

Consideraciones Sobre La Medición De Capacitancia En Simuladores De Capacitancia

Ing. José Angel Moreno Hdez.

Centro Nacional de Metrología

jmoreno@cenam.mx

CONTENIDO

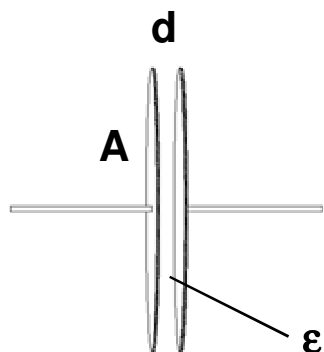
- Capacitancia
- Simulación de Capacitancia
- Mediciones de Baja Capacitancia
- Mediciones de Alta Capacitancia

CAPACITANCIA

La capacitancia **C** es la razón existente entre la carga eléctrica **Q** almacenada entre dos conductores (capacitor), por unidad de diferencia de potencial eléctrico **V** existente entre tales conductores.

$$C = \frac{Q}{V}$$

Para un capacitor de placas paralelas, la capacitancia queda definida por el área de las placas **A**, su separación **d**, y la permitividad ϵ del dieléctrico existente entre ellas.

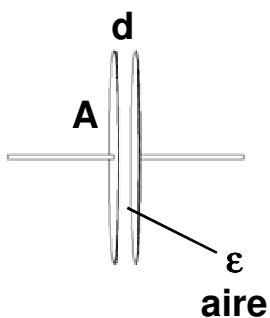


$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

En el vacío:
 $\epsilon = 8.854\ 187\ 817\ \text{pF/m}$

CODATA 2010

La capacitancia en la palma de sus manos:



$$A \approx \pi (0.05)^2 \text{ m}^2$$

$$d \approx 0.01 \text{ m}$$

$$\epsilon_{r\text{-Aire}} \approx 1.0006$$

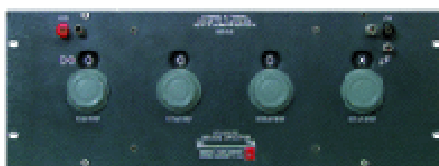
$$C \approx 6.96 \text{ pF}$$

Material	ϵ_r
Teflón PTFE	2.1
Polietileno	2.25
Mylar	3.2
Quarzo	4.2

Bajo este principio físico se construyen capacitores.



Patrones



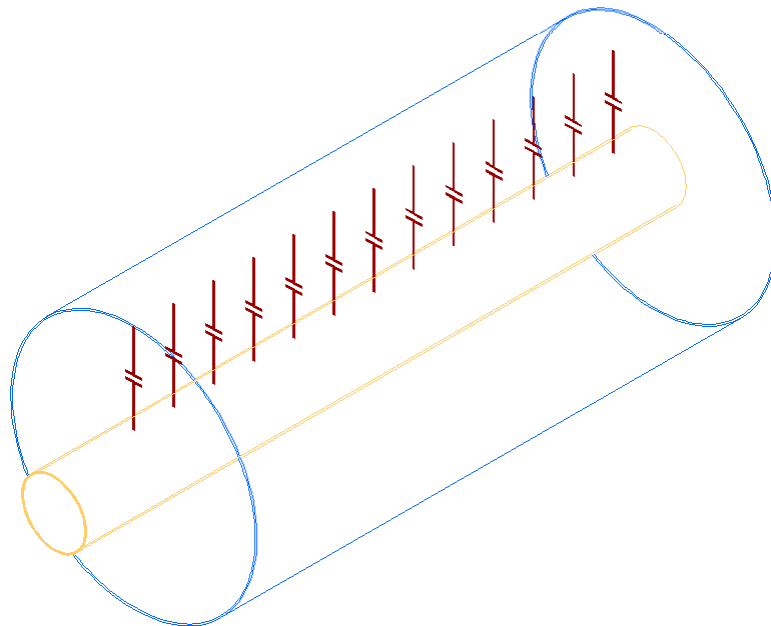
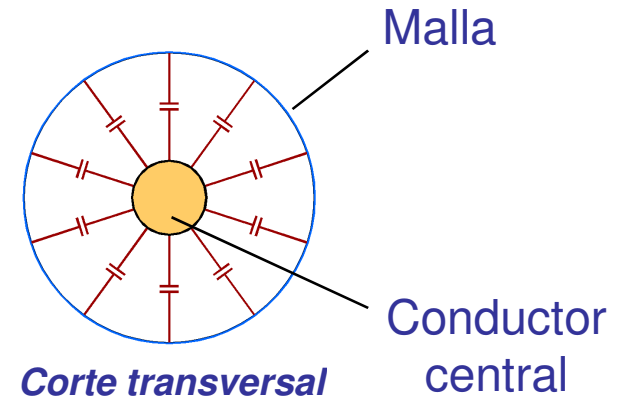
Arreglo de
Patrones



Componentes

Capacitancia en cables.

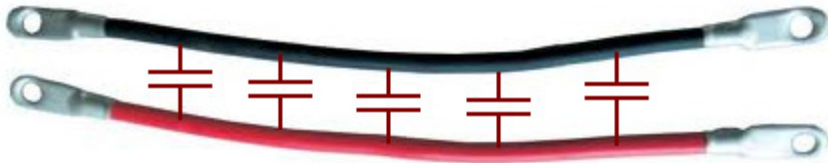
Cable coaxial



La capacitancia se distribuye a lo largo del cable.

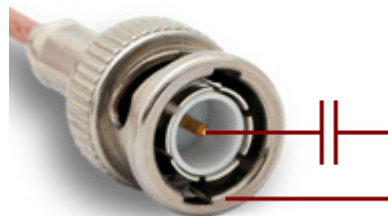
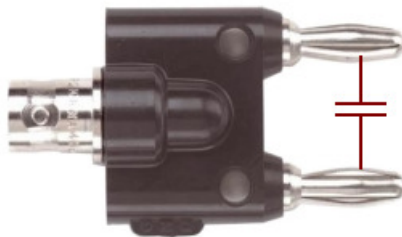
Para el cable RG58/U la capacitancia nominal es aproximadamente 94 pF/m

Par de Cables Sencillos



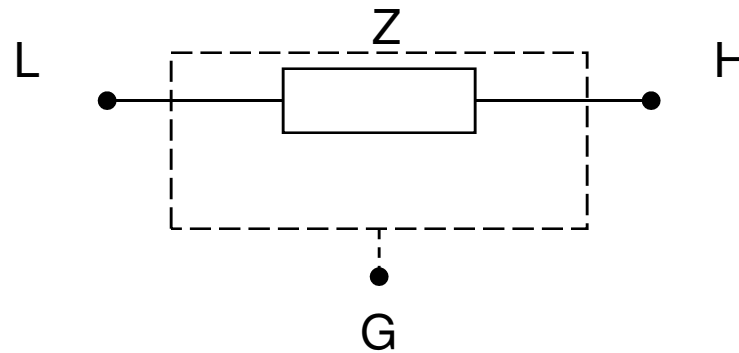
La capacitancia no es uniforme a lo largo del par de cables.

Conectores y Adaptadores

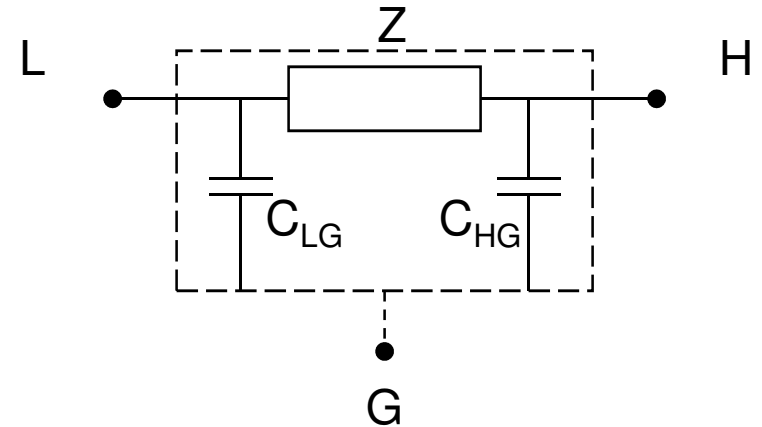


La capacitancia está presente.

