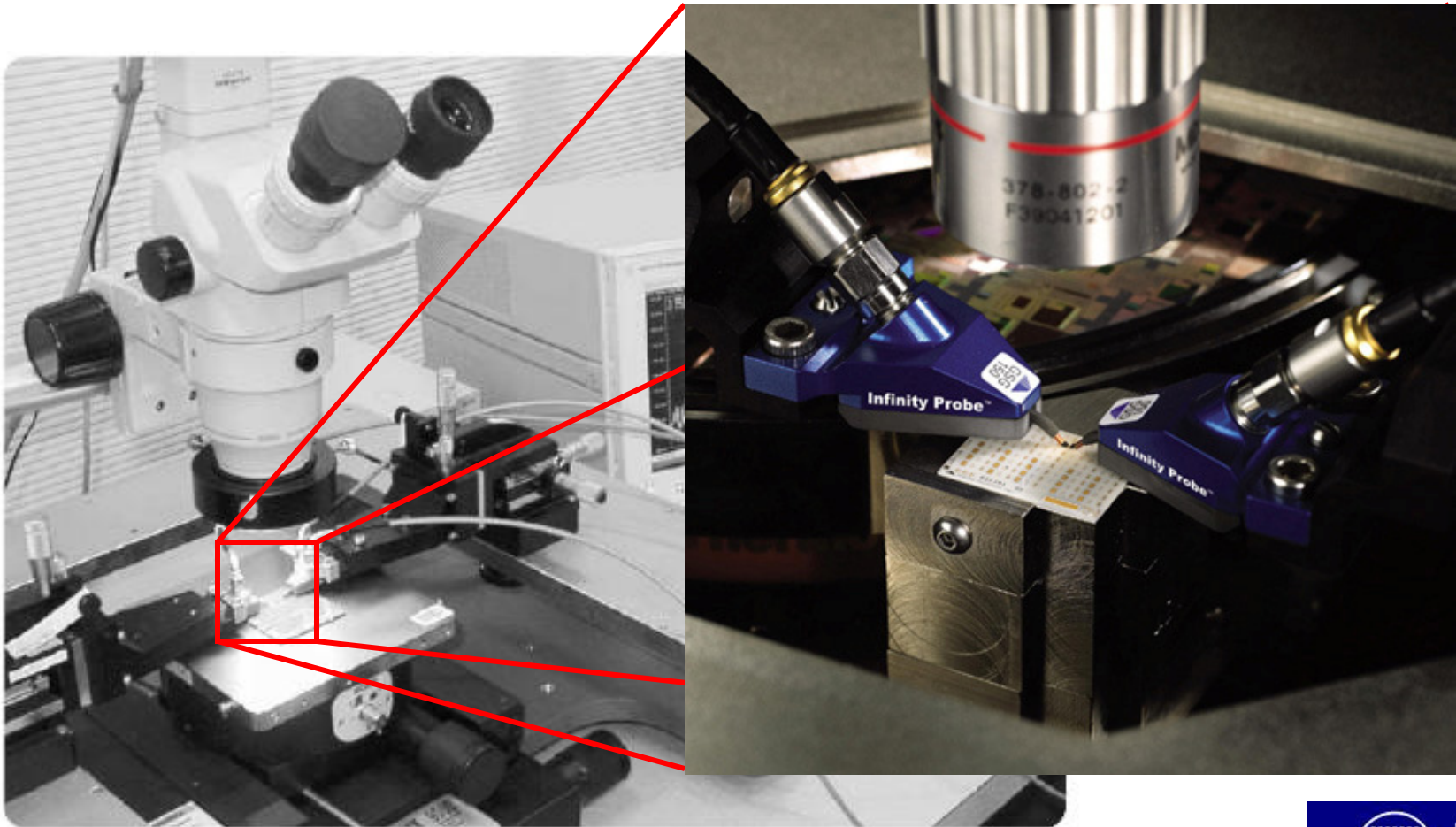
- Evolución histórica.
- Avances en la actualidad.
- Magnitudes y Patronos.
- Trazabilidad.
- ISO 17025 – Calibración vs. ensayo.
- Buenas prácticas en metrología.

- 1920-1940 Válvulas de RF → hasta 10 MHz
Magnetron → 100 a 1.000 MHz
- Década 40 Osciloscopios → hasta 10 MHz
Generadores de RF → hasta 1 GHz
- Década 50 Analizadores de Espectro → hasta 10 GHz
TDR – Lineas Ranuradas
- Década 60 Analizadores de Redes → hasta 20 GHz
Metrología de precisión
- Década 70 Estado sólido → hasta 30 GHz
Memorias y procesamiento
- Década 80 Instrumentos digitales → hasta 60 GHz
- Década 90 Integración de equipos → hasta 110 GHz
Manejo por computadora

- En la actualidad ...
- Mediciones en sistemas coaxiales hasta 110 GHz
- Mediciones en guías de onda hasta 325 GHz



- En la actualidad ...
- Mediciones en sistemas coaxiales hasta 110 GHz
- Mediciones en guías de onda hasta 325 GHz



Magnitudes

Patrones

Tensión (hasta 2 GHz)



- Potencia
 - Impedancia
- Potencia en DC
 - Microcalorímetros
 - Impedancia
- Analizadores de Redes Vectorial + Kits de Calibración
 - Líneas de aire (Longitud)
- Divisores Inductivos en BF
 - Impedancia
- Generadores de ruido
 - Temperatura
 - Impedancia

Potencia



Impedancia



Atenuación



Ruido



Trazabilidad

- ISO 17025 – Calibración vs. ensayo

Concepto histórico:



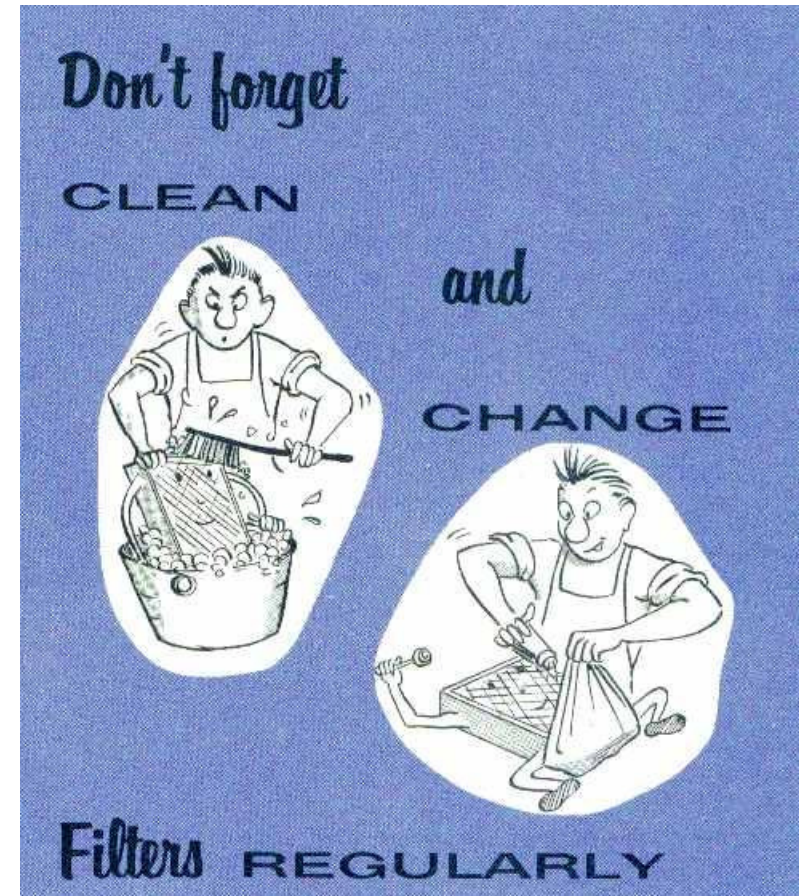
Ejemplo:

Osciloscopio Tektronix de 1947

(10 MHz)



Sugerencia para limpiar el filtro
de aire



Hasta la aparición de las norma ISO 25:

Calibración = Performance Test



Manual de
Service



1 medición por valor

El equipamiento lo recomendaba el fabricante

Cumple
Performance Test ?



Satisface las
especificaciones



No satisface las
especificaciones



Ajuste

En la actualidad usando la norma ISO 17025:

Calibración = Medición + Incertidumbres



Procedimiento
específico

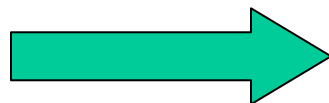


- n mediciones por valor
- Equipamiento calibrado con **trazabilidad**



Cálculo de incertidumbres

Análisis de
resultados

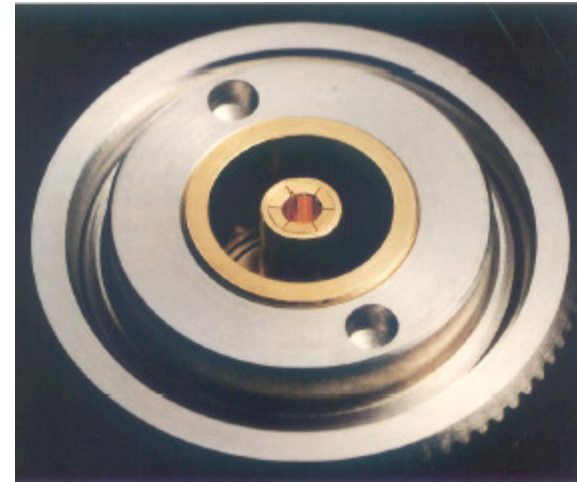


A cargo del
usuario

- Buenas prácticas con conectores coaxiales

Un conector coaxial tiene:

- Especificaciones eléctricas y **mecánicas**.
- Vida útil.



- Un conector no dura para siempre....
(excepto este)



• Vida útil de un conector

Depende de:

- Cantidad de conexiones / desconexiones.
- Cuidados mecánicos en el uso.

Si un conector cumplió su vida útil:

• Degradación eléctrica

- Aumenta ROE (mayor desadaptación)
- Pérdida de potencia

• Degradación mecánica

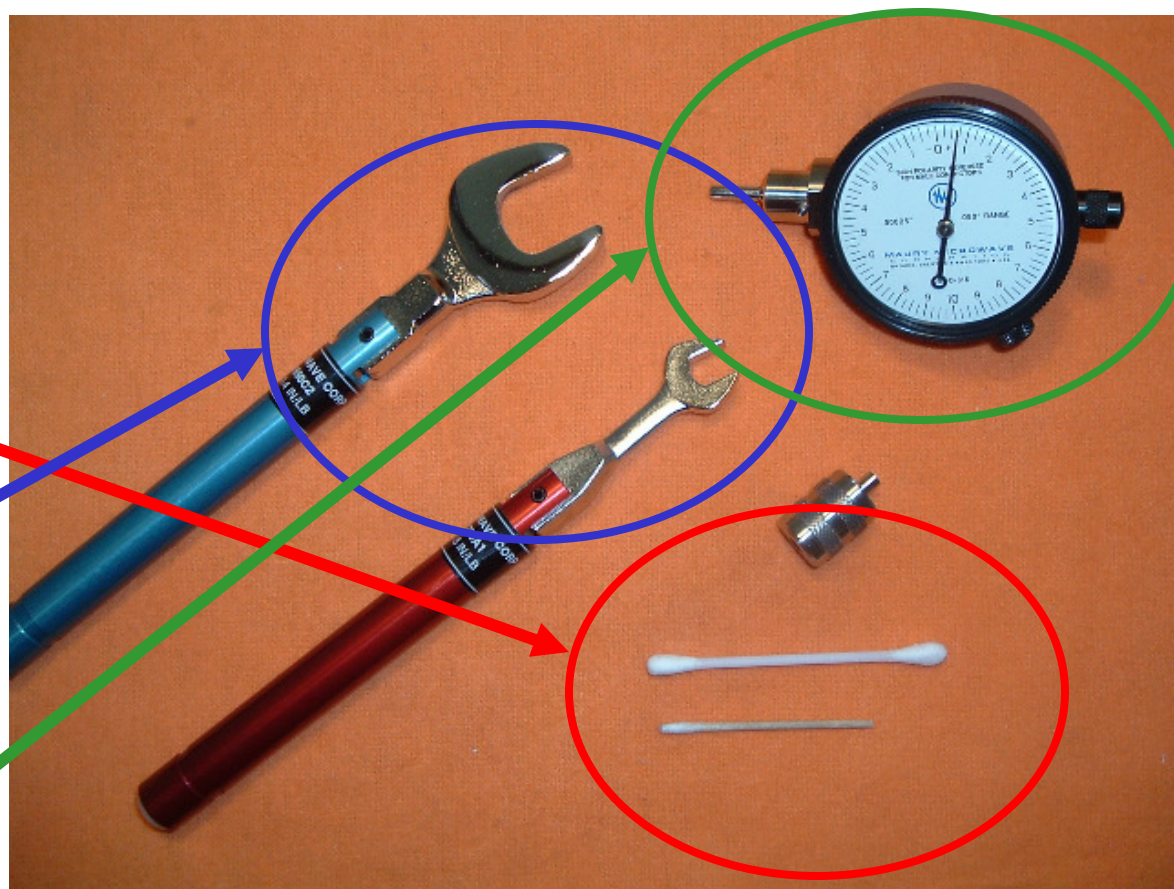
- Encarecimiento de la repetibilidad
- Deformación del pin central
- Deterioro general

- Si no se cuidan los conectores, estos terminan asi...

