



Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires

66.44 Instrumentos Electrónicos

Trabajo Práctico N°1: Puntas de osciloscopios

Integrantes:

Padrón	Nombre	Email
92903	Sanchez, Eduardo Hugo	hugo_044@hotmail.com
91227	Soler, José Francisco	francisco._tw@hotmail.com
xxx	Wawrynczak, Claudio	claudiozak@gmail.com

Índice

1. Objetivo

El objetivo del presente trabajo práctico es determinar las diferentes impedancias medidas utilizando un osciloscopio con técnicas de reflectometría.

2. Desarrollo

Para llevar a cabo las mediciones, se utilizan los siguientes instrumentos:

- Un generador de pulsos Hewlett Packard 8082A.
- Un osciloscopio RIGOL DS1302CA ($BW = 300MHz$).
- La punta Rigol RP3300.
- Cable coaxil para realizar las distintas conexiones entre instrumentos.

2.1. Medición 1- Velocidad de propagación de una línea

En esta medición se calcula el largo de distintos cables, para ello se conecta un generador y un osciloscopio en el mismo terminal del cable por medio de un conector "T". El generador emite un pulso y, dependiendo que impedancia está conectada el otro terminal, la señal rebota con la misma fase, fase opuesta o no se refleja absolutamente nada.

Se mide el tiempo que tarda la señal en ir y volver por el cable y, con dicho resultado, se calcula la velocidad de propagación sobre el mismo.

Las imágenes ??, ?? y ?? muestran tres tipos de adaptaciones: izquierda posee un circuito abierto; medio, adaptado; derecha, cortocircuito.



Figura 1: Propagación de la señal en un cable $RG - 213/U$



Figura 2: Propagación de la señal en un cable coaxial fino

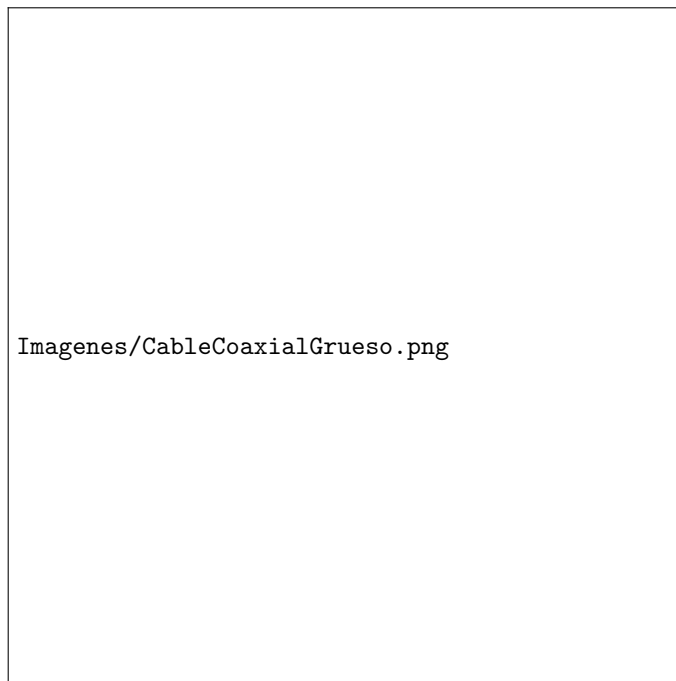


Figura 3: Propagación de la señal en un cable coaxial grueso

La tabla ?? muestra los distintos cables con sus respectivas longitudes (medidas con un metro), tiempo (medido en el osciloscopio) y velocidad de propagación (calculada en base a los anteriores resultados). En la longitud se está tomando en cuenta el largo de la T utilizada para conectar el osciloscopio al cable, el cual mide 18cm (su incerteza se incluye en los $\pm 2\text{cm}$ de la medición total que se ha tomado para todas las mediciones).