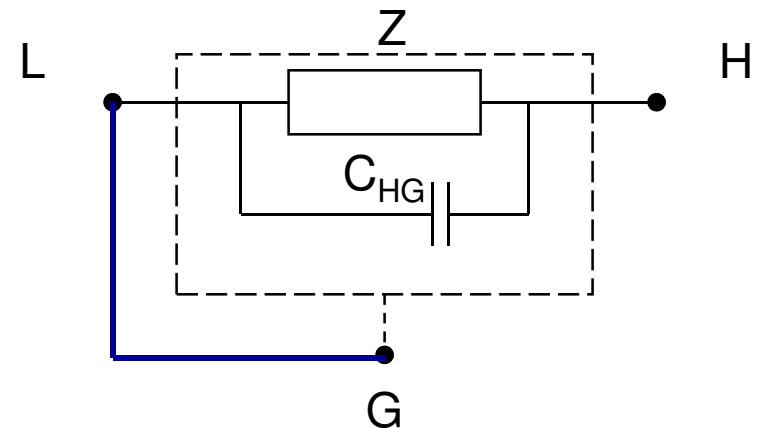
Concepto de Impedancia de dos y tres terminales.



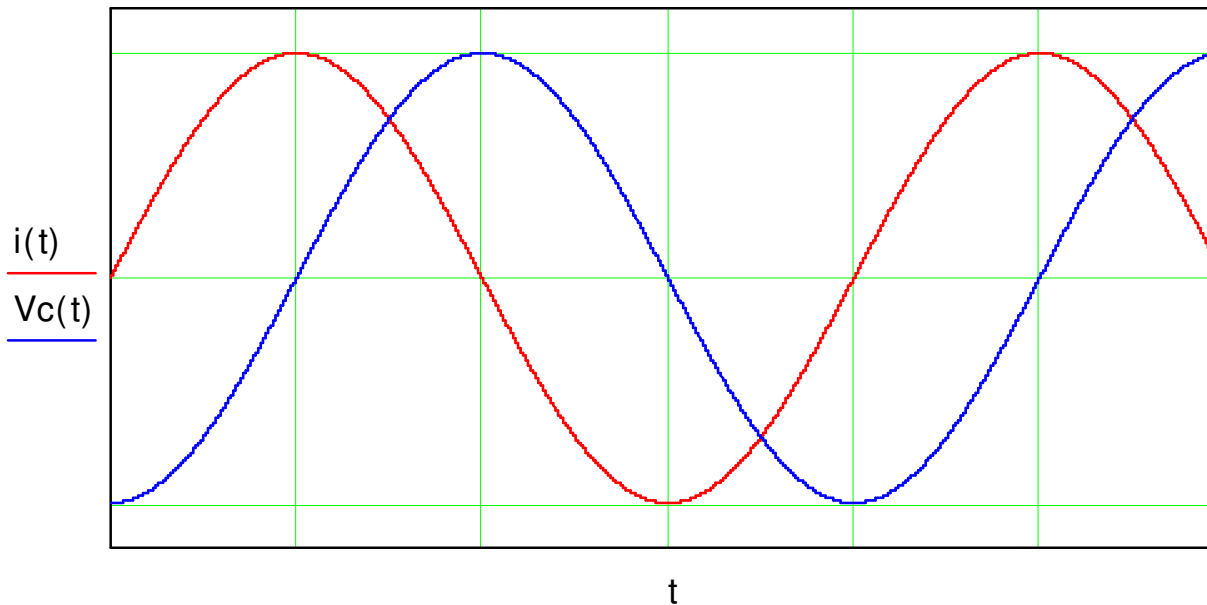
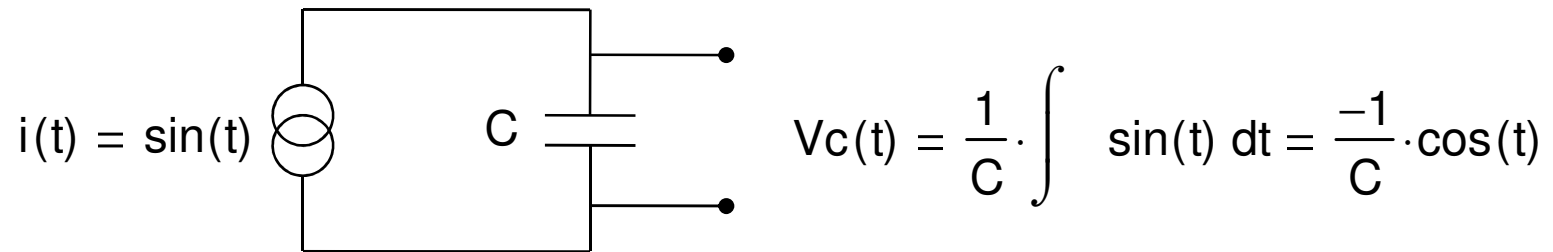
Configuración a tres terminales



Configuración a dos terminales



Capacitancia en un Circuito Eléctrico.



La tensión en el capacitor tiene un retraso de 90° respecto a la corriente.