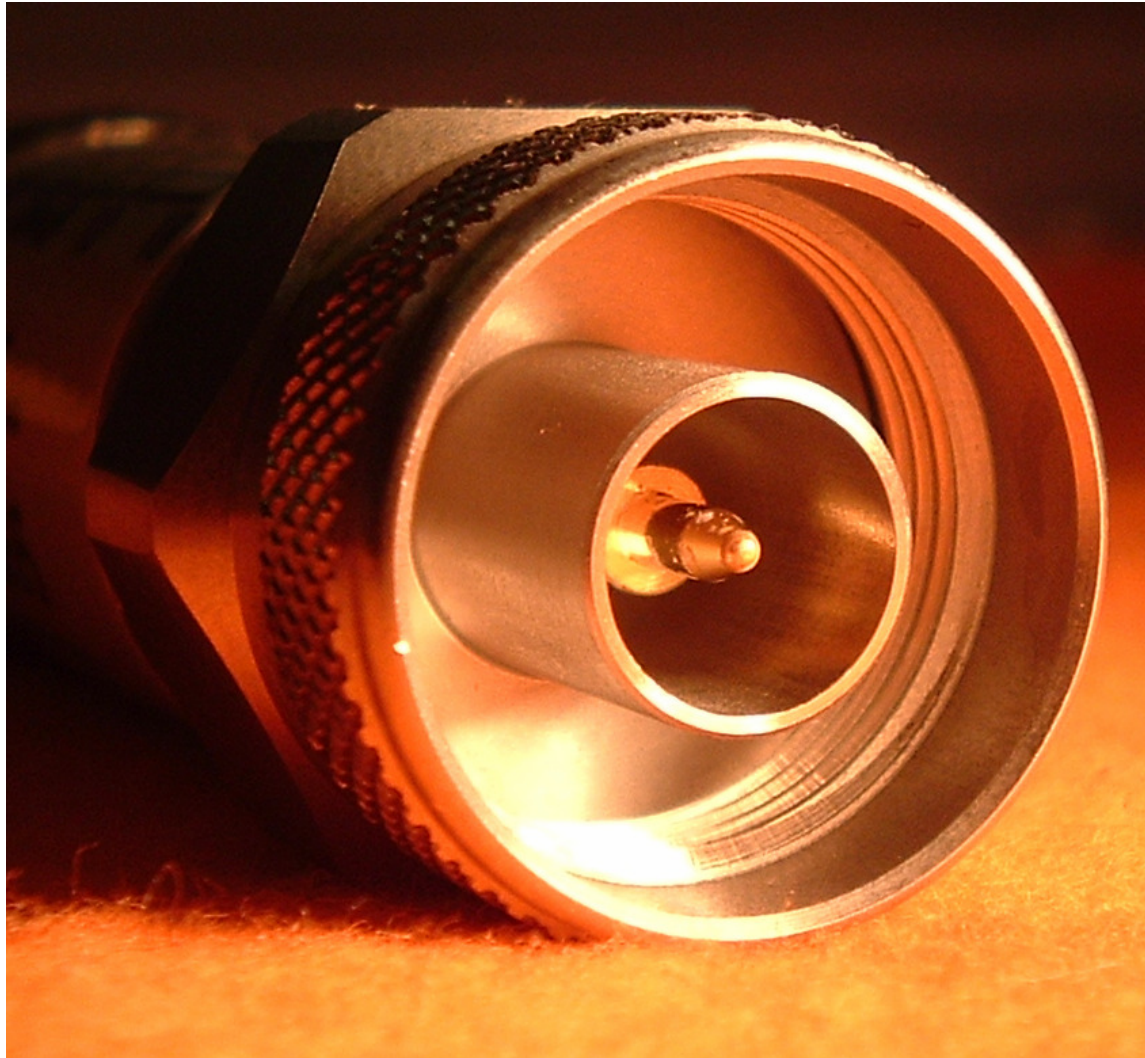


Cuidados mecánicos de un conector

- Inspección visual.
- Limpieza
- Ajuste con llave torquimétrica.
- Medición mecánica.

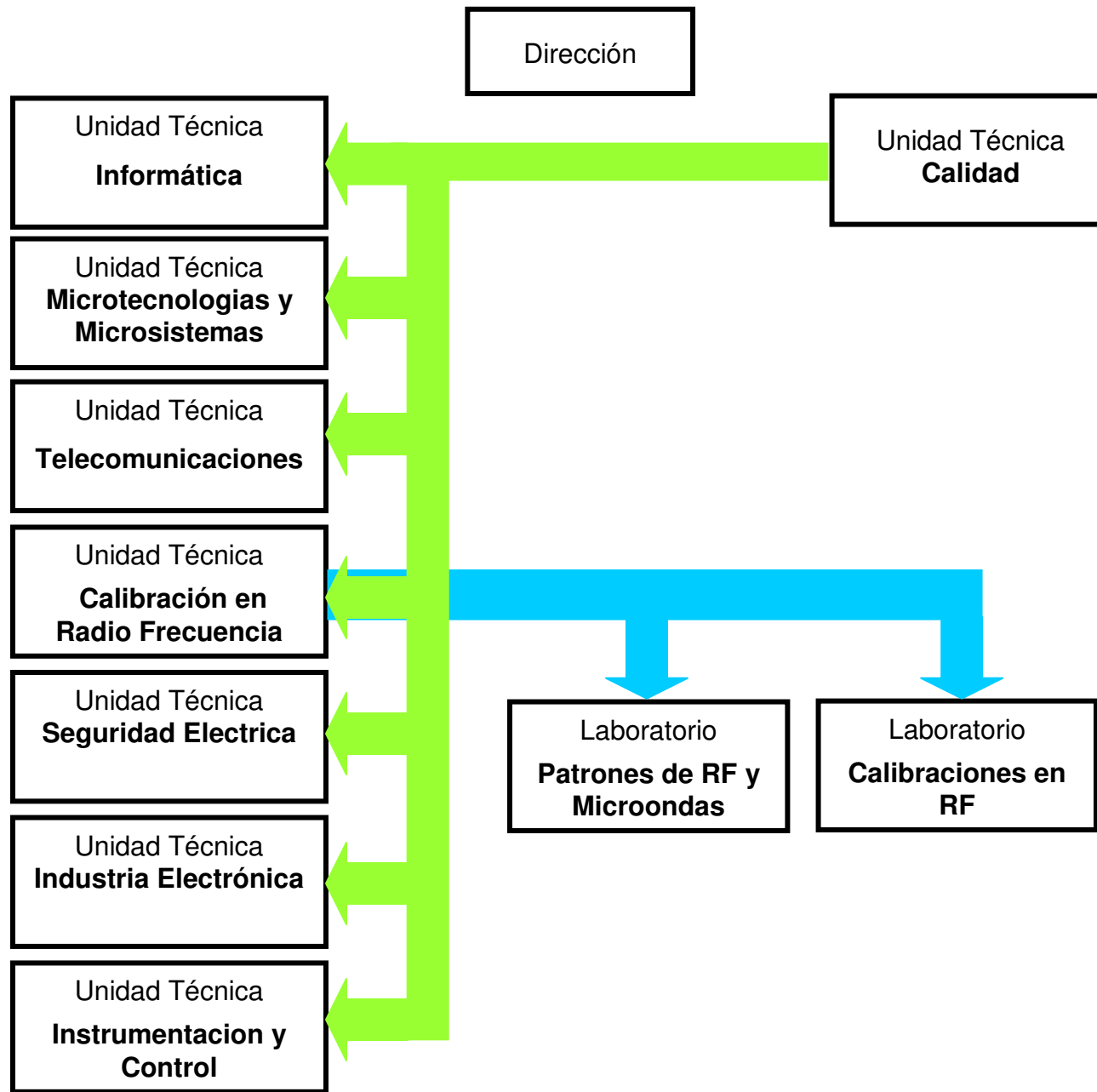


Si el conector es cuidado adecuadamente,
lucirá así...



INTI – Electrónica e Informática - UTRF

- Organigrama dentro del Centro (ex CITEI).
- Actividades.
- Alcances y servicios.



Laboratorio
**Patrones de RF y
Microondas**

Actividades:

- **Mantenimiento** de los Patrones de RF y Microondas.
- **I+D / Proyectos** de nuevas técnicas en metrología de precisión en RF.
- **Trazabilidad** al Lab. de Calibraciones en RF.
- Servicios de Calibración a clientes (metrología de **PRECISIÓN**).

Laboratorio
**Calibraciones en
RF**

Actividades:

- **I+D / Proyectos** de nuevas técnicas en metrología general en RF.
- Servicios de Calibración a clientes (metrología **GENERAL**).

Laboratorio de Calibración

- **Alcances actuales:**

- Potencia CW entre 50 MHz a 4 GHz
- Modulación AM, FM, ϕ M
- Frecuencia hasta 40 GHz
- Tensión en RF entre 1 MHz y 1 GHz.