Cable	longitud total	τ	Vel propagación
F&G RG-213/u	118 cm $\pm 2\text{cm}$	10,88 $\mu\text{n seg}$ $\pm 0,62\text{nseg}$	(0,36 $\pm 0,006$) $\cdot c$
coaxil fino	124 cm $\pm 2\text{cm}$	11,44 $\mu\text{n seg}$ $\pm 0,62\text{nseg}$	(0,36 $\pm 0,006$) $\cdot c$
coaxil grueso	144 cm $\pm 2\text{cm}$	12,16 $\mu\text{n seg}$ $\pm 0,62\text{nseg}$	(0,39 $\pm 0,005$) $\cdot c$

Cuadro 1: Comparación de velocidades de propagación entre distintos tipos de cables

Como se puede apreciar, la velocidad de propagación se obtiene con baja incerteza, con lo cual el método aplicado resulta útil para este fin.

2.2. Medición 2 - Resistencias

En esta sección se pretende conocer el valor de diferentes resistencias por medio de reflectometría. Por otra parte también se desea conocer la exactitud del método para obtener impedancias. Por ello se dispone de 5 resistores, de resistencias conocidas para contrastar su valor.

El banco de medición consiste en el osciloscopio conectado con una T , con un extremo conectado a un generador de pulsos y otro extremo conectado a un cable coaxil, el cual a su vez en su extremo está conectado a alguna de las resistencias. La idea consiste en observar el coeficiente de reflexión, ρ , de la línea de transmisión y con él, la carga de la línea aplicando la siguiente relación:

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

En la Figura ?? se muestra el resultado obtenido cuando se cargó el cable coaxil con la resistencia de $10k\Omega$. Puede verse que

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \\ \frac{3,24V}{3,40V} &= \frac{Z_L - 50\Omega}{Z_L + 50\Omega} \\ (Z_L + 50\Omega) \cdot \frac{3,24V}{3,40V} &= Z_L - 50\Omega \\ Z_L &= 50\Omega \cdot \frac{1 + \frac{3,24V}{3,40V}}{1 - \frac{3,24V}{3,40V}} = 2075\Omega\end{aligned}$$

En general, la siguiente relación puede deducirse, despejando Z_L en función de ρ

$$Z_L = Z_0 \cdot \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

Para propagar errores se parte calculando la incertidumbre que posee la medición de V_+ y V_- las cuales son obtenidas directamente de las incertidumbres del osciloscopio. De la hoja de datos del fabricante, se obtiene que la incertidumbre vertical de una medición (para la resolución utilizada de $1V/div$) es del 3%. Con lo cual la incerteza relativa de $\rho = \frac{V_+}{V_-}$ es del 6% ya que como se demuestra a continuación en la división las incertezas relativas se suman.

Primero se procede a calcular la incertidumbre de ρ , la cual se obtiene de la siguiente forma

$$\rho = \frac{V_+}{V_-} \pm \Delta\rho$$

$$\Delta\rho = (\epsilon_{V_+} + \epsilon_{V_-}) \cdot \rho$$

Una vez obtenido ρ , se procede a calcular cada parte de la división, se sabe que la incertidumbre absoluta es la misma cuando se suma o resta por una constante, y se sabe que la incertidumbre relativa de la división o multiplicación es igual a la suma de las incertidumbres relativas de cada variable.

$$1 + \rho = (1 + \rho) \pm \Delta\rho$$

$$1 - \rho = (1 - \rho) \pm \Delta\rho$$

$$\epsilon_{\frac{1+\rho}{1-\rho}} = \epsilon_{1+\rho} + \epsilon_{1-\rho}$$

$$\epsilon_{\frac{1+\rho}{1-\rho}} = \frac{\Delta\rho}{1+\rho} + \frac{\Delta\rho}{1-\rho}$$

$$\epsilon_{\frac{1+\rho}{1-\rho}} = \frac{2 \cdot \Delta\rho}{1-\rho^2}$$

Ahora se procederá a calcular la incertidumbre absoluta de la división

$$\Delta_{\frac{1+\rho}{1-\rho}} = \epsilon_{\frac{1+\rho}{1-\rho}} \cdot \frac{1+\rho}{1-\rho}$$

$$\Delta_{\frac{1+\rho}{1-\rho}} = \frac{2 \cdot \Delta\rho}{(1-\rho)^2}$$

Por último solo queda determinar la incertidumbre absoluta de Z_L , la cual, es la calculada anteriormente, pero escalada por Z_0 resultando:

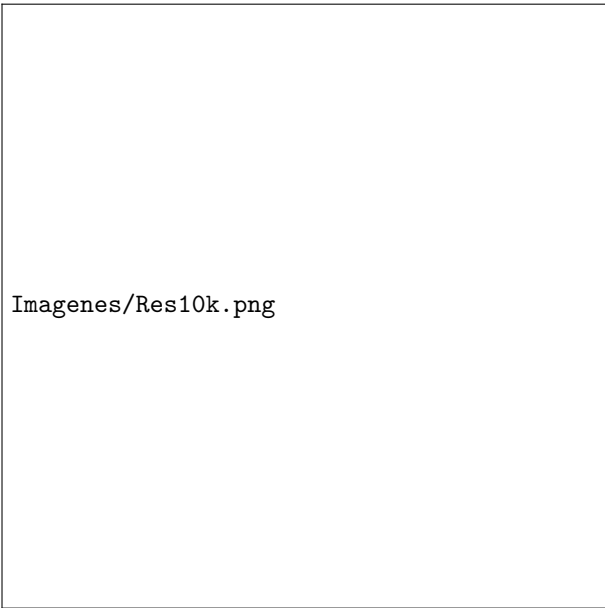
$$\Delta_{Z_L} = Z_0 \cdot \Delta_{\frac{1+\rho}{1-\rho}}$$

$$\Delta_{Z_L} = Z_0 \cdot \frac{2 \cdot \Delta\rho}{(1-\rho)^2}$$

De esta forma, queda determinada Z_L

$$Z_L = Z_0 \cdot \frac{1+\rho}{1-\rho} \pm Z_0 \cdot \frac{2 \cdot \Delta\rho}{(1-\rho)^2}$$

Por lo tanto $Z_L = 2k\Omega \pm 2,5k\Omega$, el cual no es un valor cercano a los $10k\Omega$ esperados. De hecho su incerteza es del mismo orden que el valor de referencia, con lo cual se concluye que no es una buena medición y deberá encontrarse otro



Imagenes/Res10k.png

Figura 4: Medición para la resistencia de $10k\Omega$. La referencia (en blanco) esta graficada con la línea abierta.

método para hallar con mayor precisión su valor.

En la Figura ?? se muestra el resultado con la resistencia de $1k\Omega$. Puede verse que

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$
$$\frac{2,96V}{3,40V} = \frac{Z_L - 50\Omega}{Z_L + 50\Omega}$$

Por lo tanto $Z_L = 722\Omega \pm 311\Omega$, que se corresponde a un valor, si bien aun lejano, más próximo que en el caso anterior, pero con una incerteza considerable.

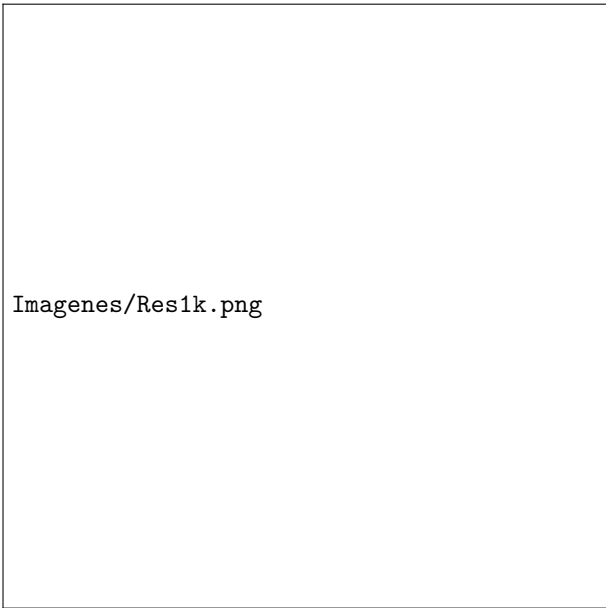
En la Figura ?? se muestra el resultado con la resistencia de 120Ω . Puede verse que