SIMULACIÓN DE CAPACITANCIA



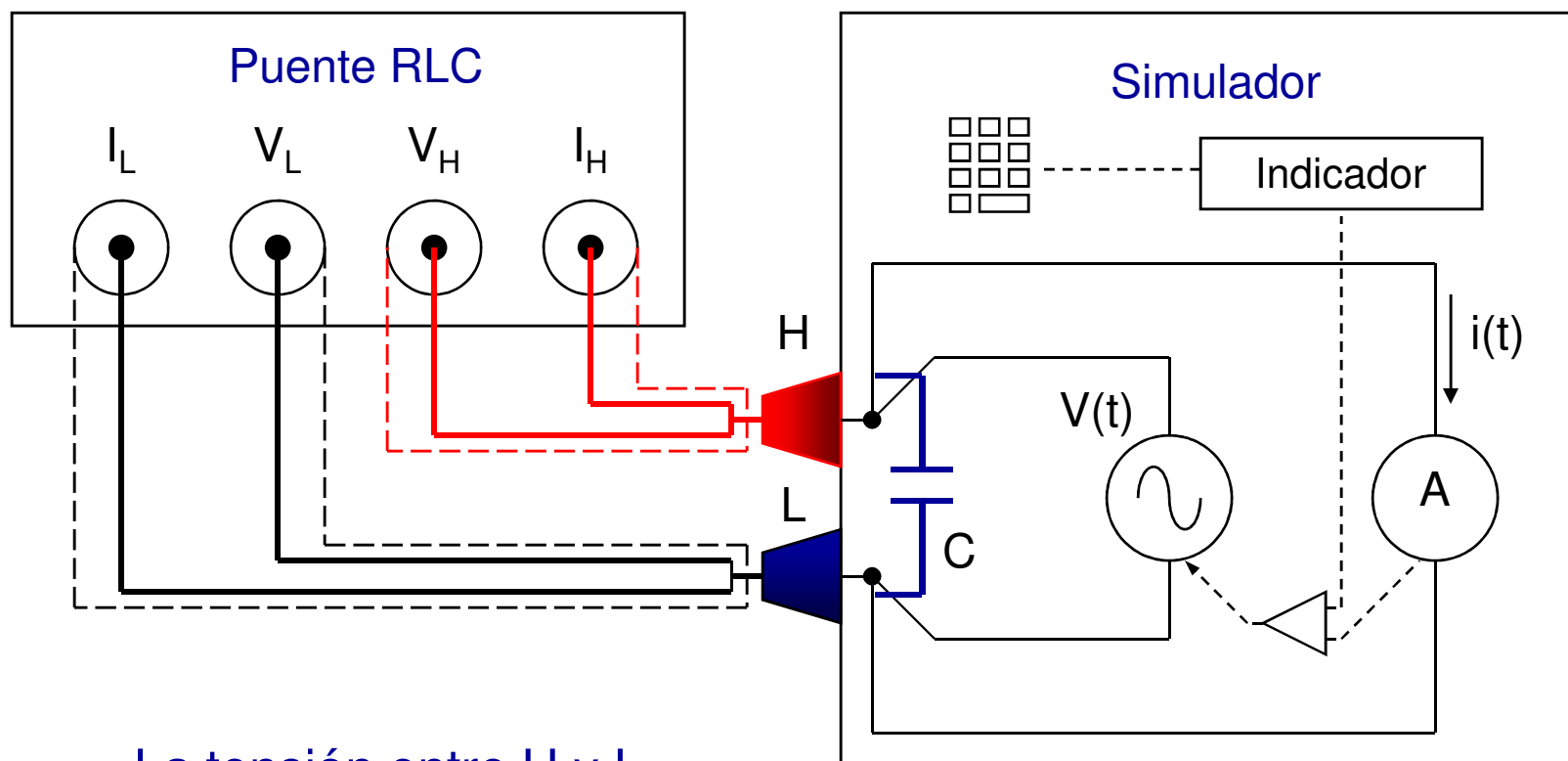
Fluke 5500A

***0.33 nF a
1.1 mF***

Fluke 5520A

***0.19 nF a
110 mF***

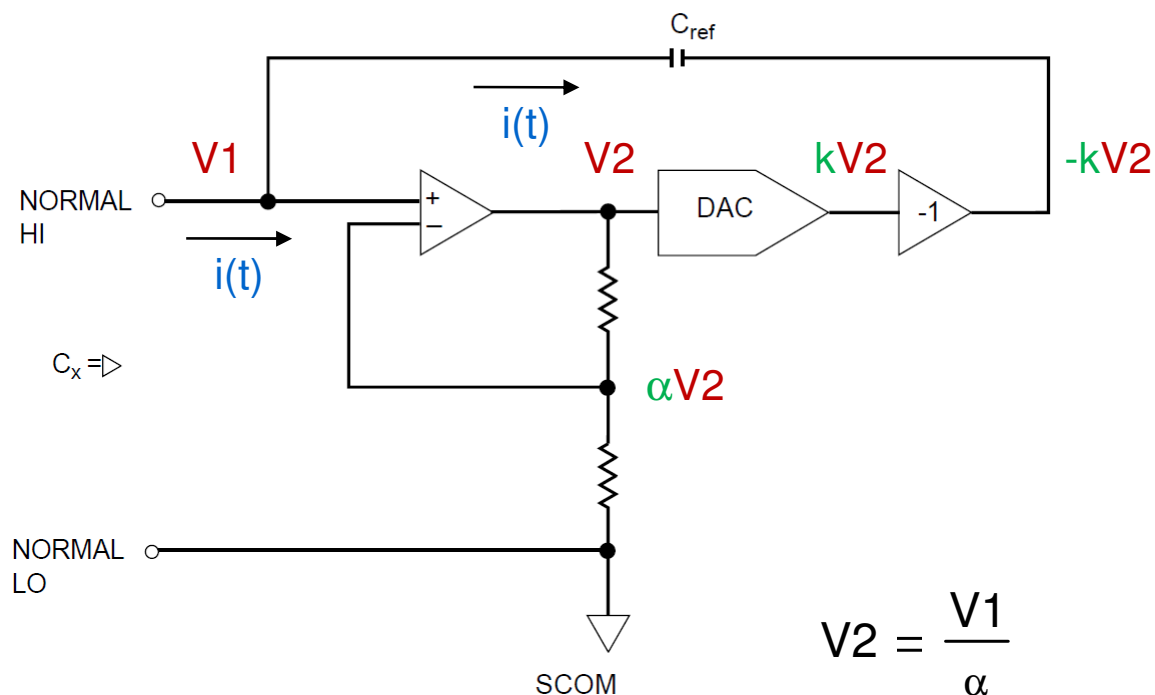
Funcionamiento básico.



La tensión entre H y L
tiene un retraso de 90°
respecto a la corriente.

*Simulación de Capacitancia
a 2 Terminales*

Circuito Interno (Synthesized Impedance Assembly).



$$V1 + kV2 = \frac{1}{C_{ref}} \cdot \int i(t) dt$$

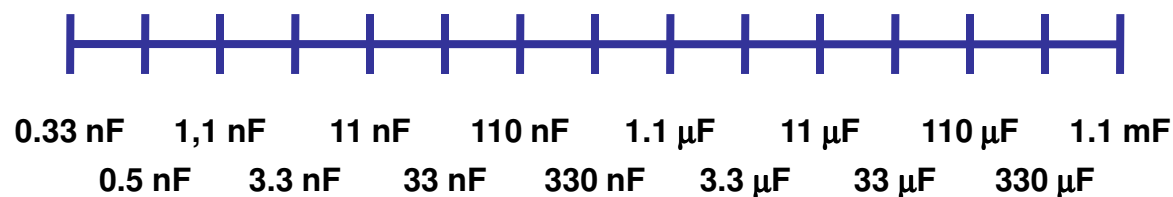
$$V2 = \frac{V1}{\alpha}$$

$$V1 = \frac{1}{C_{ref} \cdot \left(1 + \frac{k}{\alpha}\right)} \cdot \int i(t) dt$$

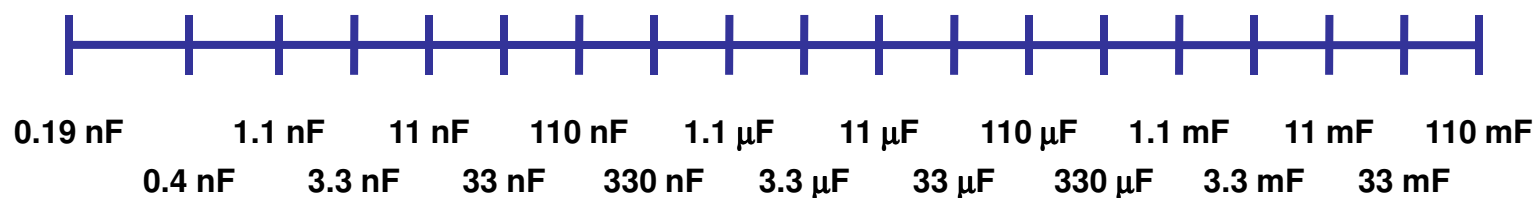
$$C_x = C_{ref} \cdot \left(1 + \frac{k}{\alpha}\right)$$

Intervalos de operación

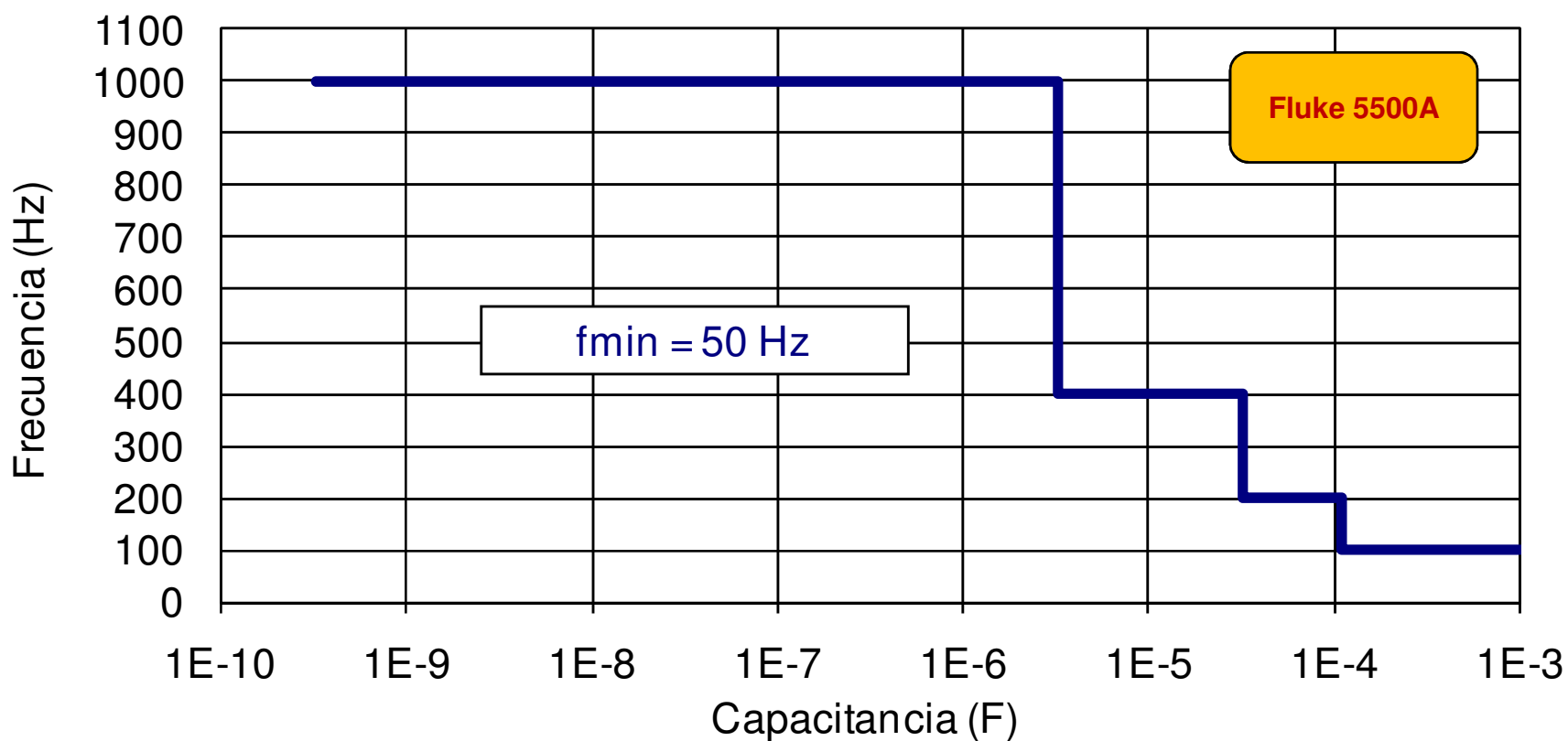
Fluke 5500A
(14 Intervalos)