- **Servicios de Calibración:**

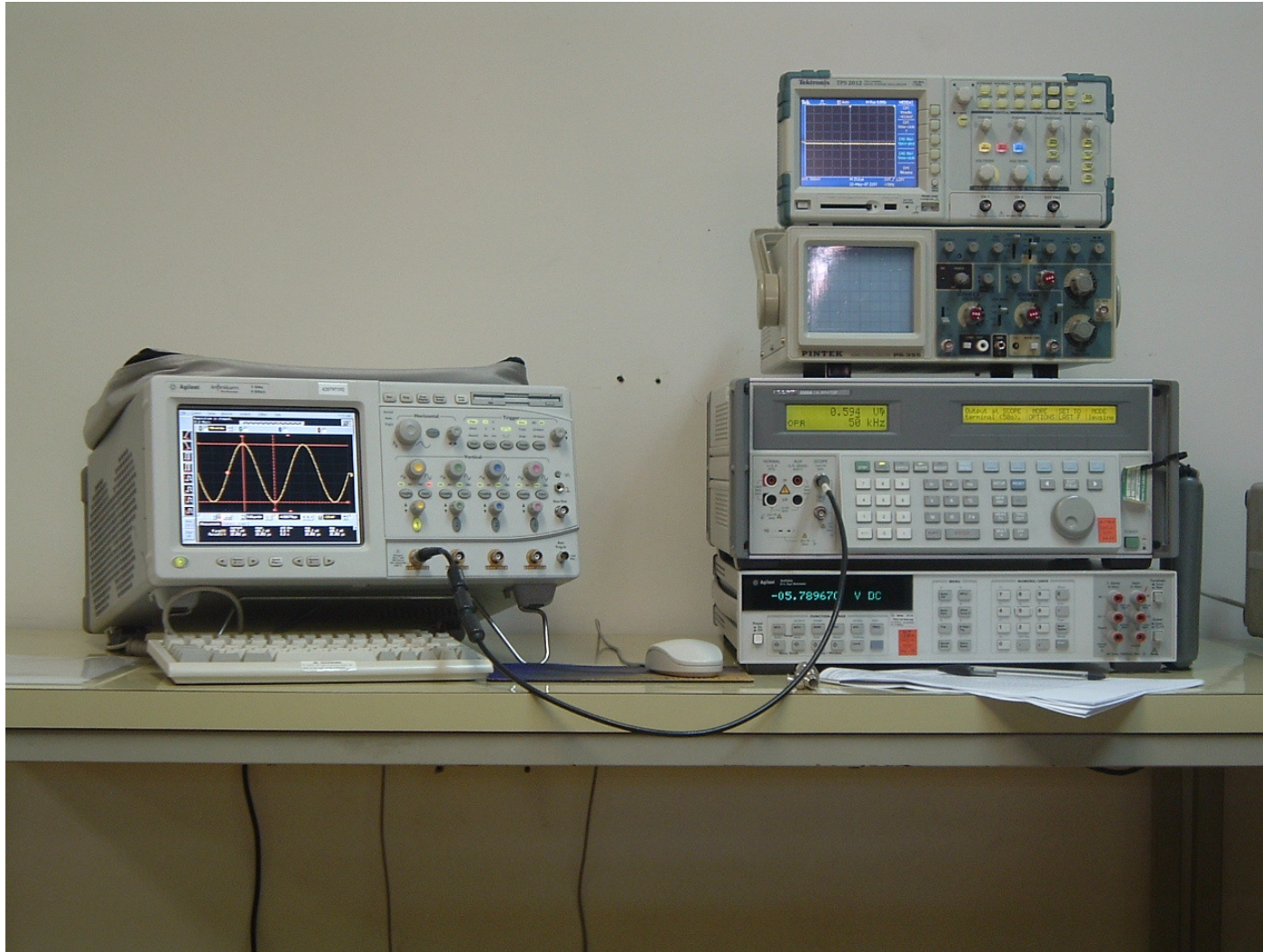
- | | | |
|--------------------------------------|-----------|--------------|
| • Generadores de RF | CW | hasta 4 GHz |
| | modulados | hasta 1 GHz |
| • Contadores / Frecuencímetros | | hasta 40 GHz |
| • Analizadores de EMI / Espectro | | hasta 4 GHz |
| • Voltímetros de RF hasta 1 GHz | | |
| • Osciloscopios con BW hasta 600 MHz | | |
| • Wattímetros de RF hasta 50 W | | |

Laboratorio de Calibración

- **Ensayos (performance Test) de:**
- Banco de prueba de aviónica. Incluye:
 - VOR / ILS
 - Transponder / DME

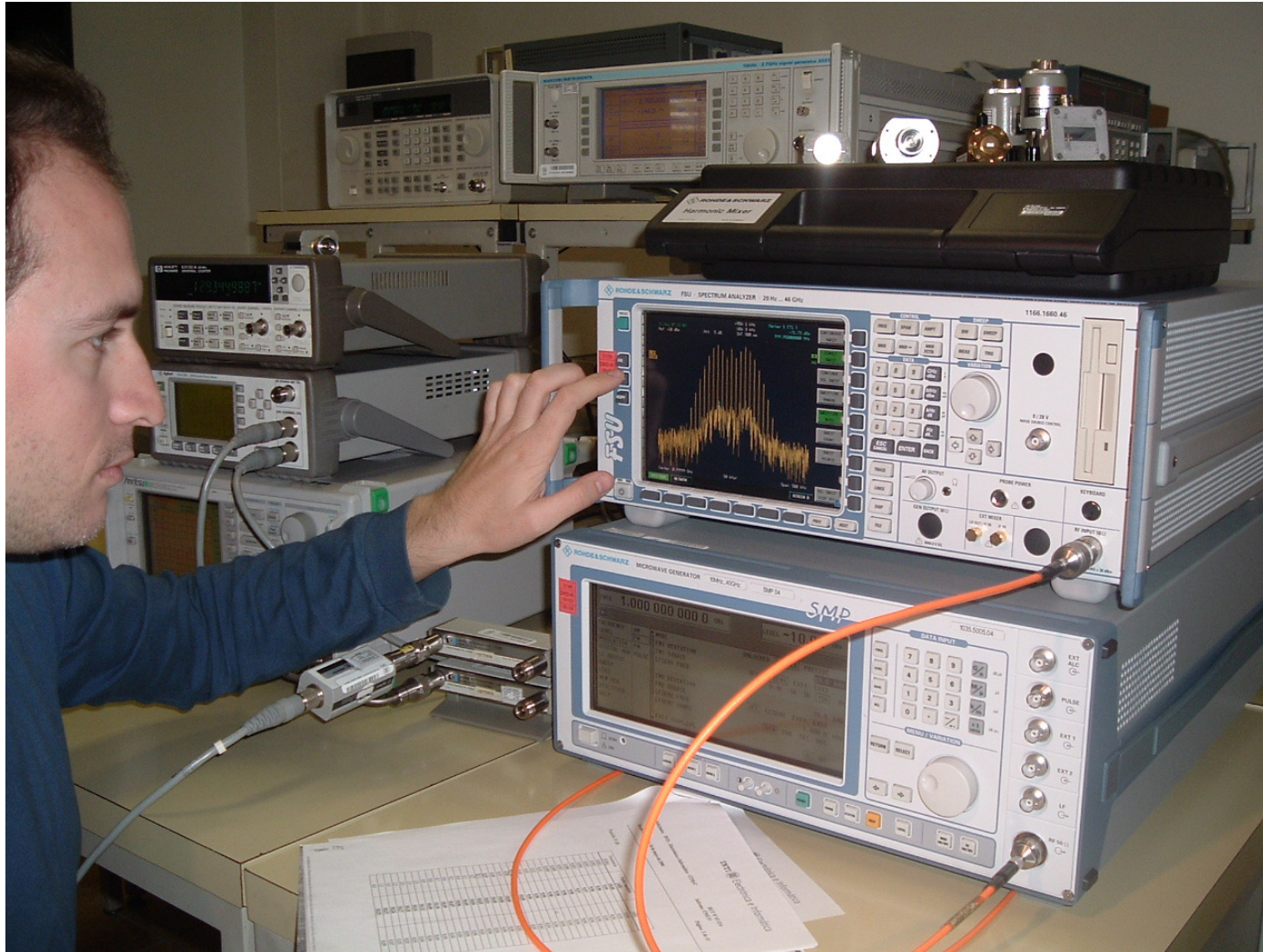
Laboratorio de Calibración

- Banco de calibración de Osciloscopios:



Laboratorio de Calibración

- Banco de calibración en RF:



Laboratorio de Calibración

- **Alcances actuales:**

- Potencia CW entre 50 MHz a 4 GHz
- Modulación AM, FM, ϕ M
- Frecuencia hasta 40 GHz
- Tensión en RF entre 1 MHz y 1 GHz.

- **Alcances futuros 2007-2010:**

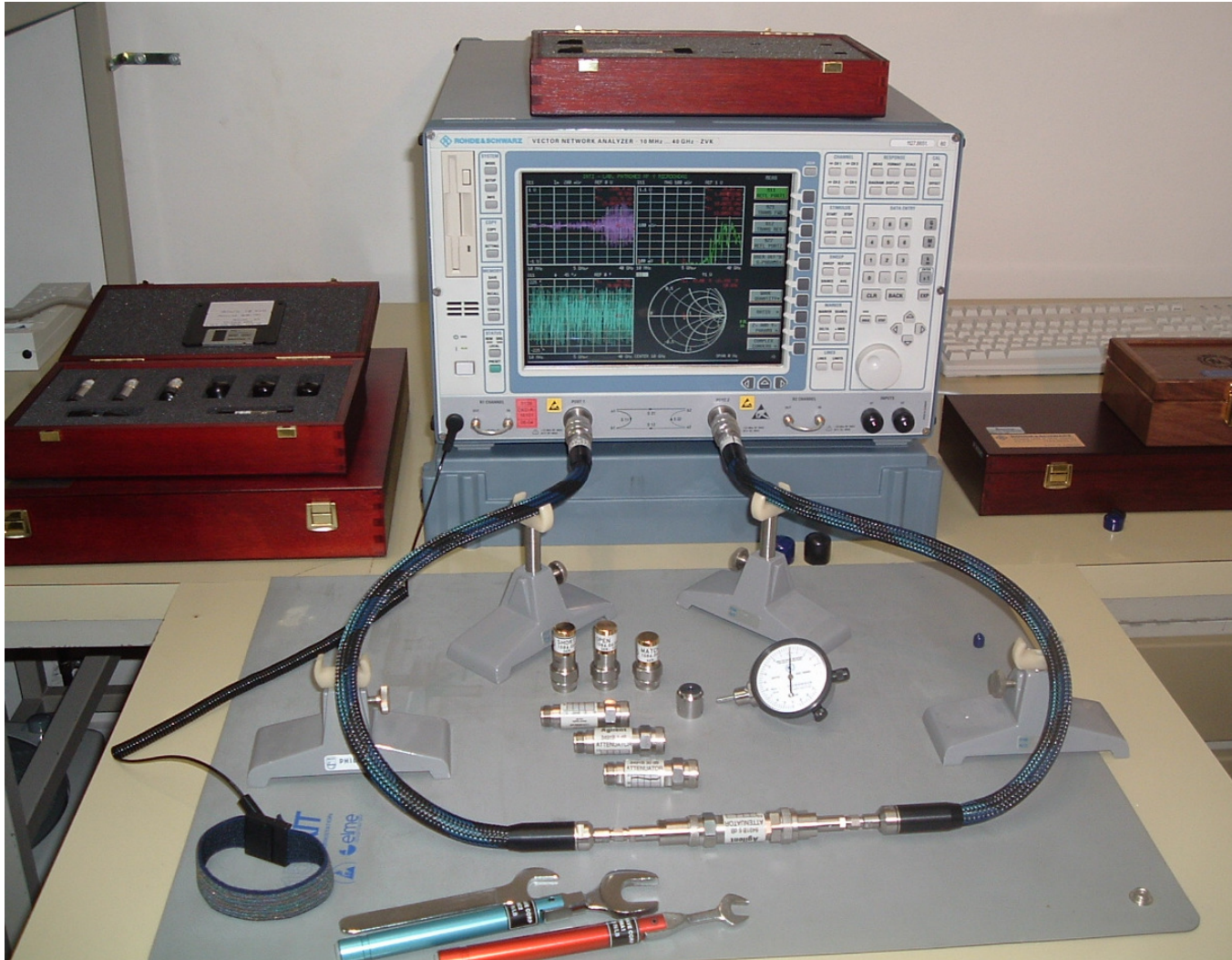
- Incremento del rango de frecuencias hasta 18 GHz en calibración de generadores de RF / Analizadores de Espectro.
- Incorporación de bancos de pruebas de RADAR meteorológicos.

Laboratorio de Patrones de RF y Microondas

- **Alcances actuales (sistemas coaxiales con conector tipo N):**
 - Potencia 1 mW entre 50 MHz a 4 GHz
 - Atenuación 0 a 80 dB / 1 MHz a 4 GHz
 - Impedancia (módulo y fase) / 1 MHz a 4 GHz
- **Servicios de Calibración (sistemas coaxiales con conector tipo N):**
 - Analizadores de Redes Vectoriales (VNA).
 - Kit de Calibración para VNA.
 - Sensores de potencia.
 - Atenuadores fijos y por pasos.
 - Cargas 50 Ω .
 - Filtros, etc.