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$
$$\frac{1,44V}{3,40V} = \frac{Z_L - 50\Omega}{Z_L + 50\Omega}$$

Por lo tanto $Z_L = 123\Omega \pm 7,6\Omega$, el cual es un valor que se encuentra dentro de la tolerancia de la resistencia ($120\Omega \pm 10\%$ para resistores de carbón).


En la Figura ?? se muestra el resultado con la resistencia de 47Ω . Dado su valor cercano a la impedancia característica, como era de esperar la onda reflejada es pequeña. Como antes,

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



Imagenes/Res1k.png

Figura 5: Medición para la resistencia de $1k\Omega$. La referencia (en blanco) esta graficada con la línea abierta.



Imagenes/Res120.png

Figura 6: Medición para la resistencia de 120Ω . La referencia (en blanco) esta graficada con la línea abierta.

$$\frac{-120mV}{3,48V} = \frac{Z_L - 50\Omega}{Z_L + 50\Omega}$$

Despejando, se obtiene $Z_L = 46,6\Omega \pm 0,2\Omega$, prácticamente coincidiendo con

el valor de referencia de 47Ω . Debe notarse también que la incerteza obtenida es muy pequeña y ésta fue reduciéndose a medida que el coeficiente de reflexión disminuía de 1 (valor donde teóricamente la incertidumbre es infinita según la expresión desarrollada $Z_0 \cdot \frac{2 \cdot \Delta \rho}{(1-\rho)^2}$)



Figura 7: Medición para la resistencia de 47Ω . La referencia (en blanco) está graficada con la línea abierta.

Por último en la Figura ??, se realiza la medición con la resistencia de $3,90\Omega$. Como se puede apreciar es un valor próximo a un cortocircuito, con lo cual en el gráfico se puede observar que el pulso se recorta. Como

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$
$$\frac{-2,60V}{3,44V} = \frac{Z_L - 50\Omega}{Z_L + 50\Omega}$$

Con lo cual $Z_L = 6,9\Omega \pm 1,50\Omega$ y se aleja del un poco del valor $3,9\Omega$ de referencia

Cabe destacar las irregularidades que se observan en la parte horizontal de la señal, esto se puede atribuir a la línea de transmisión, dado que, si el cable tiene golpes, torceduras, desperfectos, presentará cambios de impedancias donde están dichos desperfectos. Esto genera que haya señales reflejadas a lo largo de la línea, pero de una amplitud muy pequeña, como cada una se refleja en una posición del cable distinta, llegan al osciloscopio a distintos tiempos. Observándose así dichas irregularidades. Otro causante puede ser una desadaptación del osciloscopio a la línea, la cual también generaría una onda estacionaria que se va atenuando en cada cambio de impedancia.

De los resultados obtenidos, cuyo resumen se muestra en la Tabla ??, debe notarse que las mediciones de menor incertidumbre son aquellas cuya resistencia

Imagenes/Res3e9.png

Figura 8: Medición para la resistencia de $3,9\Omega$. La referencia (en blanco) esta graficada con la línea en cortocircuito.

de carga es cercana a la impedancia característica. En particular las resistencias mucho mayores a Z_0 , como la de $10k\Omega$ tienen una incertidumbre elevada y esto se debe a que para $0 \leq \rho \leq 1$ están asociadas resistencias del orden $Z_0 \leq R_L \leq \infty$, con lo cual la exactitud es menor. Diferente es el caso cuando $-1 \leq \rho \leq 0$ que se asocia a resistencias comprendidas en $0\Omega \leq R_L \leq Z_0$, con lo cual la exactitud es mayor en estos casos.