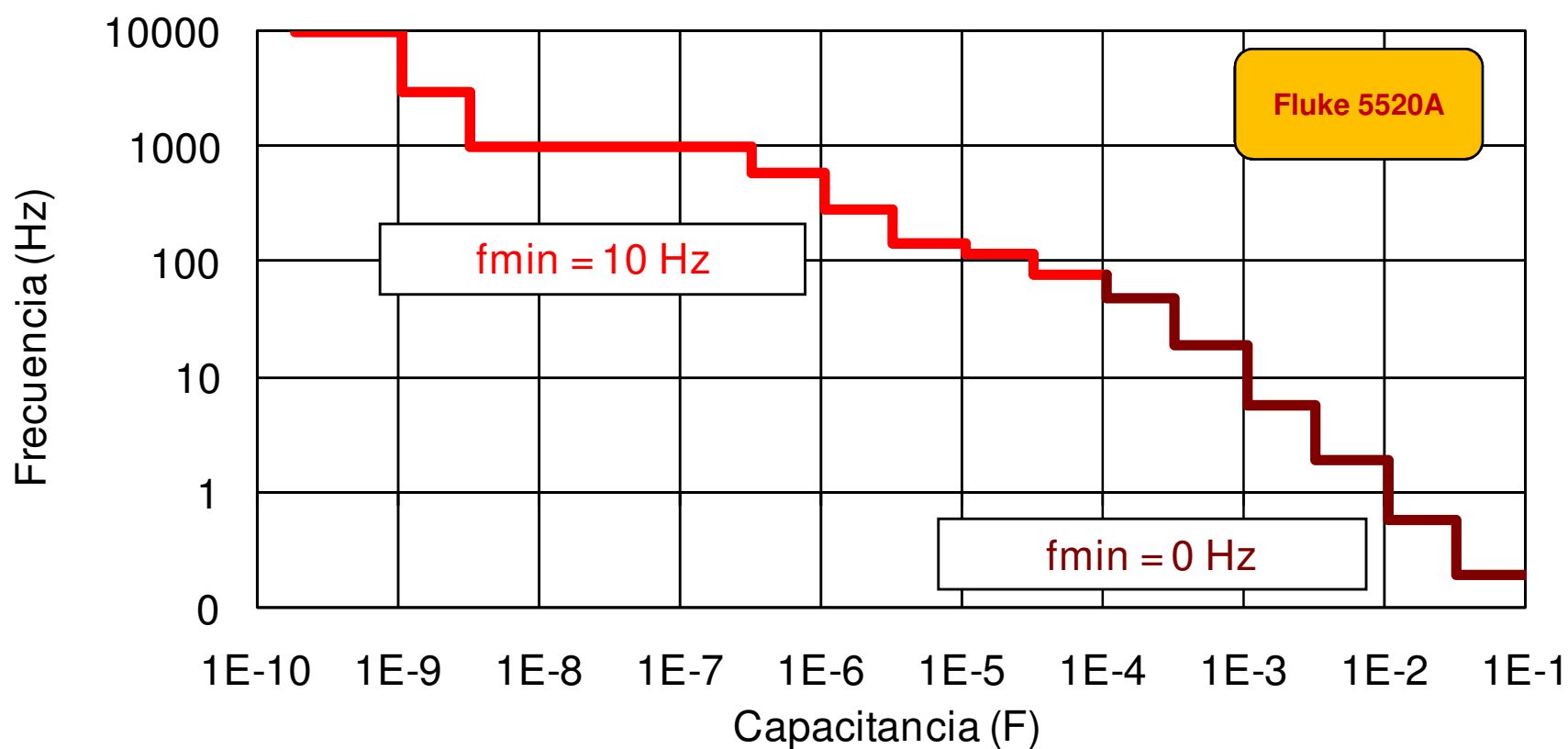
Fluke 5520A
(18 Intervalos)



Intervalos de operación (alcance en frecuencia)



Intervalos de operación (alcance en frecuencia)



Función de Compensación

Se dispone de modos de conexión para compensación de baja impedancia a 4 terminales (5500A) y a 2 terminales.

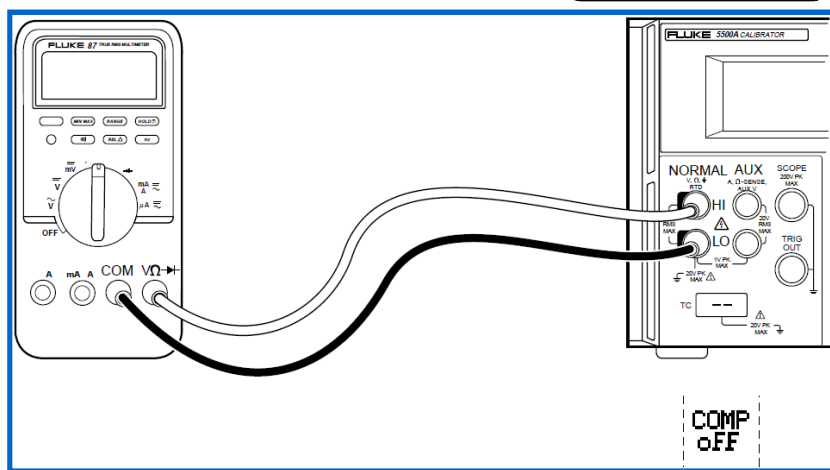
4-17. Four-Wire versus Two-Wire Connections

Four-wire and two-wire connections refer to methods of connecting the 5520A to the UUT to cancel out test lead resistance to assure the highest precision of the calibration output. Figures 4-2 through 4-4 illustrate the connection configurations for resistance; Figures 4-5 and 4-6 illustrate connection configurations for capacitance. The external sensing capability of the four- and two-wire compensated connections provides increased precision for resistance values below 110 k Ω and capacitance values 110 nF and above. Part of the setting up the calibrator output for resistance and capacitance includes selections for four-wire compensation (COMP 4-wire), two-wire compensation (COMP 2-wire) and two-wire no compensation (COMP off). (See “Setting Resistance Output” and “Setting Capacitance Output” later in this chapter.) Note that compensated connections for capacitance are to compensate for lead and internal resistances, not for lead and internal capacitances.

Note that compensated connections for capacitance are to compensate for lead and internal resistances, **not** for lead and internal capacitances.