Laboratorio de Patrones de RF

- Banco de calibración de impedancia / atenuación:



Laboratorio de Patrones de RF y Microondas

- **Alcances actuales (sistemas coaxiales con conector tipo N):**
 - Potencia 1 mW entre 50 MHz a 4 GHz
 - Atenuación 0 a 80 dB / 1 MHz a 4 GHz
 - Impedancia (módulo y fase) / 1 MHz a 4 GHz
- **Alcances futuros 2007-2010:**
 - Conector tipo N: Extensión a 18 GHz
 - Conector APC 3.5 / SMA: Calibración hasta 26,5 GHz

Proyectos actuales en INTI - UTRF

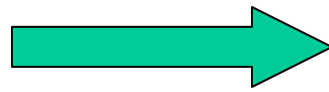
- Desarrollo de acoplador bidireccional con tecnología LTCC de película gruesa.
- Medición de Rise Time en pulsos mediante análisis espectral.

Desarrollo de acoplador bidireccional con tecnología LTCC de película gruesa

Características:

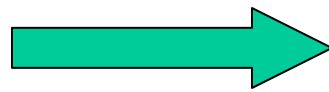
- Acoplamientos de 3, 6 y 10 dB @ 1 GHz
- Tecnología LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic)
- Integramente desarrollado en INTI – Electrónica e Informática

Unidad Técnica
**Microtecnologías y
Microsistemas**



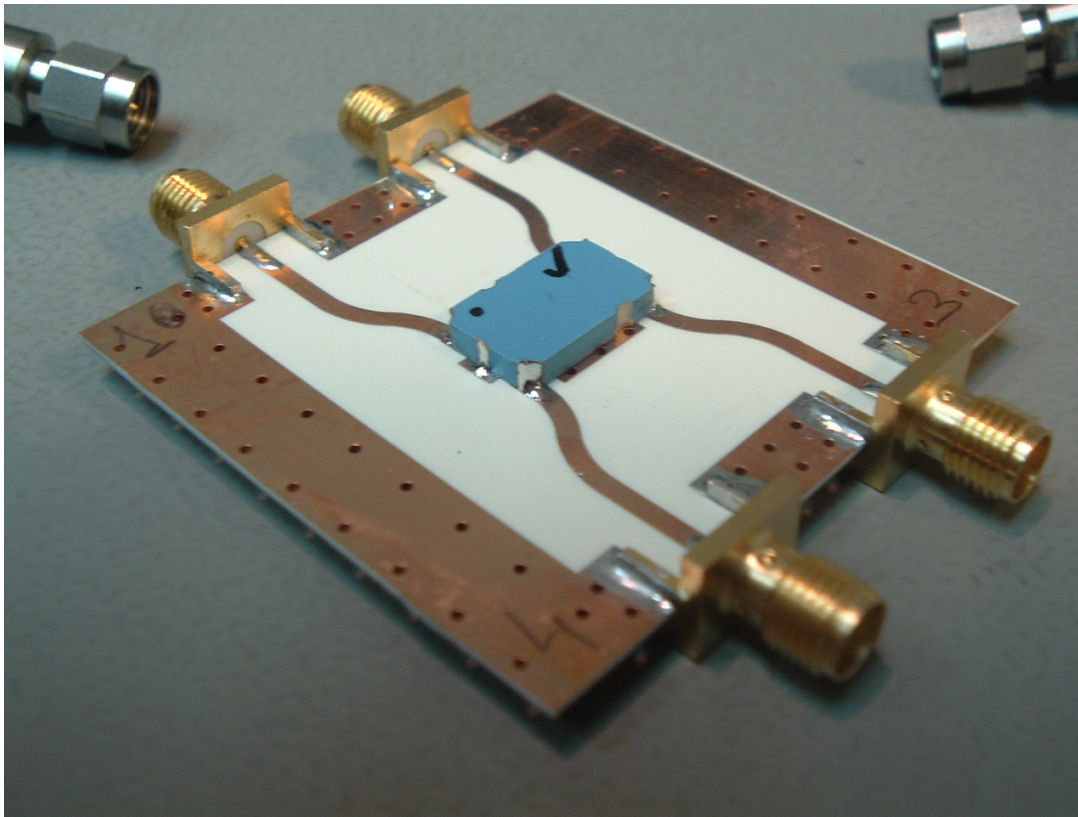
Diseño y fabricación

Unidad Técnica
**Calibración en Radio
Frecuencia**

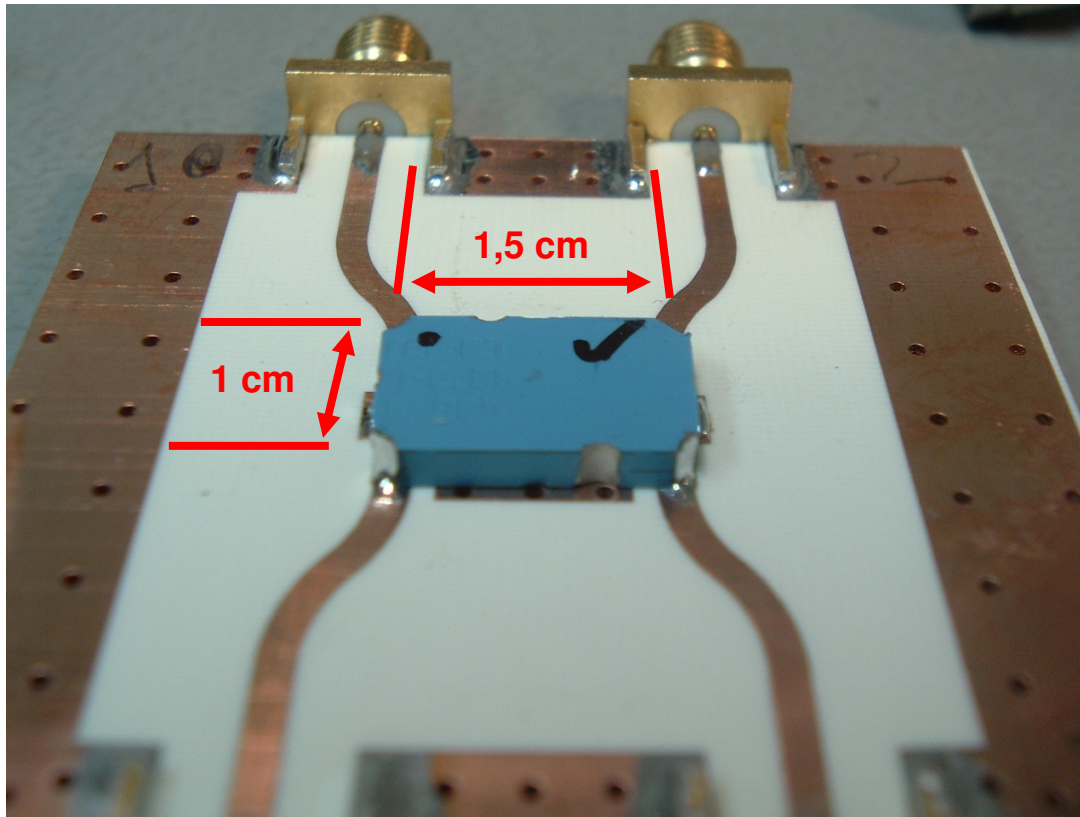


Caracterización
(medición parámetros S)

Vista del acoplador



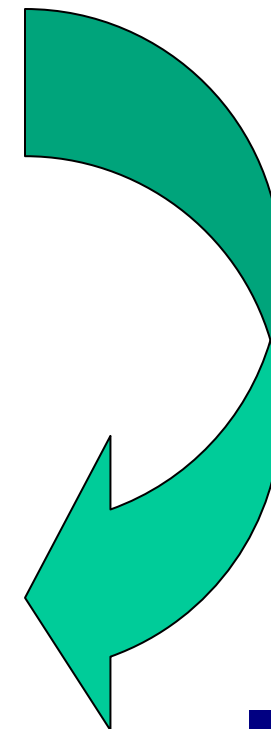
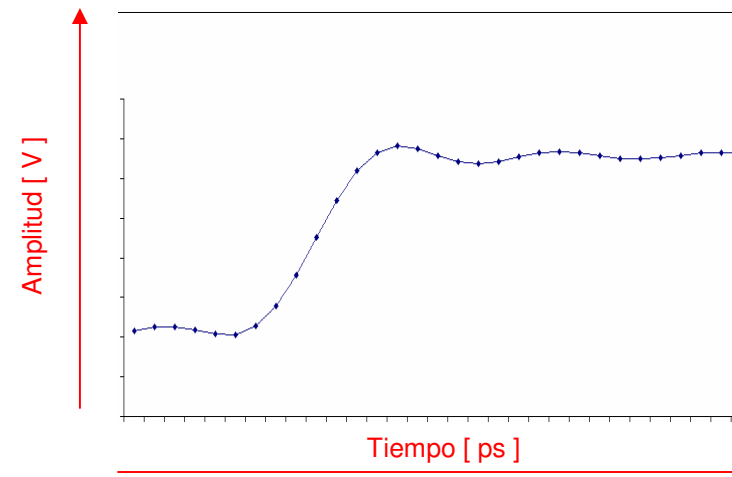
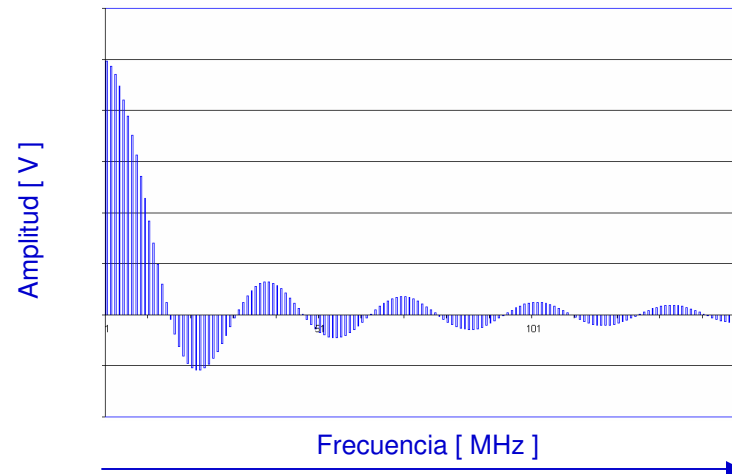
Dimensiones del acoplador



