



66.02 LABORATORIO

Trabajo Práctico 1: Multímetros

Padrón	Alumno	Dirección de correo
102592	Gandolfo Mariet, Joaquín	jgandolfo@fi.uba.ar
101148	Feijoo, Sofia	sfeijoo@fi.uba.ar
103207	Viñas, Francisco Nicolás	fvinas@fi.uba.ar

Índice

1. Efecto de carga de voltímetros	2
1.1. Algunos conceptos teóricos	2
1.2. Elaboración de conceptos teóricos	2
1.3. Parte experimental	3
1.3.1. Medición con voltímetro analógico	3
1.3.2. Medición con voltímetro digital	4
1.3.3. Conclusiones y observaciones	6
1.3.4. Medición de tensión sobre una resistencia en un circuito divisor de tensión	6
2. Mediciones de resistencias	9
2.1. Algunos conceptos teóricos	9
2.2. Medición de resistencia con el Óhmetro	9
2.2.1. Óhmetro analógico	9
2.2.2. Óhmetro digital	10
2.3. Cuestionario	11
2.4. Conclusión	13
3. Mediciones a la fuente de alimentación	14
3.1. Algunos conceptos teóricos	14
3.2. Medición de la regulación de carga: Método directo	15
3.2.1. Procedimiento	15
3.2.2. Conclusión	16
4. Voltímetros en Corriente Alterna	17
4.1. Algunos conceptos teóricos	17
4.2. Objetivos	18
4.3. Parte a: “Tipos de señales” Vs. “Tipos de Voltímetros”	18
4.3.1. Introducción	18
4.3.2. Procedimiento	18
4.3.3. Conclusión	24
4.4. Parte b: Rango de frecuencias de voltímetros	25
4.4.1. Introducción teórica	25
4.4.2. Conclusiones	25

1. Efecto de carga de voltímetros

1.1. Algunos conceptos teóricos

Se denomina **carga** a cualquier componente de un circuito que ofrece una mayor o menor resistencia al paso de la corriente. Algunos ejemplos de carga son: una resistencia, una lámpara de luz, un motor o la resistencia interna de un instrumento de medición. Al introducir un instrumento en un circuito lo estamos modificando. Por ejemplo, los equipos electrónicos tienen impedancias internas que modifican el circuito a analizar. También los voltímetros, que introducen una resistencia en paralelo. Entonces el valor medido por dicho instrumento utilizado indicará un valor que no es el real. A esto se le llama **efecto de carga**.

Una **fente de alimentación** es un instrumento electrónico que provee en sus bornes de salida tensión continua. El usuario puede fijar la tensión continua de salida en el valor deseado, el rango típico es de 0V a 30V. Se la puede modelizar circuitalmente como *modelo ideal* o *modelo real*. El modelo ideal solo contiene una *fente ideal* mientras que el modelo real contiene una *fente ideal* con una *resistencia en serie* (llamada resistencia interna R_{int}).

La fuente de alimentación convierte a la corriente alterna en una o varias corrientes continuas.

1.2. Elaboración de conceptos teóricos

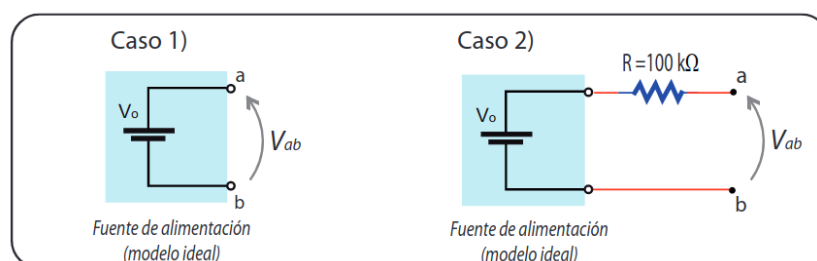


Figura 1: Fuentes ideales

En la figura podemos ver dos modelos ideales de fuente de alimentación. En el segundo caso el circuito cuenta con una resistencia de $100\text{ k}\Omega$ además de la fuente.

En ambos casos el circuito está abierto, por lo que no va a circular corriente. La caída de tensión sobre R en el segundo caso es igual a 0. Y como ambos modelos son ideales, la diferencia de tensión V_{ab} en ambos casos será V_0 .

1.3. Parte experimental

1.3.1. Medición con voltímetro analógico

Para esta medición se usa una fuente de tensión continua ajustada en **10V** y con una impedancia en serie de $0,2\Omega$. Además, se usa un voltímetro analógico *Protek* con las siguientes especificaciones:

- Alcance: $0,6/3/12/60/300/1000V$
- Sensibilidad: $30k\Omega/V$
- Incerteza de clase: $\pm 3\%$
- Resistencia de entrada: $360k\Omega$
- Cantidad de divisiones: 60

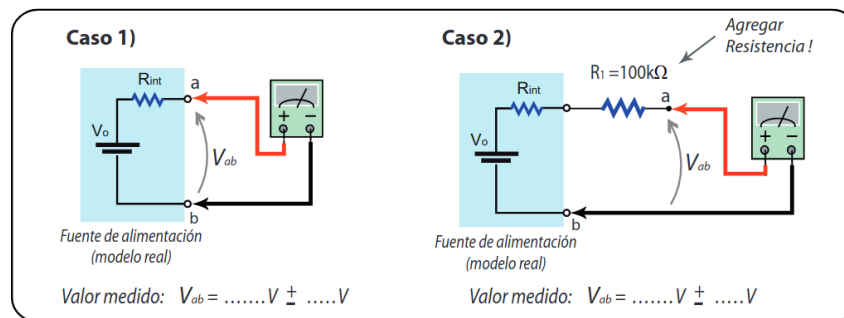


Figura 2: Banco de medición formado por una fuente de alimentación y un voltímetro