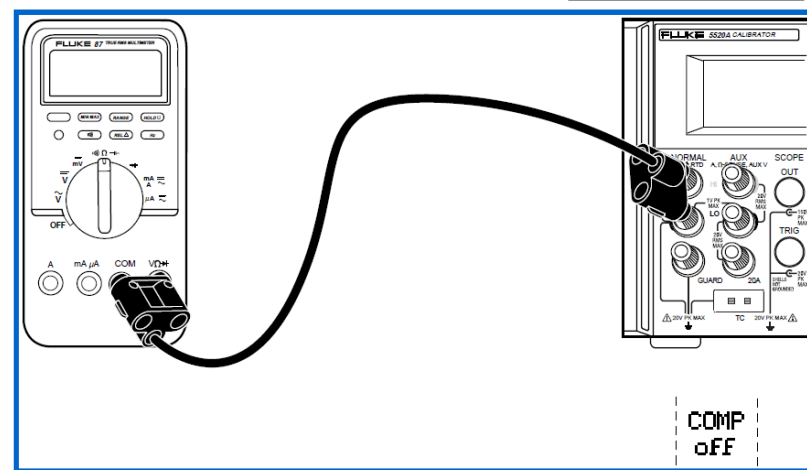
Conexión sin compensación

Fluke 5500A



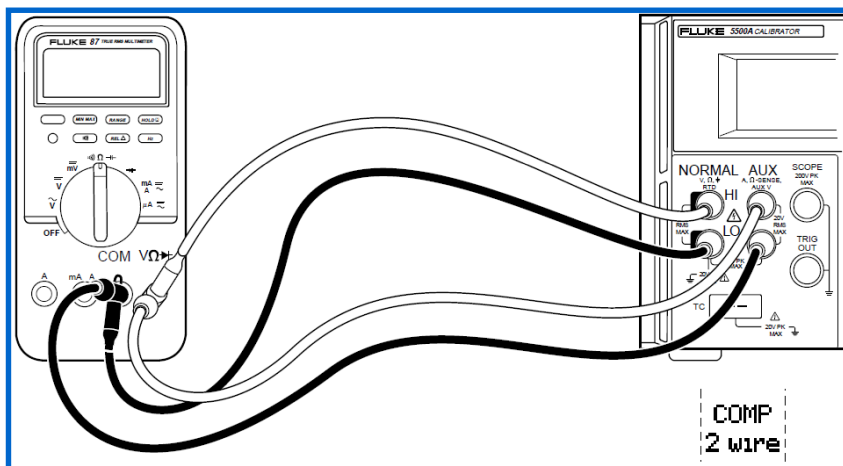
Sugerencia: Evitar cables sencillos.

Fluke 5520A

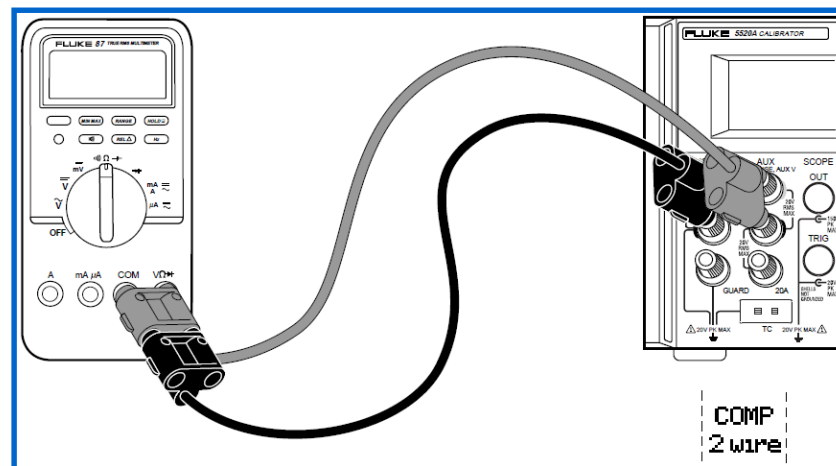


Conexión a 2 Terminales

Fluke 5500A

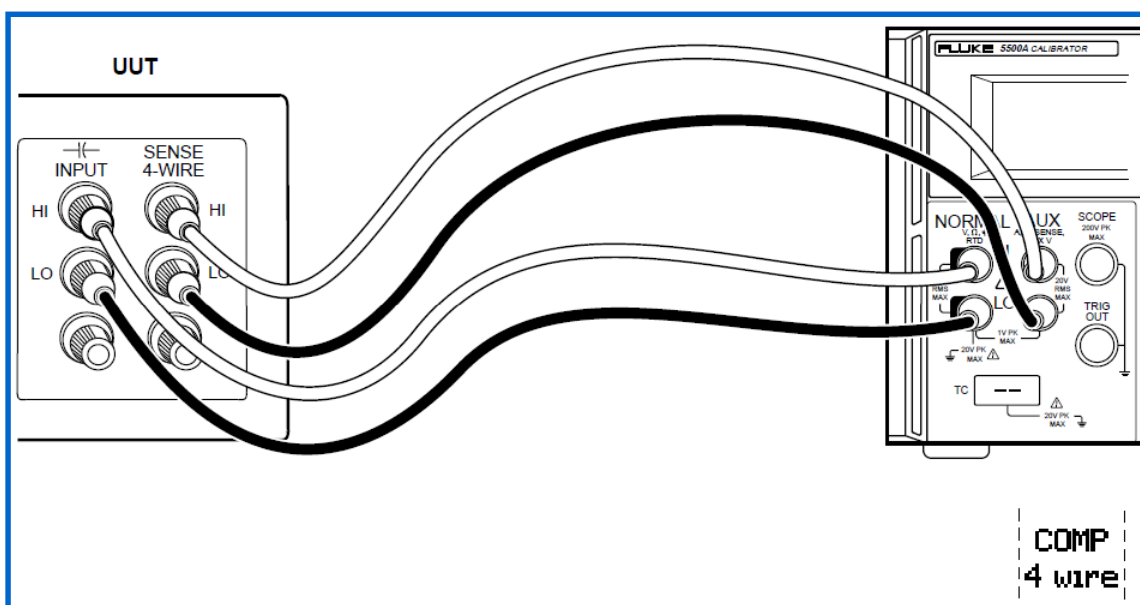


Fluke 5520A



Sugerencia: Evitar cables sencillos.

Conexión a 4 Terminales



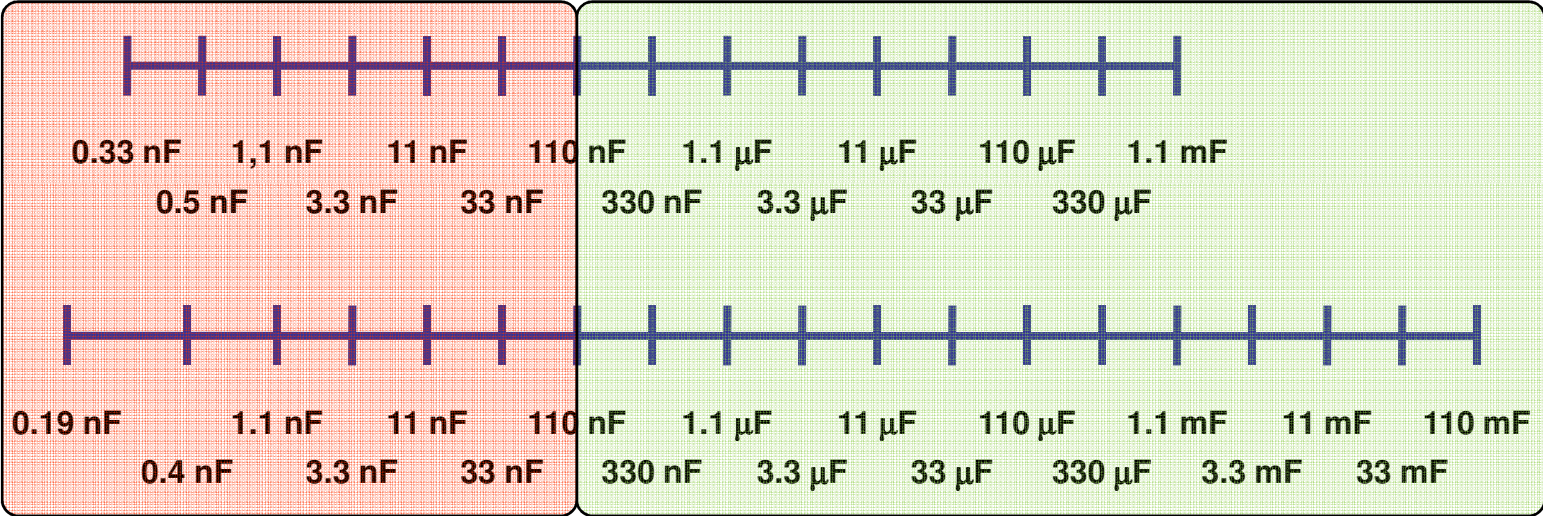
Fluke 5520A

Sugerencia: Evitar cables sencillos.