Medición de Rise Time en pulsos mediante análisis espectral



Generador de Pulsos Patrón

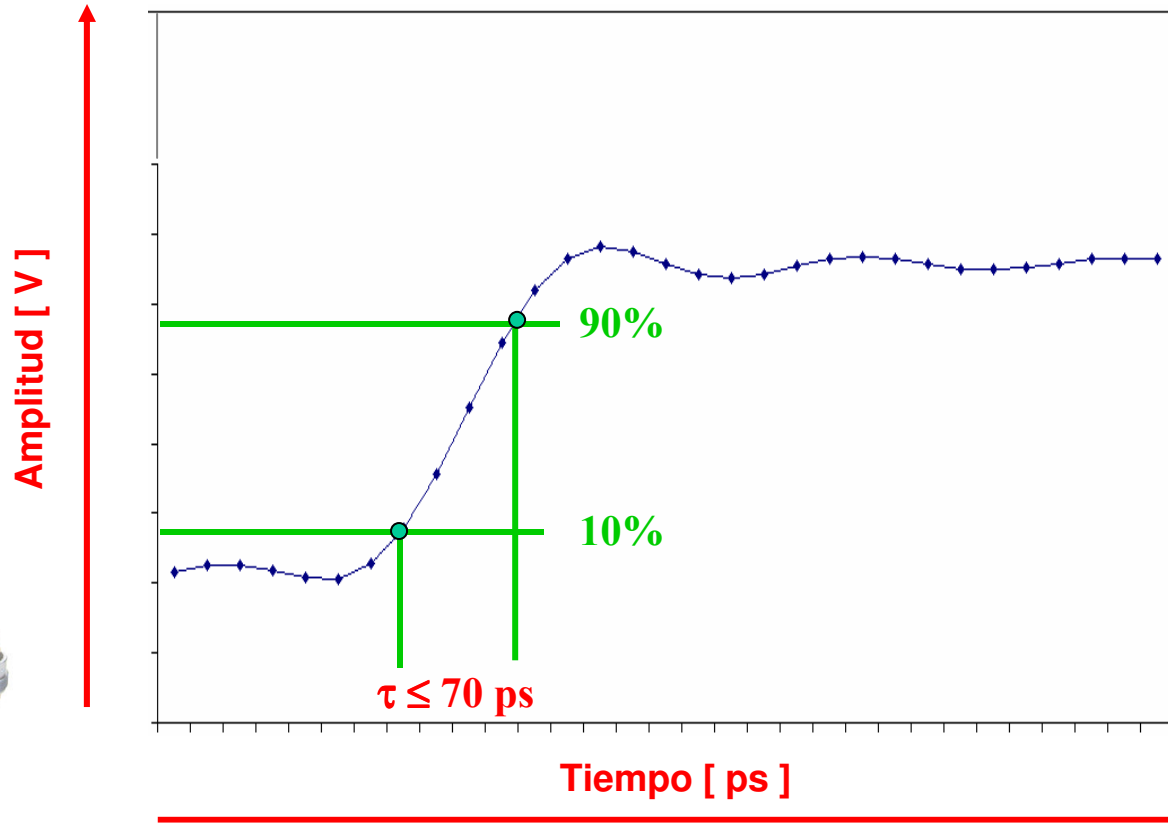


- Objetivo:

Estimación de un Rise Time de **70 ps**



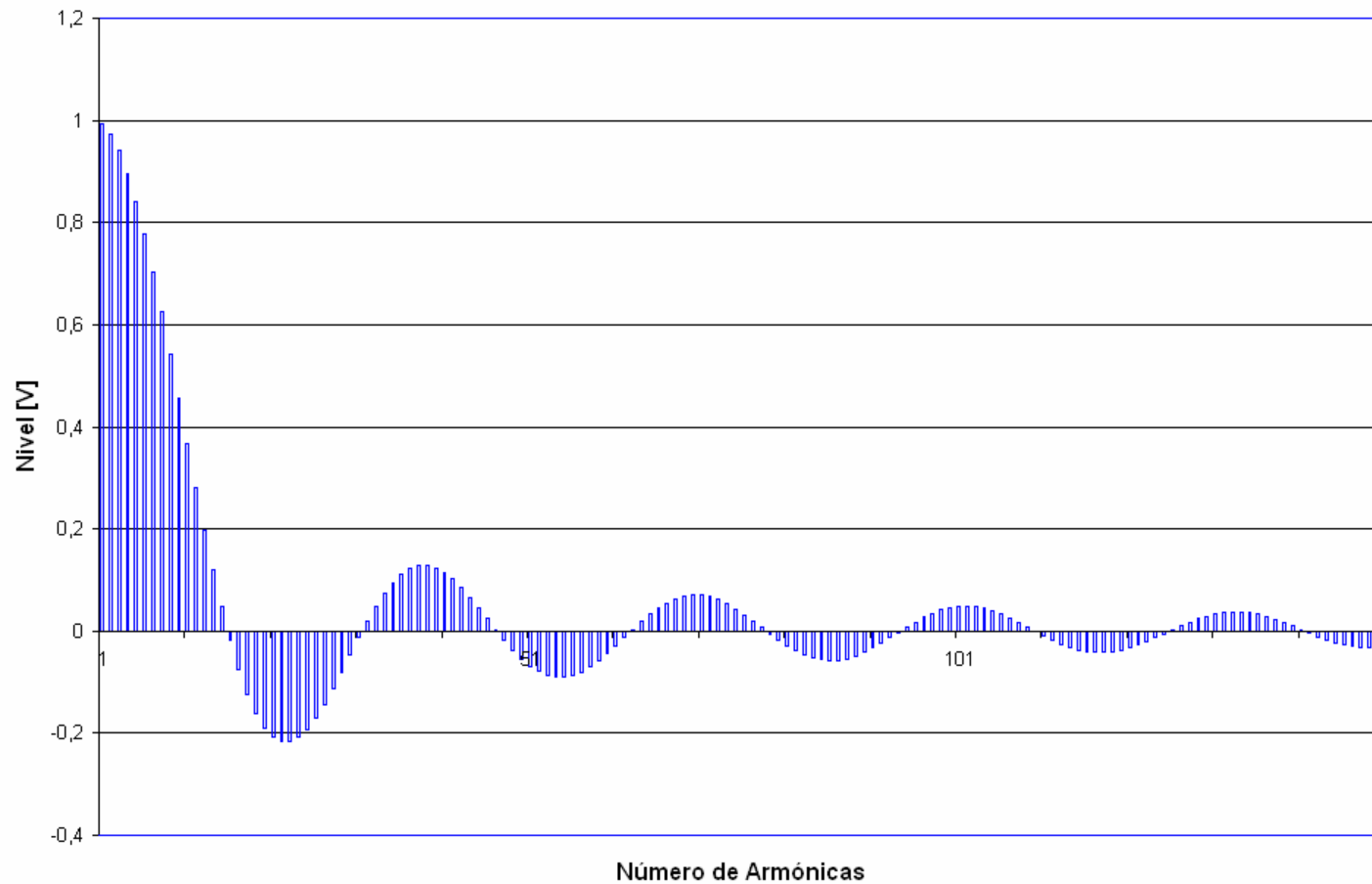
Generador de Pulsos Patrón



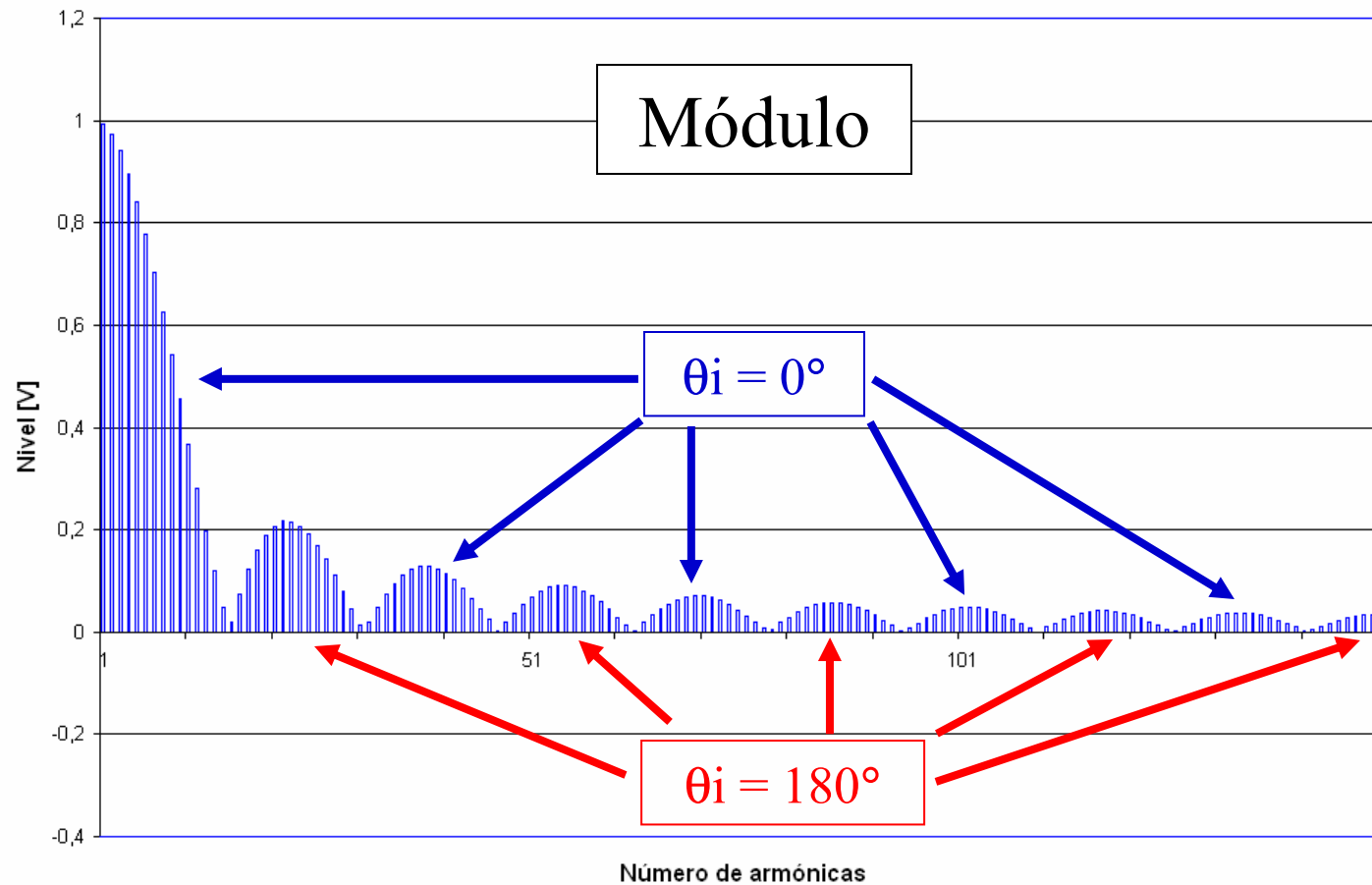
Pasos a seguir:

- Medición (módulo y fase) de las componentes armónicas en el **dominio de las frecuencias**.
- Cálculo por Series de Fourier.
- Reconstrucción de la señal en el **dominio del tiempo** y gráfico del flanco de subida del pulso calculado.