Caso 1: En la figura vemos que tenemos una fuente de alimentación con una resistencia interna ($R_{int} = 0,2\Omega$). Además, el voltímetro también tiene una resistencia interna en paralelo que llamaremos R_v . Entonces, el instrumento medirá la caída de tensión sobre R_v y este valor se puede obtener a partir de un divisor de tensión:

$$V_{med} = V_0 \cdot \frac{R_v}{R_v + R_{int}}$$

Empezamos con el rango más alto, es decir $1000V$, y vamos reduciendo el rango mientras sea necesario. Como estamos usando una fuente de $10V$ el valor medido por el instrumento no puede superar ese valor debido al efecto de carga. Entonces vamos a bajar de rango hasta llegar a $12V$. Para este rango, la resistencia interna del voltímetro es: $R_v = 12V \cdot 30k\Omega/V = 360k\Omega$.

Luego, la tensión medida es:

$$V_{med} = V_0 \cdot \frac{R_v}{R_v + R_{int}} = 10V \cdot \frac{360k\Omega}{360k\Omega + 0,2\Omega} = 10,00V$$

La incertidumbre de la medición es:

$$\Delta V = Clase \% + \frac{Min.div.}{4} = 0,03 \cdot 12V + \frac{12V}{60 \cdot 4} = 0,39V$$

Finalmente llegamos que el valor medido con su incertidumbre es:

$$V_{med} = (10,00 \pm 0,39)V$$

Caso 2: En este caso tenemos una resistencia ($R_1 = 100k\Omega$) en serie a la salida de la fuente. Esto implica que la resistencia interna de la fuente esta en serie con la resistencia R_1 . El cálculo es muy similar al caso anterior:

$$V_{med} = V_0 \cdot \frac{R_v}{R_v + R_{int} + R_1}$$

Realizando el mismo procedimiento que para el caso 1, llegamos que el rango adecuado es 12V, entonces obtenemos el siguiente valor:

$$V_{med} = V_0 \cdot \frac{R_v}{R_v + R_{int}} = 10V \cdot \frac{360k\Omega}{360k\Omega + 0,2\Omega + 100k\Omega} = 7,826V$$

Vemos que el valor medido es considerablemente mayor 3V por lo tanto no hay que reducir más el rango.

La incertidumbre de la medición es:

$$\Delta V = Clase \% + \frac{Min.div.}{4} = 0,03 \cdot 12V + \frac{12V}{60 \cdot 4} = 0,39V$$

Finalmente llegamos que para el caso 2 el valor medido con su incertidumbre es:

$$V_{med} = (7,83 \pm 0,39)V$$

1.3.2. Medición con voltímetro digital

Para esta medición se usa una fuente de tensión continua de **10V** y un voltímetro digital con las siguientes especificaciones:

- Alcance:0,04/0,4/4/40/400/1000V
- Incerteza: 0.08 % lectura + 1 dígito
- Resistencia de entrada: 10MΩ

Los valores que se obtendrían con un voltímetro digital se pueden calcular de la misma forma que como vimos en la sección anterior para un voltímetro analógico.

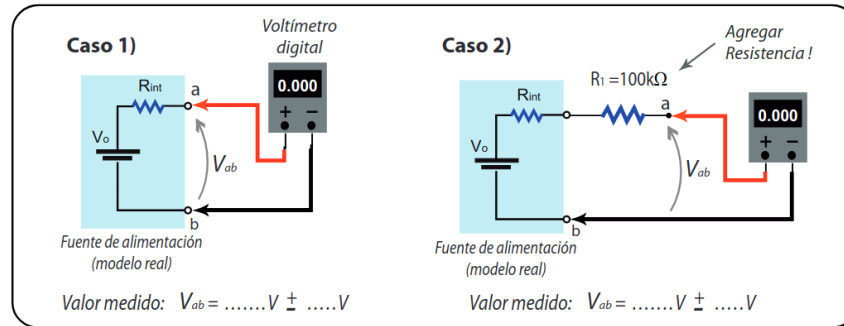


Figura 3: Banco de medición formado por una fuente de alimentación y un voltímetro

Caso 1: En la figura vemos que tenemos una fuente de alimentación con una resistencia interna ($R_{int} = 0,2\Omega$). Además, el voltímetro también tiene una resistencia interna en paralelo que llamaremos R_v . Entonces, el instrumento medirá la caída de tensión sobre R_v y este valor se puede obtener a partir de un divisor de tensión:

$$V_{med} = V_0 \cdot \frac{R_v}{R_v + R_{int}}$$

Empezamos con el rango más alto, es decir 1000V, y vamos reduciendo el rango mientras sea necesario. Como estamos usando una fuente de 10 V el valor medido por el instrumento no puede superar ese valor debido al efecto de carga. Entonces vamos a bajar de rango hasta llegar a 40V. En los voltímetros digitales la resistencia interna es independiente del rango utilizado.