Puentes RLC y solo algunos multímetros pueden requerir conexión a 4 terminales.

La compensación está disponible solo para capacitancias de 110 nF o mayores

Fluke 5500A

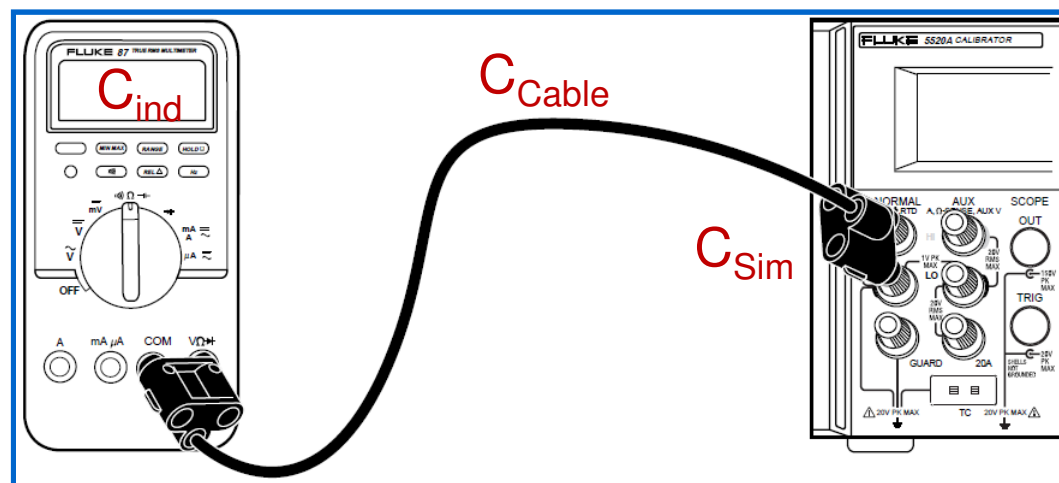


**Intervalo sin
Compensar**

**Intervalo
Compensado**

MEDICIONES DE BAJA CAPACITANCIA

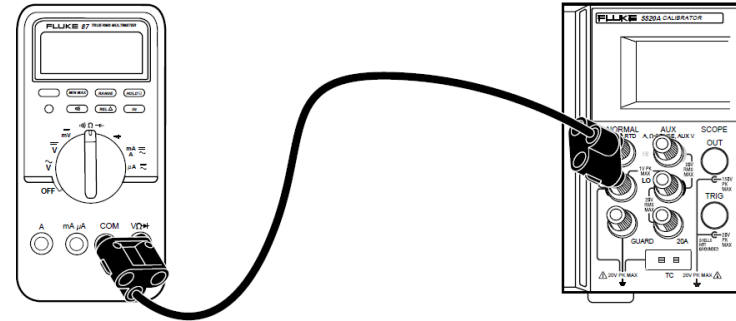
Para valores menores a 110 nF el efecto de los cables tiene una alta influencia en la medición.



$$C_{ind} = C_{Sim} + C_{Cable}$$

Casos extremos

Usando un cable coaxial (RG58/U)
de 50 cm (47 pF):



Fluke 5500A

Para 0.5 nF el cable representa 9.4 %
La especificación es: 2.5 %

Fluke 5520A

Para 0.4 nF el cable representa 11.8 %
La especificación es: 3 %

Compensación Externa Automática

Consiste en discriminar el efecto de los cables mediante las funciones del medidor de capacitancia.

Puente RLC: “Zero”, “Trim”, “Open+Short”

Multímetros: “Null”, “Offset”, “Rel”.



Estas funciones se ejecutan con los cables conectados al medidor, pero no al simulador.

Compensación Externa Manual

Para medidores (RLC o Multímetros) sin funciones de compensación se requiere restar manualmente la capacitancia indicada por el medidor con los cables conectados al medidor, pero no al simulador.



Efecto sobre la incertidumbre.

Modelo:

$$\varepsilon = C_{\text{ind}} - C_{\text{ref}}$$

$$\varepsilon = C_{\text{ind}} - (C_{\text{Sim}} + C_{\text{Cable}})$$

$$\varepsilon = C_{\text{ind}} - (C_{\text{Prog}} - \varepsilon_{\text{Sim}} + C_{\text{Cable}})$$

Esta variable contiene contribuciones adicionales por Dispersión y Resolución.

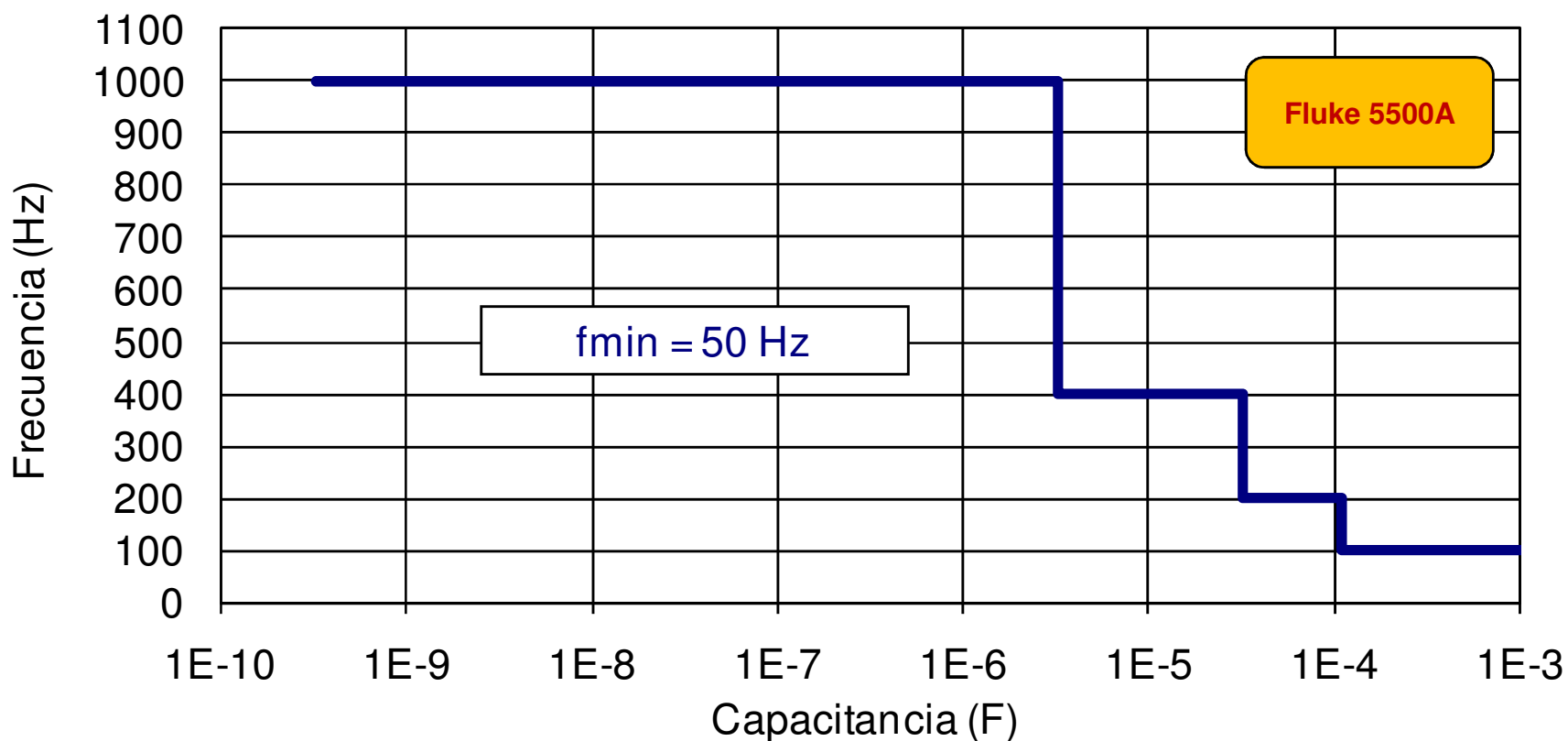
MEDICIONES DE ALTA CAPACITANCIA

La impedancia de una capacitor disminuye con el aumento de su valor capacitivo y de la frecuencia.