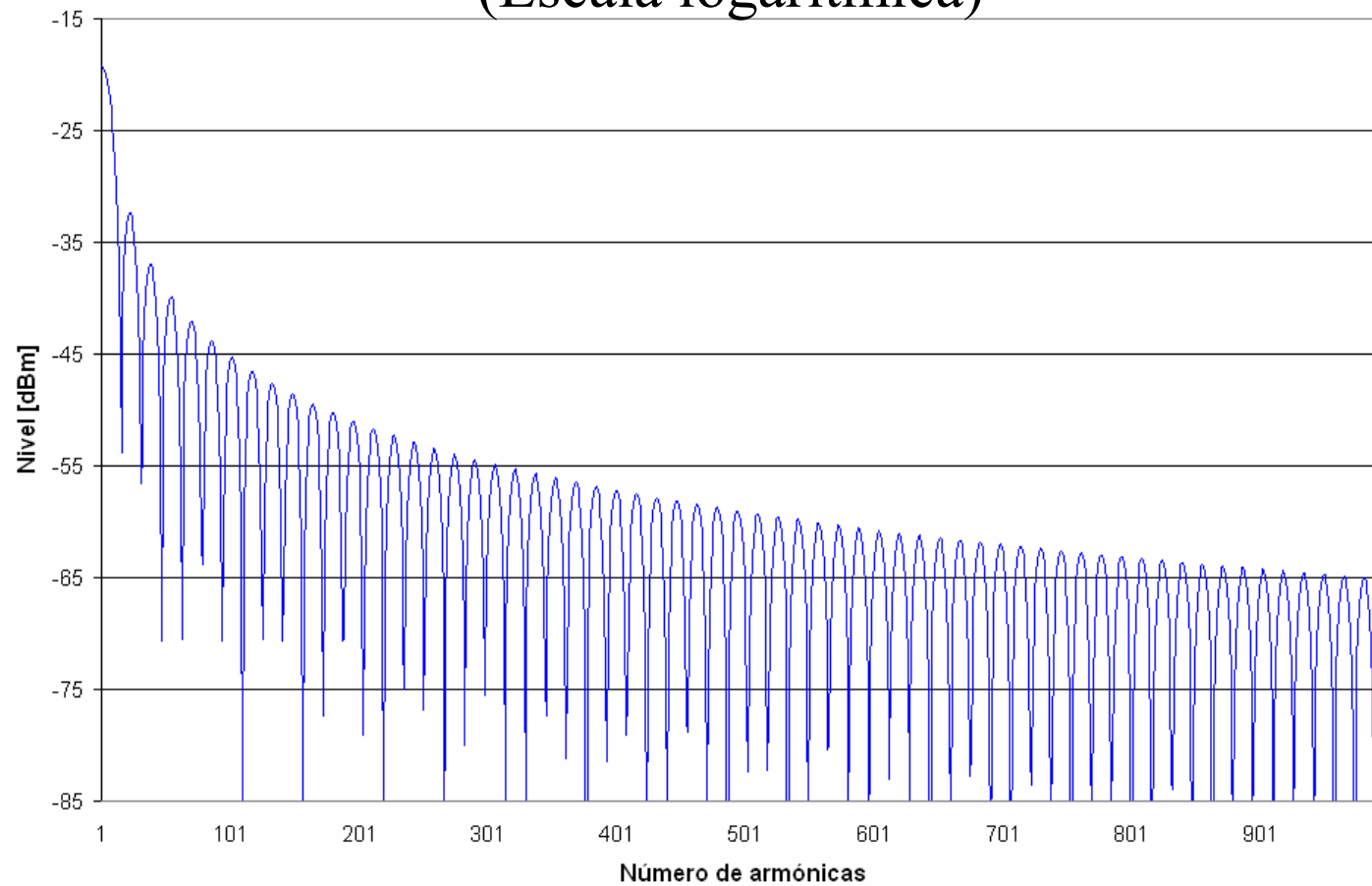
Espectro de frecuencias de un pulso



Espectro de frecuencias de un pulso



Espectro de frecuencias – Módulo (Escala logarítmica)



Espectro de frecuencias de un pulso

Componentes armónicas a medir....

Cuántas armónicas se deben medir ?

$$\text{Frec max} = \beta / \text{Rise Time}$$

$0,2 < \beta < 0,5$

$70 \text{ ps } (70 \cdot 10^{-12} \text{ seg.})$

Espectro de frecuencias de un pulso

Si se considera:

$$\beta = 0,35$$

$$\text{Frec max} = 0,35 / 70 \text{ ps} = \mathbf{5 \text{ GHz}}$$

Pero...

Frecuencia pulso = **100 kHz**

Entonces ... cuántas armónicas se deben medir ?

Cant. armónicas = 5 GHz / 100 kHz

Cant. armónicas = **50.000 !!**

Si se midiera 1 armónica por minuto en jornadas de 8 horas diarias
se tardarían ... **5 meses**

Solución:

- Se emplea una técnica de:

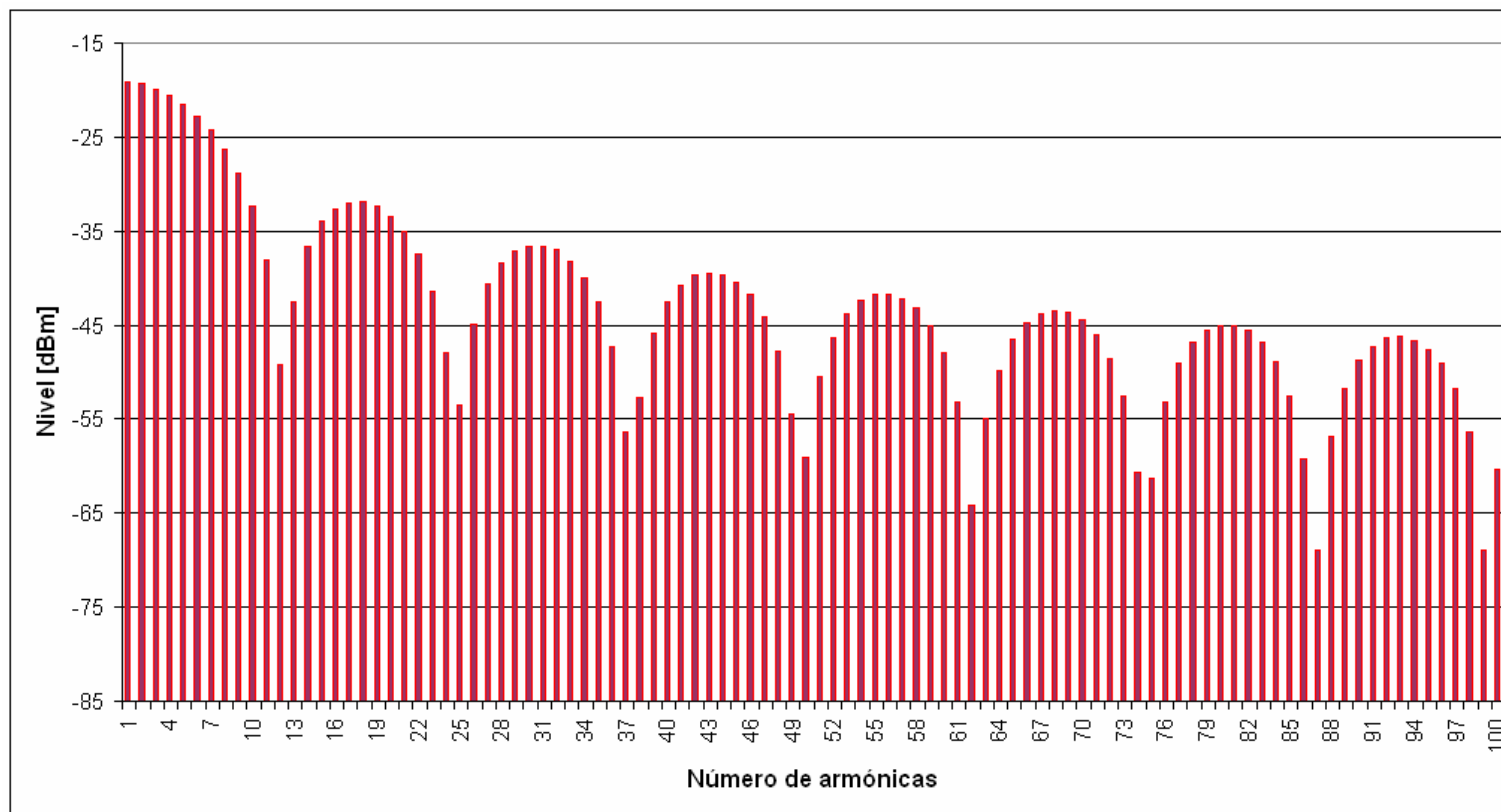
- Medición de armónicas
- Muestreo de armónicas
- Estimación de armónicas