Luego, la tensión medida es:

$$V_{med} = V_0 \cdot \frac{R_v}{R_v + R_{int}} = 10V \cdot \frac{10M\Omega}{10M\Omega + 0,2\Omega} = 10,00V$$

La incertidumbre de la medición es:

$$\Delta V = 0,08\% \text{ lectura} + 1 \text{ dígito} = \frac{0,08}{100} \cdot 10V + 1 \cdot 0,01V = 0,02V$$

Finalmente llegamos que el valor medido con su incertidumbre es:

$$V_{med} = (10,00 \pm 0,2)V$$

Caso 2: En este caso tenemos una resistencia ($R_1 = 100k\Omega$) en serie a la salida de la fuente. Esto implica que la resistencia interna de la fuente está en serie con la resistencia R_1 . El cálculo es muy similar al caso anterior:

$$V_{med} = V_0 \cdot \frac{R_v}{R_v + R_{int} + R_1}$$

Realizando el mismo procedimiento que para el caso 1, llegamos que el rango adecuado es $40V$, entonces obtenemos el siguiente valor:

$$V_{med} = V_0 \cdot \frac{R_v}{R_v + R_{int}} = 10V \cdot \frac{10M\Omega}{10M\Omega + 0,2\Omega + 100k\Omega} = 9,09V$$

Vemos que el valor medido es considerablemente mayor $4V$ por lo tanto no hay que reducir más el rango.

La incertidumbre de la medición es:

$$\Delta V = 0,08\% \text{ lectura} + 1 \text{ dgito} = \frac{0,08}{100} \cdot 9,09V + 1 \cdot 0,01V = 0,02V$$

Finalmente llegamos que para el caso 2 el valor medido con su incertidumbre es:

$$V_{med} = (9,09 \pm 0,39)V$$

1.3.3. Conclusiones y observaciones

A partir de los resultados obtenidos de las mediciones realizadas anteriormente podemos concluir principalmente dos cuestiones:

Primero vemos que tanto para el voltímetro analógico como para el digital, en el caso 2 la resistencia en serie R_1 no afectó a la incertidumbre de las mediciones respecto a las del caso 1. Sin embargo, vemos que sí afectó considerablemente al mensurando. Esto se debe a que al tratarse de instrumentos que no son ideales hay corriente circulando y por lo tanto se produce una caída de tensión sobre la resistencia R_1 que incide a la medición. Este fenómeno afecta en mayor medida al voltímetro analógico porque tiene una resistencia interna menor que el voltímetro digital y entonces circula mayor corriente por R_1 .

Otro punto que podemos deducir a partir de las mediciones es que el voltímetro digital tiene una incertidumbre mucho menor que el voltímetro analógico. Esto se debe a que la resistencia interna del primero es mucho mayor a la del último.

1.3.4. Medición de tensión sobre una resistencia en un circuito divisor de tensión

Se medirá la tensión sobre la resistencia indicada en el circuito divisor de tensión dibujado, con voltímetro digital y analógico por separado.

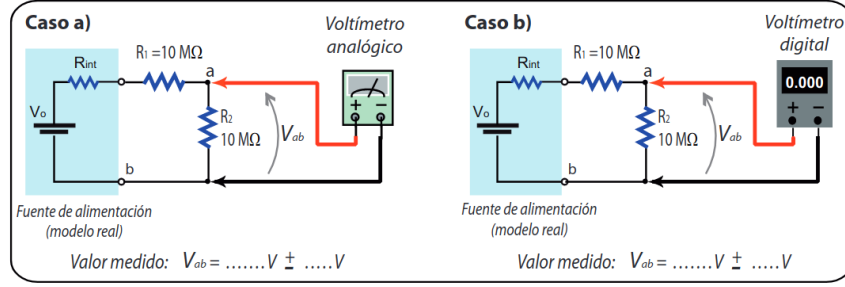


Figura 4: Banco de medición formado por una fuente de alimentación y un voltímetro

Se quiere medir la tensión sobre la resistencia R_2 con un voltímetro digital y uno analógico. En ambos casos, como las resistencias R_1 y R_2 son iguales, dicha caída de tensión vale, teóricamente:

$$V_{R2} = V_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_{int}} \quad (1)$$

Y considerando a la fuente ideal:

$$V_{R2} = V_0 \cdot \frac{1}{2} \quad (2)$$

En la práctica la tensión medida se va a ver afectada por el efecto de carga de los voltímetros, los cuales cuentan con resistencias internas comparables a la magnitud medida.

Si consideramos a la instrumentación usada para las mediciones anteriores, tenemos una fuente de tensión continua ajustada en $10V$ y con una impedancia interna en serie $R_{int} = 0,2\Omega$. Además, tenemos un voltímetro analógico *Protek* que para el alcance de $12V$ tiene una impedancia $R_{va} = 360k\Omega$ y un voltímetro digital con una resistencia de entrada $R_{vd} = 10M\Omega$.

Caso ideal:

$$V_{R2} = V_0 \cdot \frac{1}{2} = 10V \cdot \frac{1}{2} = 5V \quad (3)$$

Como el voltímetro se lo puede pensar como que tiene una resistencia en paralelo, en la práctica lo que sucede es que el voltímetro mide la caída de tensión sobre el paralelo entre R_2 y R_v .