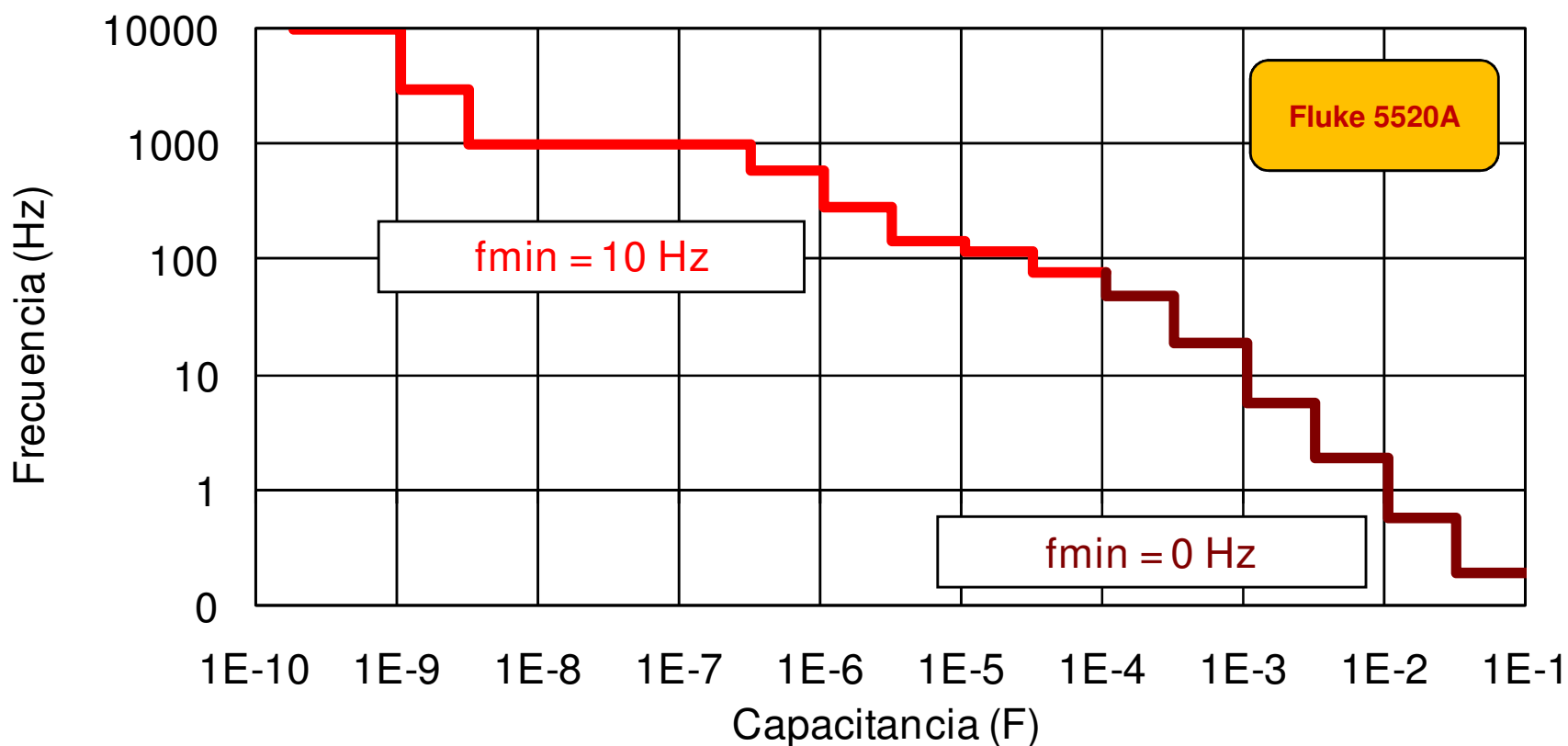
$$Z_C = \frac{1}{2 \pi f C}$$

Para $C = 1 \mu\text{F}$ a 1 kHz:	$Z_C = 159.15 \Omega$
Para $C = 10 \mu\text{F}$ a 1 kHz:	$Z_C = 15.915 \Omega$
Para $C = 100 \mu\text{F}$ a 1 kHz:	$Z_C = 1.5915 \Omega$
Para $C = 1 \text{ mF}$ a 1 kHz:	$Z_C = 0.15915 \Omega$

Para altos valores de capacitancia el simulador requiere operar a baja frecuencia.

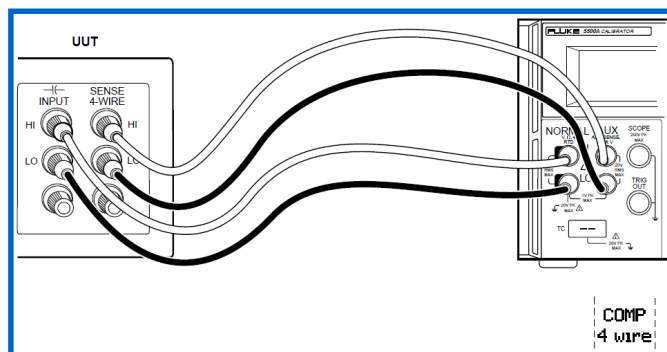
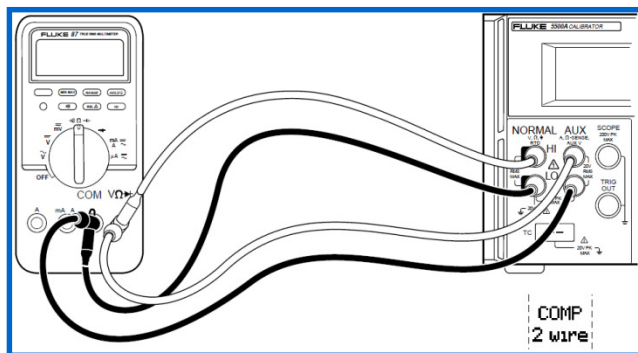


Para altos valores de capacitancia el simulador requiere operar a baja frecuencia.

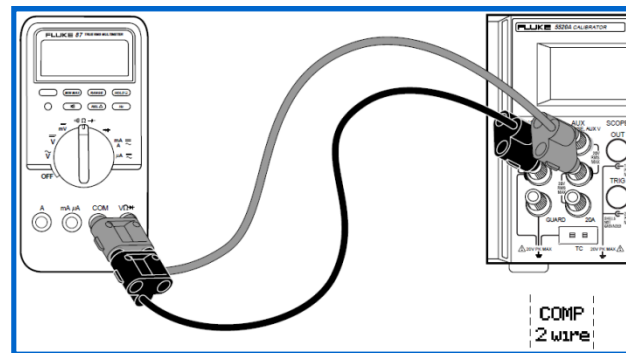


Se requiere realizar las conexiones de compensación para alcanzar la exactitud especificada.