Valor de referencia	Medición	Variación respecto de la referencia
$10k\Omega$	$2k\Omega \pm 2,5k\Omega$	-80%
$1k\Omega$	$722\Omega \pm 311\Omega$	$-27,8 \%$
120Ω	$123\Omega \pm 7,6\Omega$	$2,5 \%$
47Ω	$46,6\Omega \pm 0,2\Omega$	$0,85 \%$
$3,9\Omega$	$6,9\Omega \pm 1,5\Omega$	76%

Cuadro 2: Resumen de los resultados obtenidos para las resistencias

2.3. Medición 3 - Bobina

En esta sección se pretende medir la inductancia de una bobina y su valor de resistencia equivalente serie. El banco de medición es el mismo que el anterior solo que la línea se carga con el inductor.

Cuando el flanco del pulso incidente llegue al inductor, este presentará alta impedancia, con lo cual, inicialmente la respuesta se asemeja a aquella en la que la línea está abierta. La respuesta decaerá exponencialmente con $\tau = \frac{L}{Z_0 + R_L}$, donde R_L es la resistencia serie del inductor, hasta un valor de tensión no nulo

que permite conocer el valor de R_L por medio del coeficiente de reflexión.

En la Figura ??, se puede observar la respuesta temporal cuando se carga la línea con el inductor. Como se esperaba la respuesta es exponencial decreciente con $\tau = \frac{L}{Z_0 + R_L} = 580ns \pm 0,6ns$, como $Z_0 = 50\Omega$ es necesario conocer el valor de R_L , para saber el de L . Despejando L y propagando incertezas se obtiene

$$L = \tau(Z_0 + R_L) \pm ((Z_0 + R_L)\Delta\tau + \tau\Delta R_L)$$

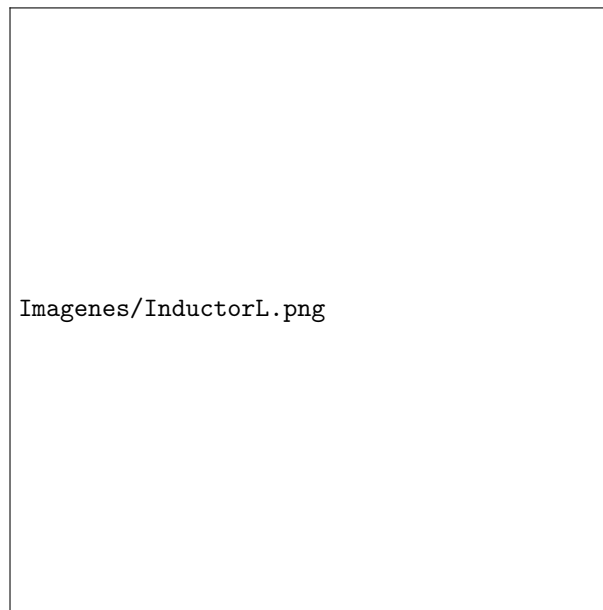


Figura 9: Respuesta temporal para la medición de la inductancia de una bobina.

De la Figura ?? puede hallarse el valor residual de tensión y aplicar la relación $\rho = \frac{R_L - Z_0}{R_L + Z_0}$, para obtener la resistencia serie del inductor. De esta manera

$$\frac{320mV - 3,40V}{3,40V} = \frac{R_L - 50\Omega}{R_L + 50\Omega}$$

Con lo cual $R_L = 2,5\Omega \pm 1,5\Omega$ y por lo tanto $L = 30,45\mu Hy \pm 900nHy$ (una incerteza relativa del 2,95 %), el valor que difiere solamente un 1,5 % del valor de referencia ($L_{ref} = 30\mu Hy$). Con lo cual se concluye que resulta un buen método para medir la inductancia de una bobina, no así para conocer su resistencia serie equivalente, cuya incerteza relativa es del 60 %

2.4. Medición 4 - Cortocircuito

En esta medición se coloca en el extremo de la línea de transmisión un conductor. Idealmente esto generaría una onda reflejada de la misma amplitud pero en contrafase respecto a la incidente (es decir, $\rho = -1$). Sin embargo, de la Figura ?? puede observarse un sobrepico similar al hallado en la sección anterior. Con lo cual se concluye que ese conductor tiene una componente inductiva que

Imágenes/InductorR.png

Figura 10: Respuesta temporal para la medición de la resistencia equivalente serie de una bobina.

se procede a estimar.