Caso a)

$$V_{R2} = V_0 \cdot \frac{R_2 // R_{va}}{R_1 + R_2 // R_{va} + R_{int}} \quad (4)$$

$$V_{R2} = 10V \cdot \frac{10M\Omega // 0,360M\Omega}{10M\Omega + 10M\Omega // 0,360M\Omega + 0,2\Omega} = 335,8mV \quad (5)$$

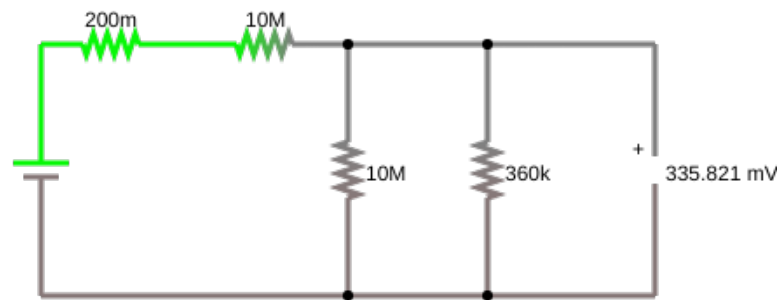


Figura 5: Simulación con un voltímetro analógico

Caso b)

$$V_{R2} = V_0 \cdot \frac{R_2 // R_{vd}}{R_1 + R_2 // R_{vd} + R_{int}} \quad (6)$$

$$V_{R2} = 10V \cdot \frac{10M\Omega // 10M\Omega}{10M\Omega + 10M\Omega // 10M\Omega + 0,2\Omega} = 3,33V \quad (7)$$

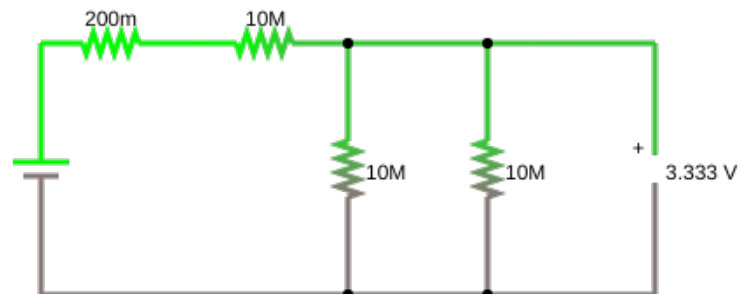


Figura 6: Simulación con un voltímetro digital

2. Mediciones de resistencias

2.1. Algunos conceptos teóricos

Una **resistencia** es una propiedad física que define la oposición de un cuerpo al paso de las cargas eléctricas.

Existen varios métodos de medición de resistencias. Por ejemplo:

- *Medición directa con óhmetro*
- *Medición indirecta (métodos de conexión corta o larga)*
- *Medición con puentes*

2.2. Medición de resistencia con el Óhmetro

Se quieren medir las resistencias de $R_1 = 100\Omega$ y $R_2 = 100k\Omega$ con un óhmetro analógico y con uno digital en el banco de medición de la figura.

El óhmetro funciona como un voltímetro que mide la tensión en la resistencia de valor desconocido, e introduce una corriente constante en dicha resistencia (generalmente de 1mA).

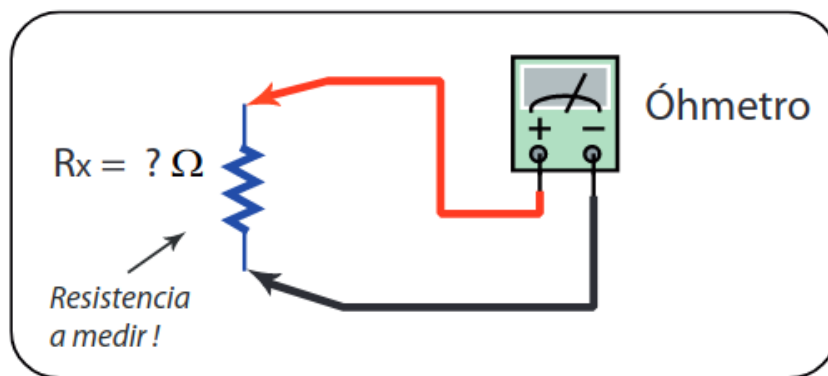


Figura 7: Resistencia a medir

2.2.1. Óhmetro analógico

Para calcular la incertidumbre, es necesario conocer la incertidumbre relativa total ε_T . Esta está compuesta por la suma de la incertidumbre debido a la clase ε_i y la incertidumbre debido a la apreciación ε_a . Donde:

$$\varepsilon_a = \frac{0,25}{N_{div}} \quad (8)$$

$$\varepsilon_i = \varepsilon_c \cdot \frac{\text{Alcance}}{\text{Mensurando}} \quad (9)$$

$$\varepsilon_T = \varepsilon_a + \varepsilon_i \quad (10)$$

Siendo ε_c el error de clase otorgado por el fabricante y habiendo elegido el alcance que mejor se acomode al mensurando.

Además $\Delta R = \varepsilon_T \cdot \text{Mensurando}$, por lo que $R = \text{Mensurando} \pm \Delta R$

Entonces, si utilizamos un instrumento analógico con las siguientes características:

- Alcance = 12V
- Sensibilidad = $30 \frac{k\Omega}{V}$
- Precisión = 3° arc
- Cantidad Divisiones = 60
- Resistencia de Entrada = $360k\Omega$

Vamos a medir $R_1 = (100 \pm 20)\Omega$ y $R_2 = (100 \pm 5)k\Omega$

2.2.2. Óhmetro digital

En el caso de estar utilizando un óhmetro digital no tendremos una incertidumbre de apreciación como en el caso de los analógicos sino que tendremos una incertidumbre instrumental. Esta incertidumbre se expresa como un porcentaje de la lectura y un mínimo de cifras fijas, y es detallada por el fabricante.