Fluke 5500A



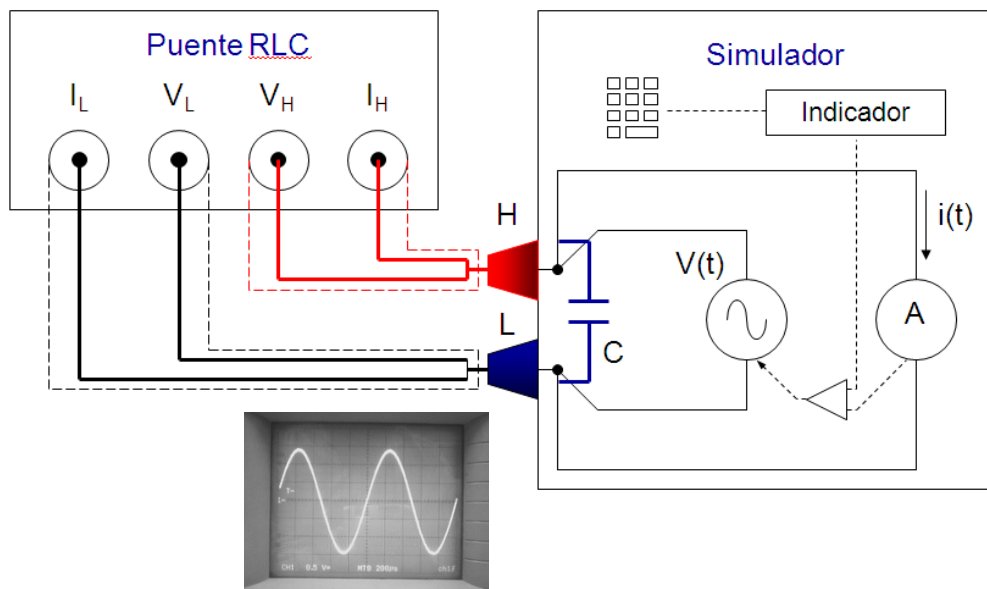
Fluke 5520A



Alcance de medidores de capacitancia

Puentes RLC (señales senoidales):

- Su alcance máximo típico es del orden de 1 mF.
- Su frecuencia de operación mínima típica es de 20 Hz.



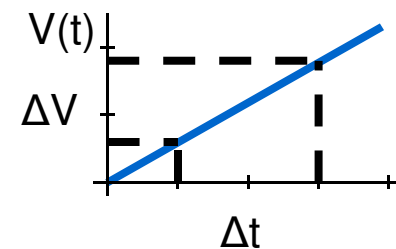
Multímetros (rampas de tensión):

- Su operación alcance máximo puede ser de hasta 100 mF.
- Por su modo de operación, su “frecuencia” mínima puede ser menor a 0.1 Hz.



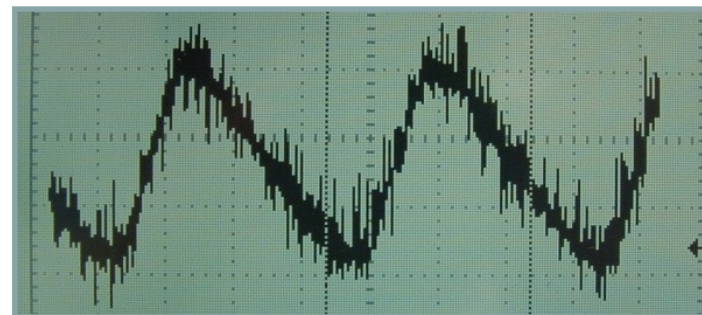
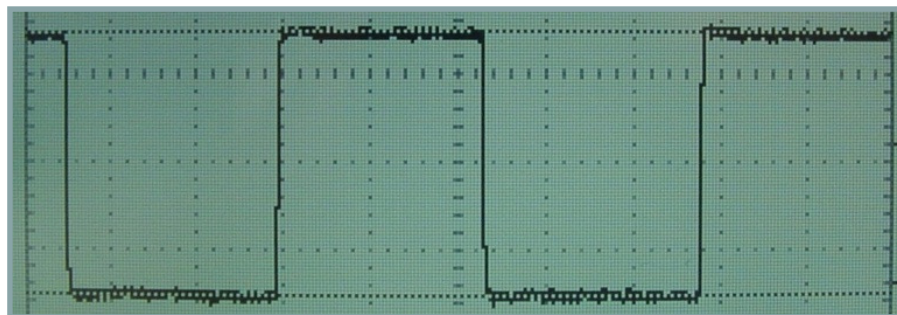
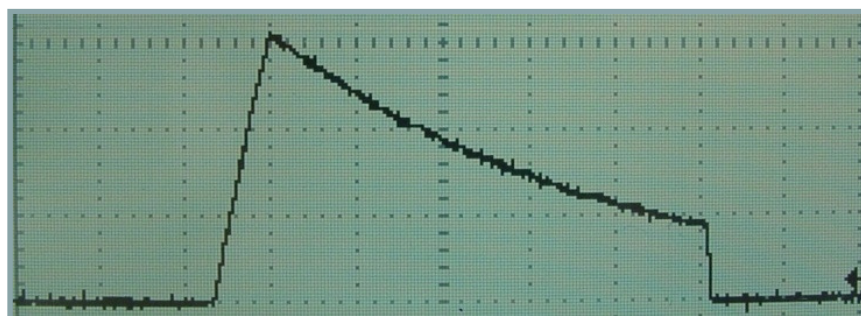
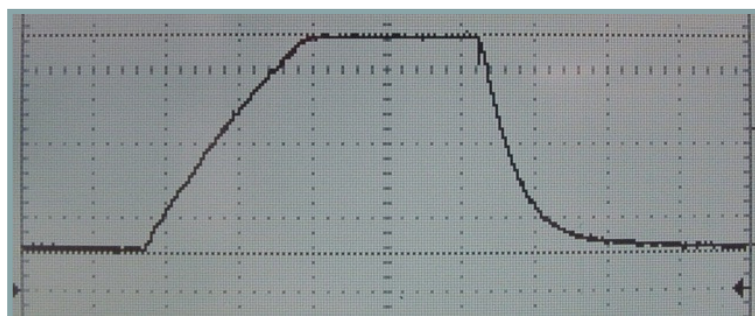
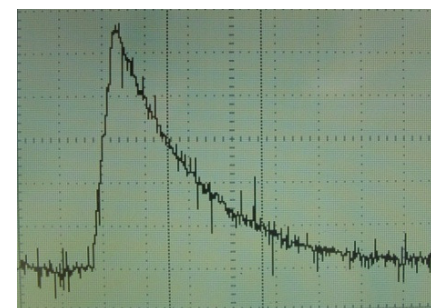
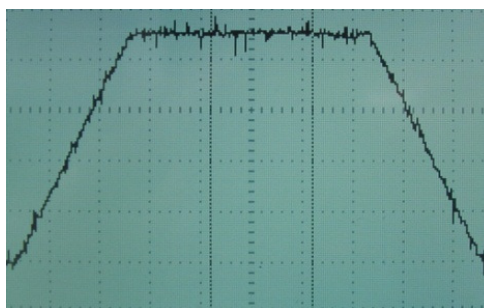
para I constante:

$$V(t) = \frac{I}{C} t$$



entonces: $C = I \frac{\Delta t}{\Delta V}$

Dependiendo del fabricante y modelo la señal puede discrepar.



La pendiente de la rampa depende del valor de capacitancia medido.

Capacitancia	Rampa (V/s)*
10 μ F	0.1 a 14
30 μ F	0.1 a 14
100 μ F	0.1 a 14
300 μ F	0.1 a 10
1 mF	0.1 a 10
3 mF	0.01 a 6
10 mF	0.01 a 6
30 mF	0.01 a 2
100 mF	0.01 a 1

* De acuerdo a un estudio realizado en el CENAM con un grupo limitado de multímetros.

La tensión máxima de la rampa generalmente no rebasa 1 V.

- ***Se encontró un multímetro que provoca rampas de tensión de hasta 4 V.***

Consideraciones generales al calibrar multímetros con el simulador:

- Asegurar no rebasar la frecuencia de operación.
 - Observar la cantidad de lecturas por unidad de tiempo.
 - Emplear osciloscopio.
- Asegurar no rebasar la tensión y corriente máxima de operación.

[2] Specifications apply to both dc charge/discharge capacitance meters and ac RCL meters. The maximum allowable peak voltage is 3 V. The maximum allowable peak current is 150 mA, with an rms limitation of 30 mA below 1.1 μ F and 100 mA for 1.1 μ F and above.

GRACIAS
POR SU
ATENCIÓN
Y
ASISTENCIA

En este documento pueden aparecer marcas comerciales únicamente con fines didácticos.

No implica recomendación o aval del CENAM o de alguna otra institución del Gobierno Federal de México.

No implica que los equipos o materiales sean necesariamente los mejores para el propósito para el que son usados.

El CENAM y las demás instituciones no tienen compromisos con ninguna marca comercial en particular.