Dado que $\tau = \frac{L}{Z_0 + R_c} = 6ns \pm 0,6ns$, $Z_0 = 50\Omega$ y $R_c \approx 0\Omega$, entonces

$$L = \tau Z_0 \pm Z_0 \Delta \tau$$

$$L = 6ns50\Omega \pm 50\Omega 0,6ns = 300nHy \pm 30nHy$$

La incerteza relativa es del 10 %, con lo cual se considera que es una medición válida pero resulta conveniente utilizar otro método o bien otro instrumento para caracterizar mejor la inductancia equivalente del cortocircuito.

2.5. Medición 5 - Capacitor

En esta medición se utilizaron 3 capacitores distintos para medir la resistencia y capacidad equivalente. Los valores utilizados fueron $100pF$, $180pF$ y $47nF$ (todos con una tolerancia del 20 %)

La imagen ?? muestra las respuestas de dichas mediciones. La figura de la izquierda es la respuesta del capacitor de $100pF$, la del medio posee uno de $180pF$ y la de la derecha $47nF$.

Para poder determinar el capacitor y resistencia equivalente lo primero que se hace es determinar el tiempo de crecimiento τ . El cual posee la siguiente fórmula

$$\tau = R \cdot C \quad (1)$$

La línea de transmisión posee una impedancia característica de 50Ω . Se desprecia la resistencia interna del capacitor.

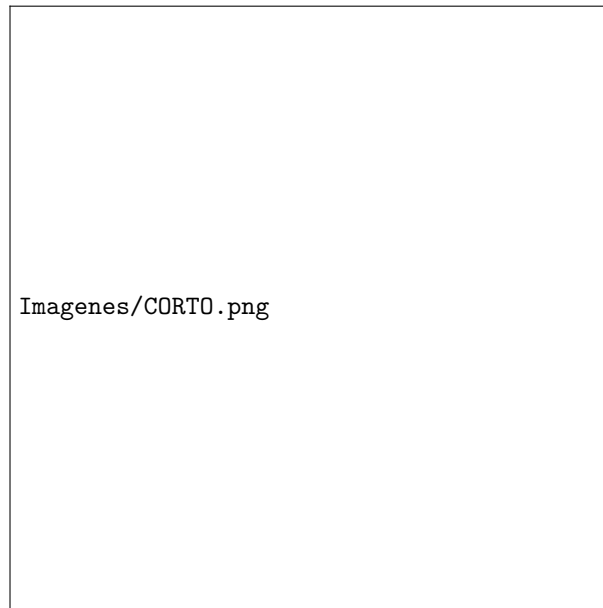


Figura 11: Respuesta temporal para la medición de la inductancia equivalente de un conductor.

Despejando el valor de C , en la tabla ?? se reflejan los resultados calculados con su respectivas incertidumbres. La expresión para obtener C con su incerteza es la siguiente