Entonces la resistencia medida quedará expresada como $R = \text{Mensurando} \pm \Delta R$ donde

$$\Delta R = \%rdg + dg \quad (11)$$

Si utilizamos un instrumento con las siguientes características:

- Alcance= 200Ω , Incerteza= $0,5\%rdg + 3dgt$
- Alcance= $200k\Omega$, Incerteza = $0,5\%rdg + 1dgt$

Vamos a medir $R_1 = (98,4 \pm 0,8)\Omega$ y $R_2 = (99,7 \pm 0,6)k\Omega$

2.3. Cuestionario

Existen varios métodos para medir resistencias. Por ejemplo:

- Puente de Wheatstone: es un circuito formado por cuatro resistencias (una de ellas es la resistencia incógnita) conectadas creando un circuito cerrado.

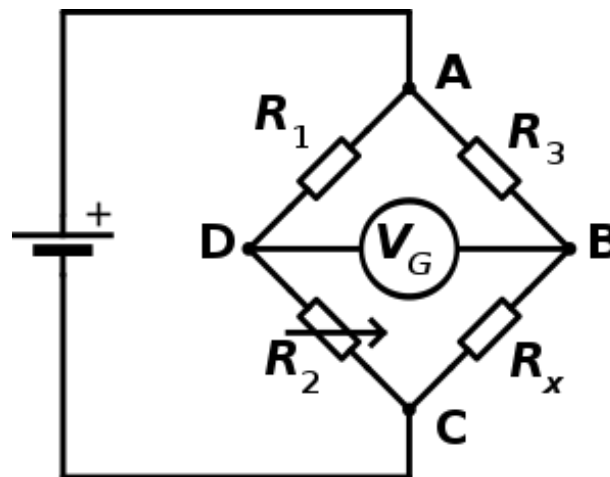


Figura 8: Puente de Wheatstone

- Conexión corta: el circuito consiste en un voltímetro conectado en paralelo a la resistencia a medir, seguido por la conexión de un amperímetro en serie. El amperímetro medirá la corriente que pasa por la resistencia, pero también la corriente que toma el voltímetro. Como consecuencia del error sistemático causado por la "mala" medición del amperímetro, el valor medido será menor que el valor real" (entelequia).

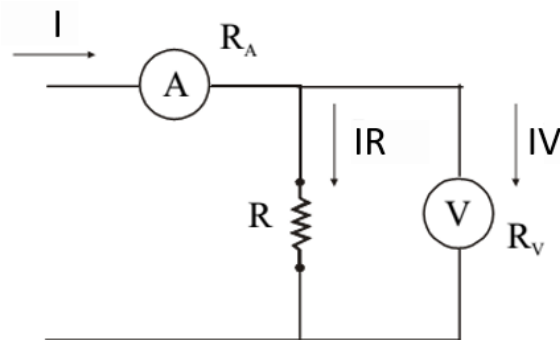


Figura 9: Conexión corta (tensión bien medida)

$$\varepsilon = -\frac{R_M}{R_V} \quad (12)$$

- Conexión larga: se conecta en serie un amperímetro a la resistencia a medir, seguido de un voltímetro en paralelo. El voltímetro mide la tensión en la resistencia más la tensión que cae en el amperímetro, cometiendo así un error sistemático. Decimos que mide por exceso, ya que la mediremos una magnitud mayor a la real de la resistencia.

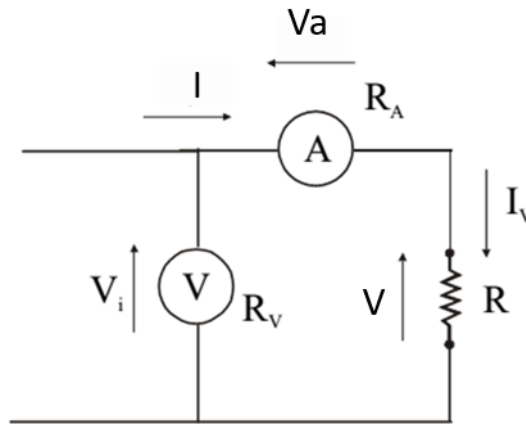


Figura 10: Conexión larga (corriente bien medida)

$$\varepsilon = \frac{R_A}{R_M} \quad (13)$$

Al momento de realizar una medición, se busca que la incertidumbre sea lo menor posible, a partir de los errores ocasionados por la medición a partir de la conexión corta y de la conexión larga, podremos llegar a una muy buena conclusión:

$$\frac{R_A}{R_C} = \frac{R_C}{R_V} \quad (14)$$

$$R^2 = R_A \cdot R_V \quad (15)$$

$$R_{critica} = \sqrt{R_A \cdot R_V} \quad (16)$$

Así es como llegamos al concepto de resistencia crítica, el cual lo definimos como el valor de resistencia donde la incertidumbre para ambos tipos de conexiones es la misma. Si se quieren medir valores de resistencia mayores que esta resistencia crítica, la incertidumbre al usar la conexión larga disminuirá mientras que para la conexión corta aumentará. Lo contrario pasa para resistencias menores a la resistencia crítica, se convierte más conveniente usar la conexión corta que la larga.