Entre la 1 a la 100

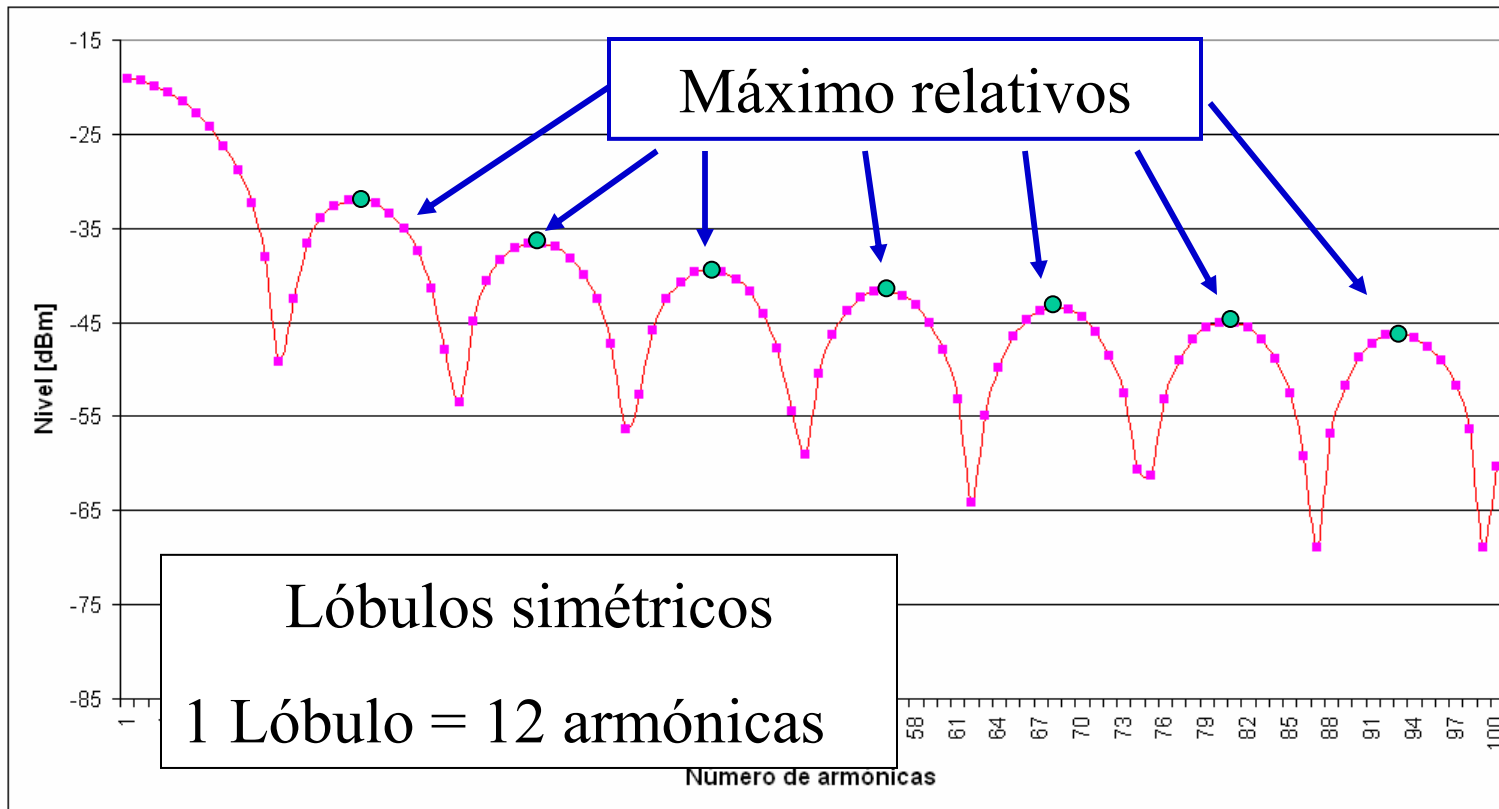
Hasta la 5.000

Entre la 1.000 y la 50.000

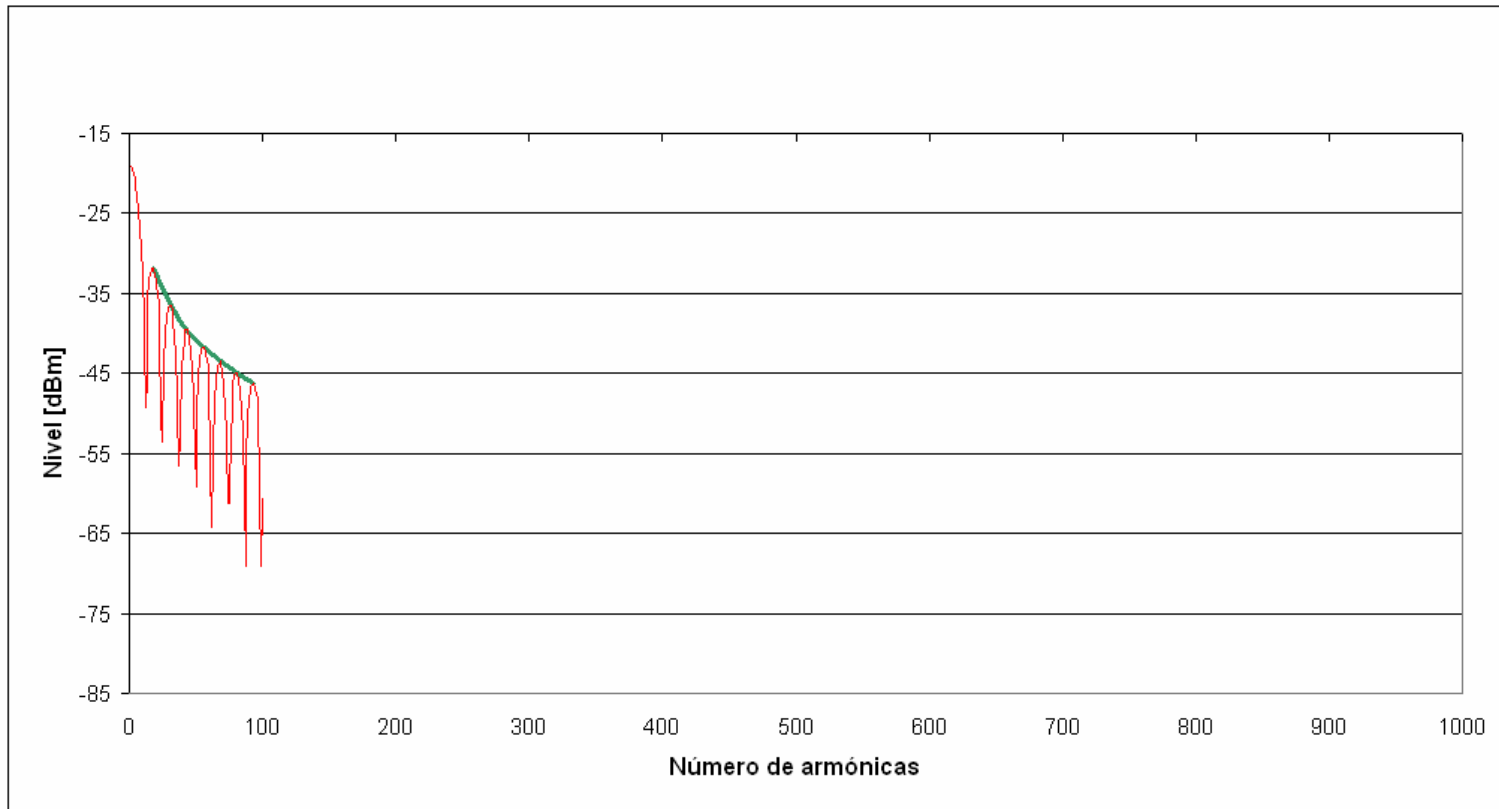
Medición armónicas 1 a la 100



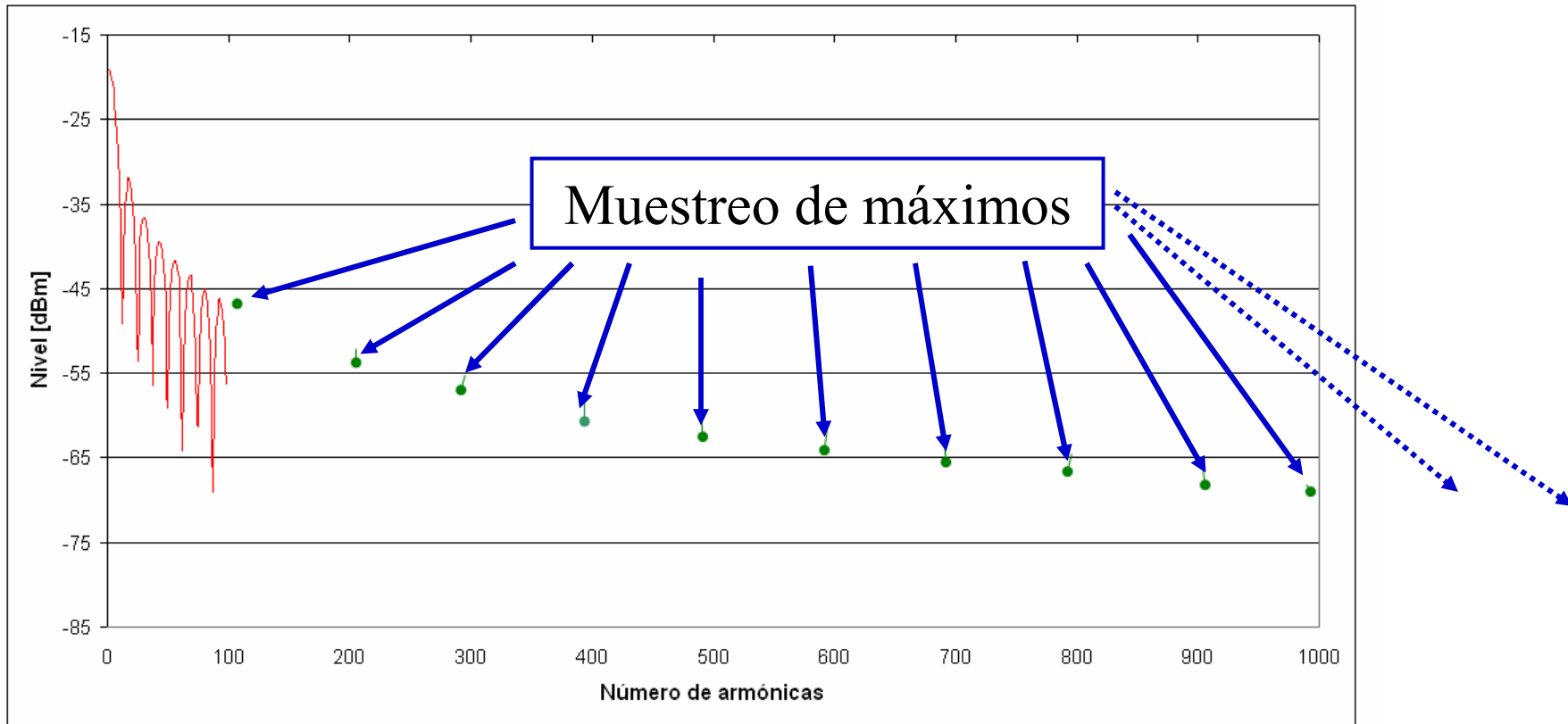
Medición - Armónicas 1 a la 100



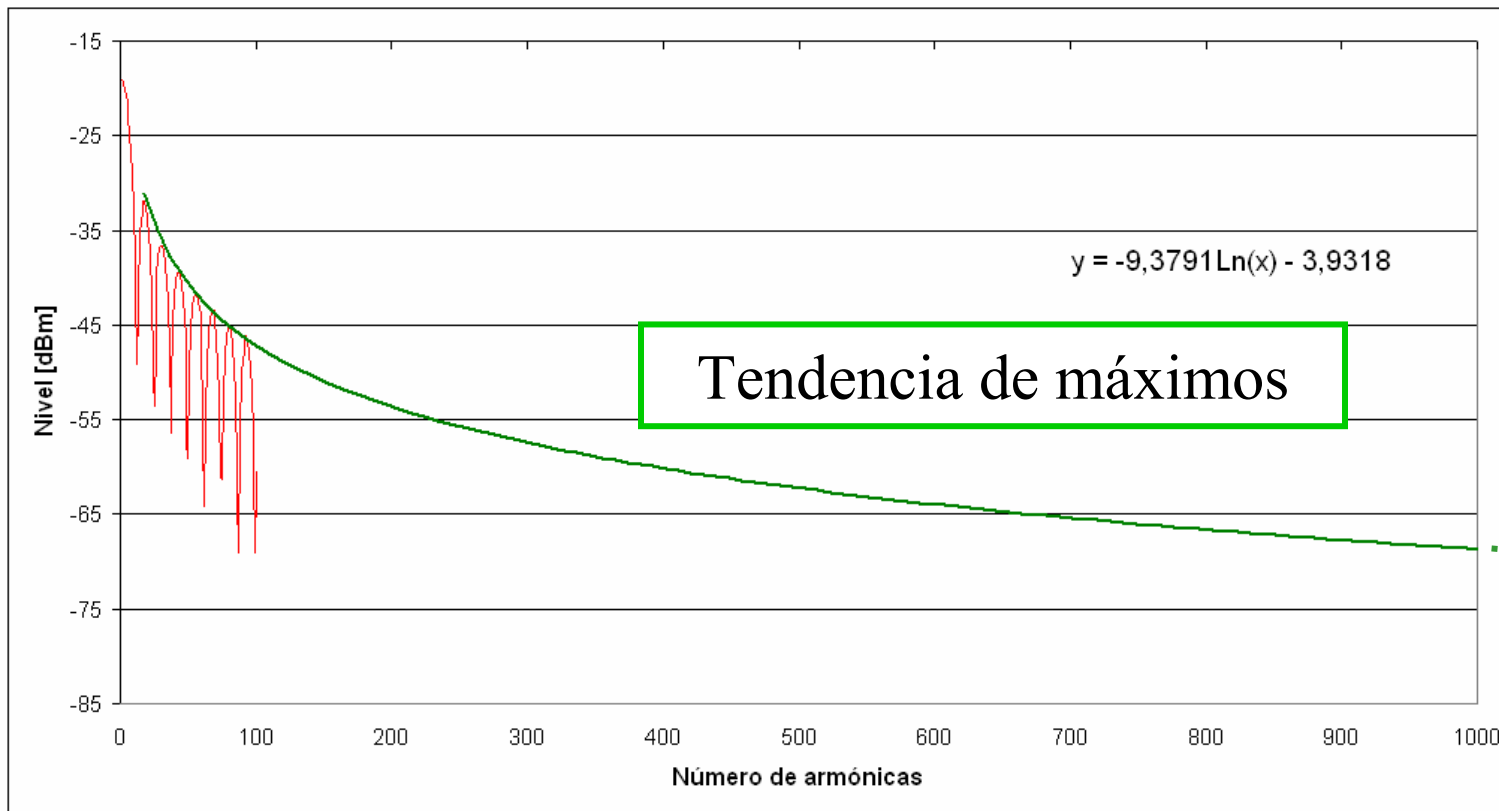
Medición - Armónicas 1 a la 1.000



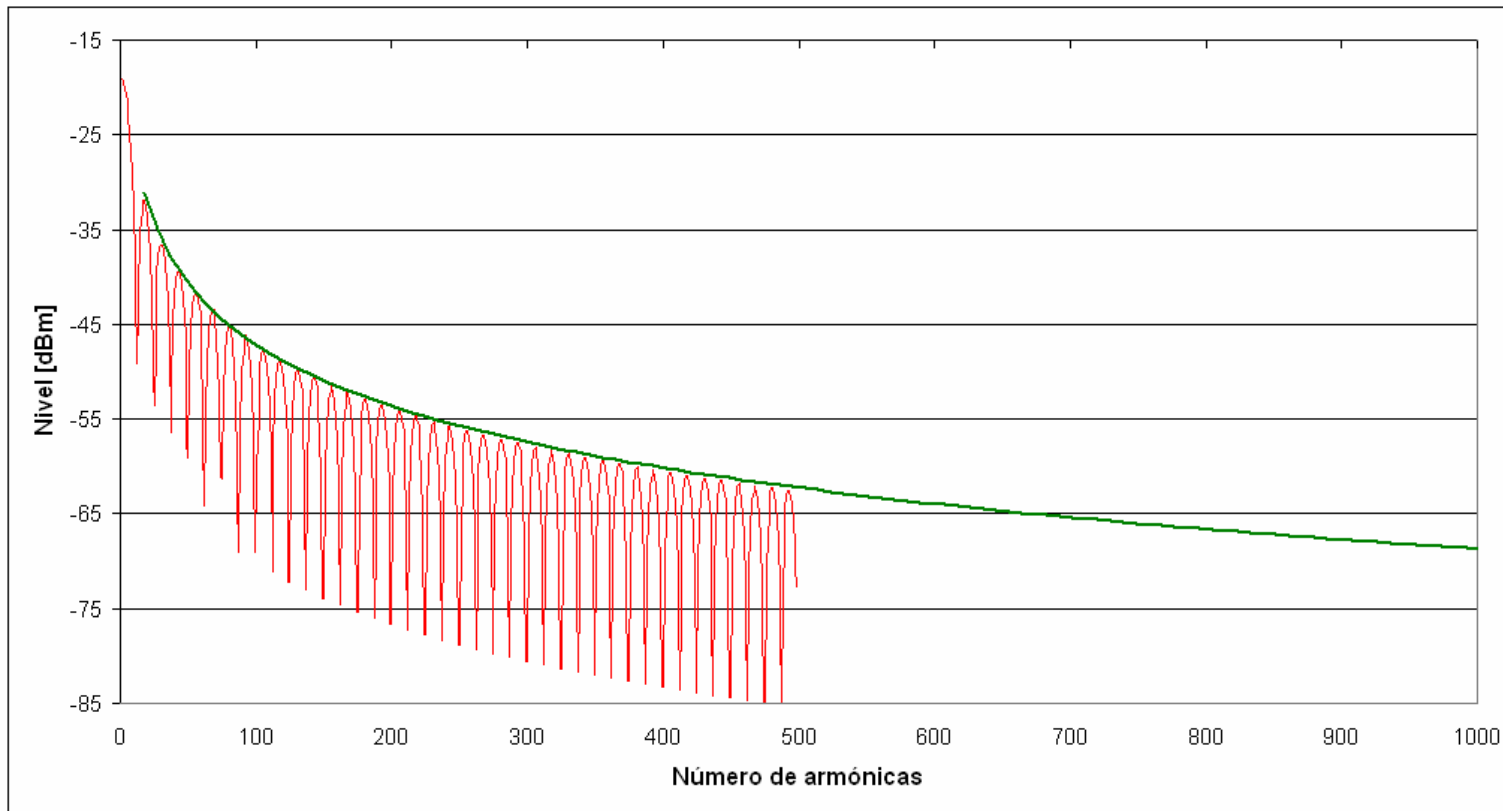
Muestreo - Armónicas 100 a la 5.000



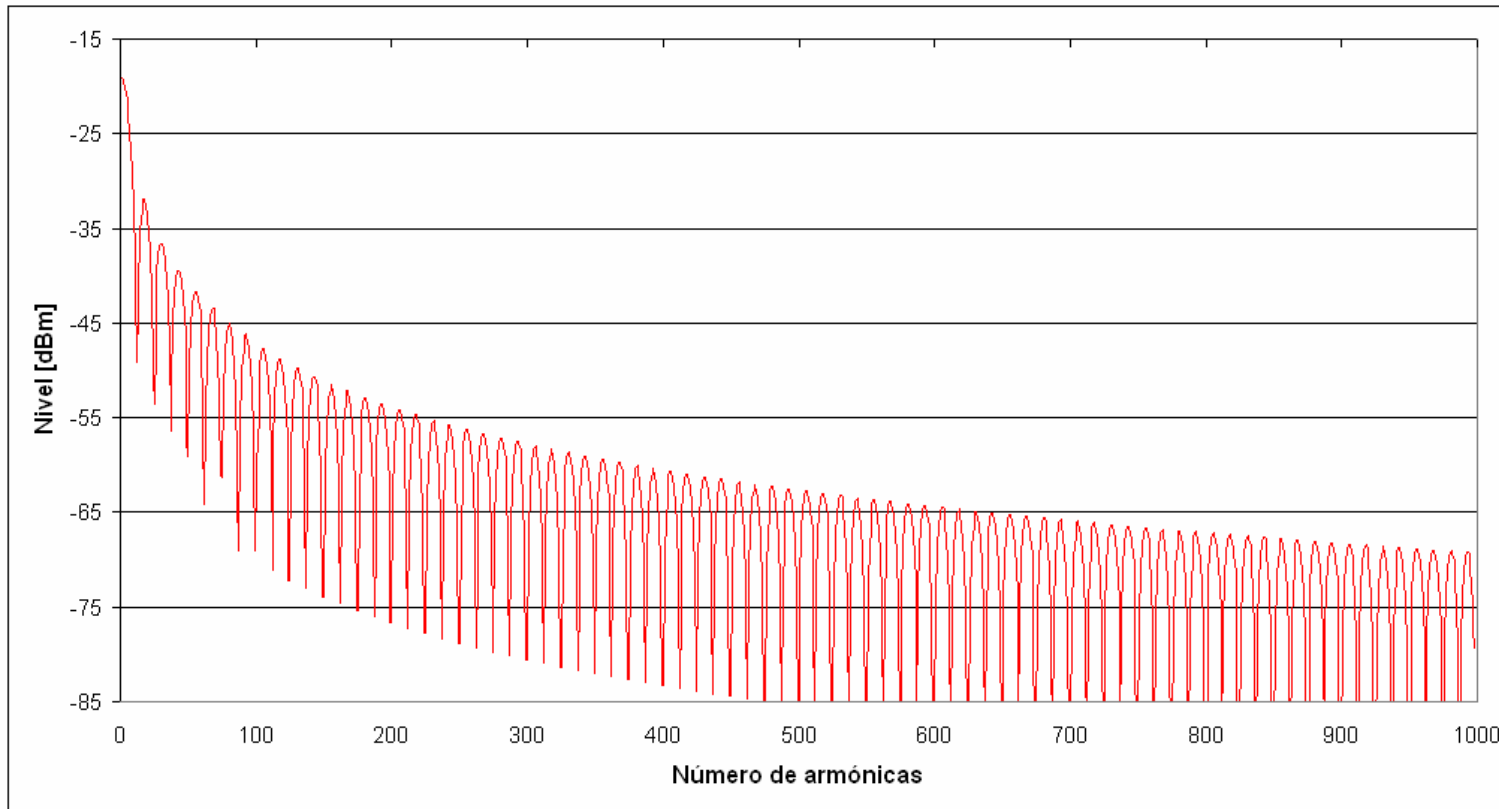
Muestreo - Armónicas 100 a la 5.000



Estimación- Armónicas 100 a la 50.000



Espectro de Frecuencias “medido”



- Cálculo por Series de Fourier

$$Y(t) = A_1 \cos (\omega_1 t + \theta_1) + \Sigma \left\{ A_n \cos (\omega_n t + \theta) \right\}$$

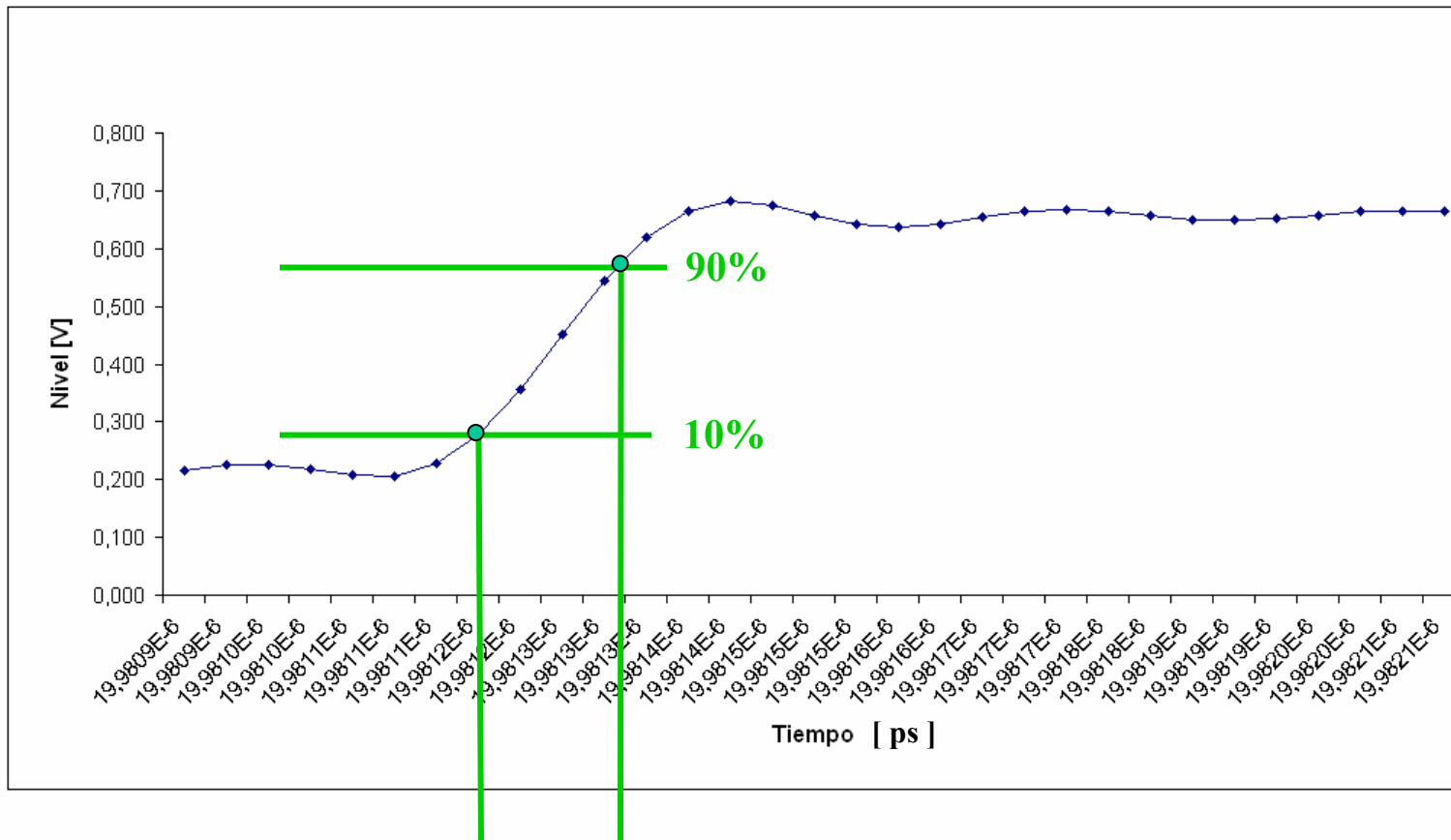
$$2 \leq n \leq 50.000$$

ω_1 : frecuencia de la fundamental

ω_2 : frecuencia de la segunda armónica

ω_3 : frecuencia de la tercer armónica, etc.

Pulso reconstruido – Flanco de subida



Rise Time medido = **160 ps**

Conclusiones y aspectos a mejorar:

- Probar distintas variantes de medición / muestreo / estimación.
- Aumentar la cantidad de armónicas. Pero está limitado por:
 - Tiempo insumido
 - Ruido del sistema
 - Modulaciones residuales de AM y FM, etc.
- Cálculo de incertidumbres.

Servicios que se podrá brindar:

- Calibración de Rise Time de Osciloscopios hasta 1 GHz
(tr = 350 ps)
- Medición de pulsos de EMC con tr \geq 1 ns

Preguntas ?



Ing. Alejandro Henze

ahenze@inti.gov.ar

INTI - ELECTRÓNICA e INFORMÁTICA - UTRF



INTI

Instituto
Nacional
de Tecnología
Industrial

50
ANIVERSARIO
1957-2007