$$C = \frac{\tau}{R} \pm \frac{\Delta\tau}{R} \quad (2)$$

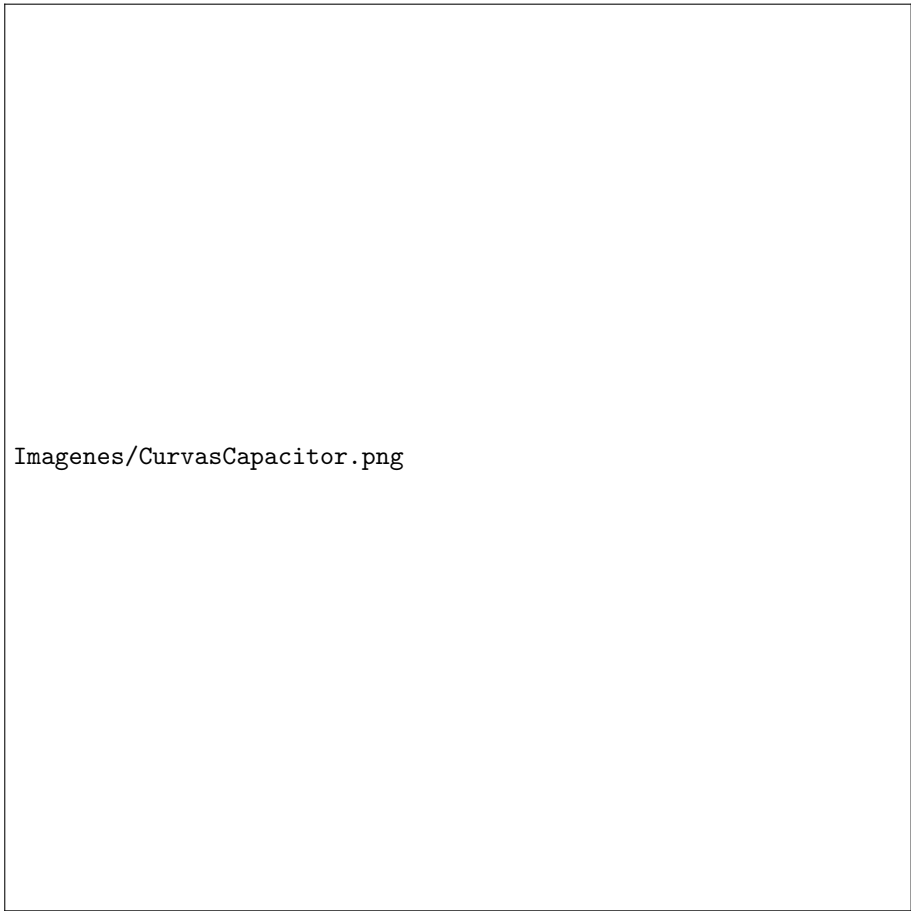
La incertidumbre de la medición del τ viene dada por el osciloscopio, el cual posee la siguiente incertidumbre

$$\Delta\tau = \frac{1}{2} \text{ nSec} + 50 \text{ ppm} \cdot \text{reading} + 0,6 \text{ Seg}$$

C teórico	τ medido	$\Delta\tau$	C medido	ΔC
100 pF	5,8 n seg	1,1 n seg	116 pF	22 pF
180 pF	10,4 n seg	1,1 n seg	208 pF	22 pF
47 nF	2 μ seg	1,2 n seg	40 nF	24 pF

Cuadro 3: Capacitancias medidas

Se puede observar que este método sirve para medir capacitores de magnitudes superiores a los 200pF, dado que la incertidumbre relativa de dicha medición ronda los 12 %.



Imagenes/CurvasCapacitor.png

Figura 12: Respuestas de los distintos capacitores

3. Conclusiones

La reflectometría, a partir de los resultados obtenidos, resulta adecuada para realizar mediciones de velocidad de propagación con baja incertidumbre (menor al 2 % en el peor caso).

De las mediciones de resistencias utilizando reflectometría cabe destacar que el valor medido posee más incertidumbre a medida que el valor de resistencia se aleja de la impedancia característica de la línea. Con lo cual deberá considerarse utilizar otro método para caracterizar estas resistencias de valores mayores a la impedancia característica del cable.

Para las mediciones tanto de inductancias como de capacitancias cabe destacar que, como se están midiendo tiempos de crecimiento, y mientras se asuma que la línea es sin pérdidas, las incertidumbres de medición solo dependen del osciloscopio, por lo tanto, no varía en base al valor de capacidad a medir.