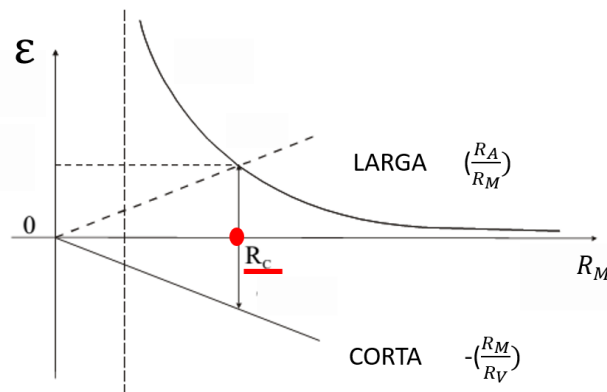


Figura 11: Gráfico de incertidumbres para mediciones de resistencias con conexión corta y conexión larga.

2.4. Conclusión

Teniendo en cuenta todos los métodos que existen para medir resistencias, elegiremos uno u otro dependiendo de cuál sea el error que estamos dispuestos a obtener en la medición. Muchas veces medir con un óhmetro es más que suficiente. Otras veces este instrumento nos resultará poco preciso y optaremos por otro método más complejo pero con menor error. Utilizar los métodos de conexión corta o larga, o el puente de Wheatstone nos brindarán un valor mucho más preciso, pero con un costo: es más trabajoso de realizar.

3. Mediciones a la fuente de alimentación

3.1. Algunos conceptos teóricos

Una **fente de alimentación** es un instrumento electrónico que provee en sus bornes de salida tensión continua. El usuario puede fijar la tensión continua de salida en el valor deseado, el rango típico es de 0V a 30V.

Parámetros de una fuente de alimentación: existen varios parámetros especificados por el fabricante de la fuente de alimentación, por ejemplo:

- Tensión de entrada
- Regulación de carga.
- Rango de tensión de salida.
- Ripple.
- Corriente nominal de salida.
- Etc...

La **regulación de carga** es el porcentaje de la caída de tensión en la salida de una fuente cuando está a plena carga respecto de su tensión de vacío.

$$\eta = \frac{V_0 - V_{pc}}{V_0} \cdot 100 \%$$

Donde:

- V_0 es la tensión de vacío (sin carga)
- V_{pc} es la tensión a plena carga (resistencia mínima)
- I_n es la corriente nominal a plena carga
- I_{cc} es la corriente de corto circuito

La **regulación de carga** es una medida relativa de qué tanto baja la tensión otorgada por la fuente cuando se carga al máximo (es decir, de forma tal que la intensidad de corriente que circula por esta sea la máxima especificada por el fabricante antes de que se pierda la relación de linealidad entre corriente y tensión) respecto de cuando está en vacío. A esta corriente se la llama corriente nominal, y la tensión es la de plena carga. Por otro lado, toda fuente de alimentación se comporta en su funcionamiento respondiendo a una **resistencia interna** en serie. Normalmente su valor es muy pequeño, del orden de la unidad del ohm o menor. Se la puede obtener indirectamente con

$$R_{int} = \frac{V_0 - V_{pc}}{I_n}$$

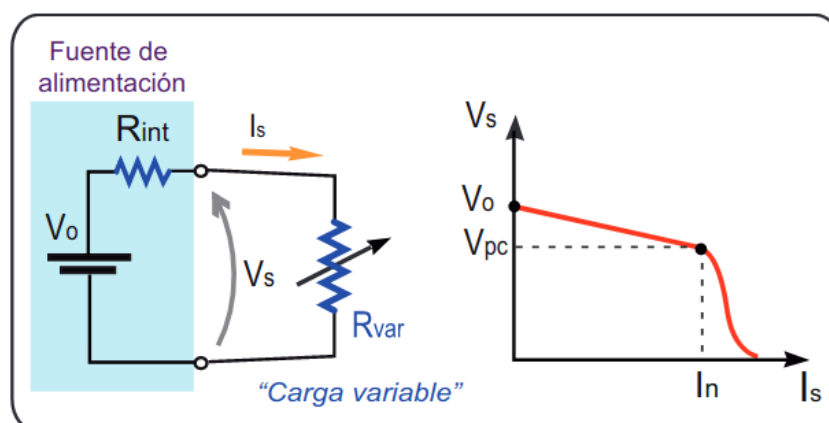


Figura 12: Curva de regulación de carga de una fuente

3.2. Medición de la regulación de carga: Método directo

3.2.1. Procedimiento

1. **Banco de medición:** Se armará el circuito de acuerdo al siguiente esquema:

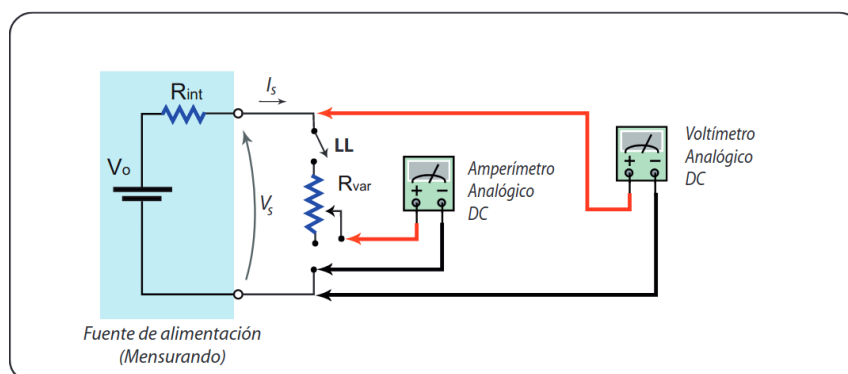


Figura 13: Banco de medición de la regulación de carga por método directo

En dónde:

- V_0 : Tensión de vacío.
- R_{int} : Resistencia interna.
- V_s : Tensión en la salida de la fuente.
- I_s : Corriente de salida de la fuente.
- R_{var} : Resistencia variable de laboratorio

Para estas mediciones se usará una fuente de tensión continua ajustada en 10V, un voltímetro analógico *Protek* cuyas especificaciones se presentaron en la sección 1.3.1 y un amperímetro analógico *KS 803* con las siguientes características:

Alcance	Resolución	Incerteza: (% de lectura + número de dígitos)
$200\mu A$	$0,1\mu A$	$0,8\% + 1$
$2mA$	$1\mu A$	
$20mA$	$10\mu A$	
$200mA$	$100\mu A$	$1,2\% + 1$
$10A$	$10mA$	$5\% + 5$

2. Tensión del vacío: Primero medimos la tensión de salida con el interruptor LL abierta, es decir, en vacío. El valor obtenido es V_0 .

Debido a que la impedancia de la fuente es considerablemente menor que la resistencia interna del voltímetro el valor medido es prácticamente idéntico al ideal, es decir $V_0 = 10V$.

3. Valores a medir: Cerramos la llave LL y medimos los distintos valores de tensión y corriente variando la resistencia R hasta que la corriente indicada por el amperímetro sea la adoptada como nominal (alrededor de $100mA$), verificando que no está trabajando en la zona de protección de la fuente. Suponiendo que se encontró a partir de estas mediciones que la corriente nominal es $I_n = 108mA$, es decir que mientras que la corriente sea menor a $108mA$ se puede observar un comportamiento lineal entre la corriente y la tensión. En esta condición, medimos el valor de la tensión que llamamos V_{pc} . Supongamos que medimos $V_{pc} = 8,73V$.

Sabemos que el valor de regulación está dado por la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{V_0 - V_{pc}}{V_0} \cdot 100\% = \frac{10V - 8,73V}{10V} \cdot 100\% = 12,7\%$$

Además podríamos obtener la resistencia interna de la fuente:

$$R_{int} = \frac{V_0 - V_{pc}}{I_n} = \frac{10V - 8,73V}{108mA} = 11,8\Omega$$

3.2.2. Conclusión

Podemos ver que al cargar la fuente, la tensión entregada disminuye. Esto sucede porque a mayor corriente, mayor es la caída de tensión sobre la resistencia interna de la fuente y esto afecta directamente a la tensión entregada. La regulación de carga indica, en términos relativos, cuanto cayó la tensión a plena carga comparado con la tensión de vacío. Nos permite ver para que valores de corriente la fuente se comporta como esperamos.

4. Voltímetros en Corriente Alterna

4.1. Algunos conceptos teóricos

Existen varias **señales** periódicas usadas en electrónica. Por ejemplo:

1. *Senoidal*
2. *Cuadrada*
 - *Con ciclo de trabajo 50 %*
 - *Con ciclo de trabajo $\neq 50 \%$*
3. *Triangular*
4. *Diente de sierra*
5. *De disparo*

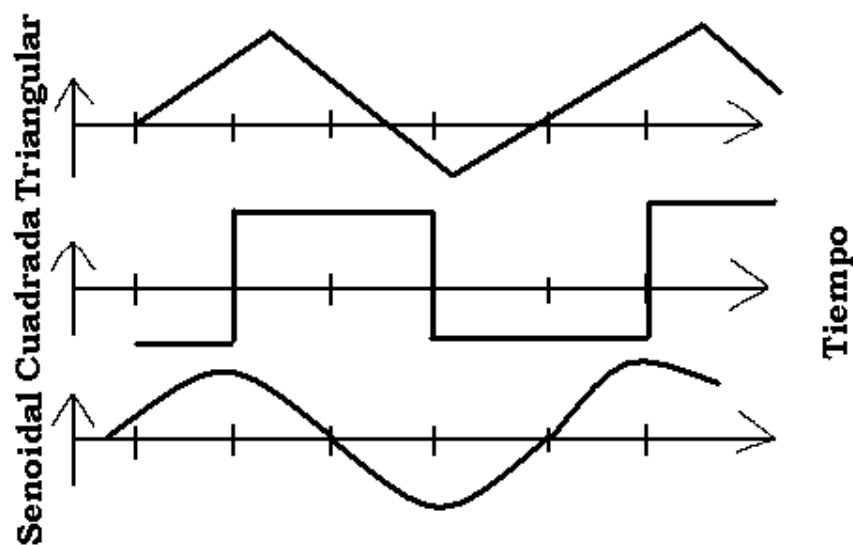


Figura 14: Distintos tipos de señales

También existen varios tipos de **voltímetros AC** según el parámetro de la señal periódica medido. Por ejemplo:

1. *Voltímetro de valor medio analógico (VOM)*
2. *Voltímetro de valor verdadero eficaz digital (TRUE RMS)*
3. *Voltímetro de valor medio digital (DVM)*

4.2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo práctico es familiarizarse con el uso de los diferentes multímetros funcionando como voltímetros. El buen uso del instrumento implica conocer todas sus especificaciones, impedancia de entrada, alcances, incertidumbres, resolución y rango de frecuencias de utilización, para lo cual debemos contar en todo momento con el manual de cada instrumento.

La práctica se desarrollará en dos partes:

- **Parte a):** Una primera parte en la que mediremos diferentes formas de onda con todos los tipos de multímetros utilizados, verificando las diferencias de lectura y con el valor teórico y su relación con el principio de funcionamiento del instrumento.
- **Parte b):** En la segunda parte se analizarán los rangos de frecuencia del voltímetro.

4.3. Parte a: “Tipos de señales” Vs. “Tipos de Voltímetros”

4.3.1. Introducción

Mediremos la tensión entre los puntos A y B con los tres multímetros estudiados, utilizando la escala que proporcione la mejor lectura, tanto en Modo CC como en modo CA.

4.3.2. Procedimiento

La salida de 50Ω del generador de funciones se conecta por medio de un cable BNC-Cocodrilo como se muestra en la Figura 15, a un resistor de 47Ω y por medio de la punta adecuada a la entrada del osciloscopio. Usamos el resistor de carga, para mantener adaptado el generador.

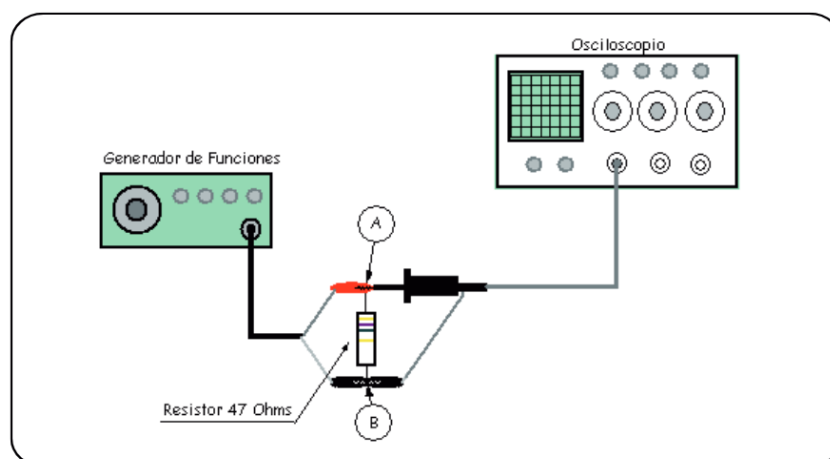


Figura 15: Banco de medición

Con el generador de funciones se puede generar la forma de onda deseada, verificándola en un osciloscopio. Luego se observa lo que mide el voltímetro.

Se miden tres formas de onda: cuadrada, senoidal y triangular.

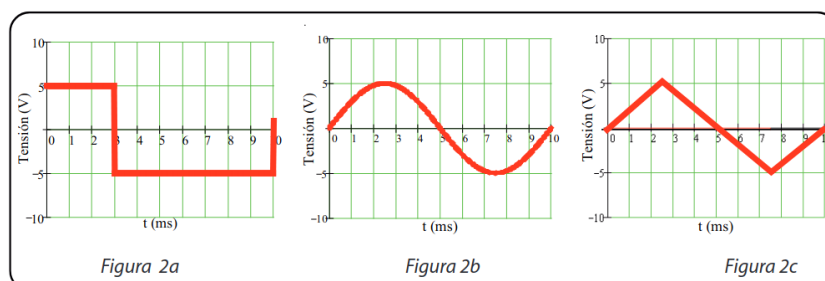


Figura 16: Señales

Onda Cuadrada: Ajustamos el control de ancho de pulso (duty cycle) de manera de obtener un 30 % aproximadamente y el control de amplitud hasta lograrla señal de la figura 16 parte a, mientras que la frecuencia que usaremos es 100 Hz.

1. Voltímetro de valor medio analógico (VOM)

El voltímetro analógico tiene diodo que rectifica la onda, existen voltímetros de onda completa y de media onda. Supongamos que estamos usando un voltímetro de onda completa. La onda rectificada sería una tensión constante de 5V. Por lo tanto, el valor medio es 5V. Como el instrumento está calibrado para onda senoidal, el valor indicado es el valor medio multiplicado por el factor de forma (ff), que en el caso de onda completa es **1,11**.

$$V_{indicado} = V_{medio} \cdot ff = 5V \cdot 1,11 = 5,55V$$

2. Voltímetro de valor verdadero eficaz digital (TRUE RMS)

Los voltímetros digitales tienen un capacitor que bloquea la continua. La onda cuadrada que estamos analizando tiene un valor medio de $-2V$, entonces luego de bloquear la continua la onda sería la misma pero desplazada $2V$. Lo siguiente que hace este tipo de instrumento es rectificar, como resultado tenemos una onda como la de la figura 17.

Luego, el valor indicado está dado por la siguiente expresión:

$$V_{RMS(AC)} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot Area[v^2(t)]} = \sqrt{\frac{1}{10} \cdot [7^2 \cdot 3 + 3^2 \cdot 7]} = \sqrt{21}V = 4,583V$$

3. Voltímetro de valor medio digital (DVM)

Al tratarse de un voltímetro digital el procedimiento es similar al visto para el voltímetro de valor verdadero eficaz digital. El instrumento bloquea la continua y rectifica,

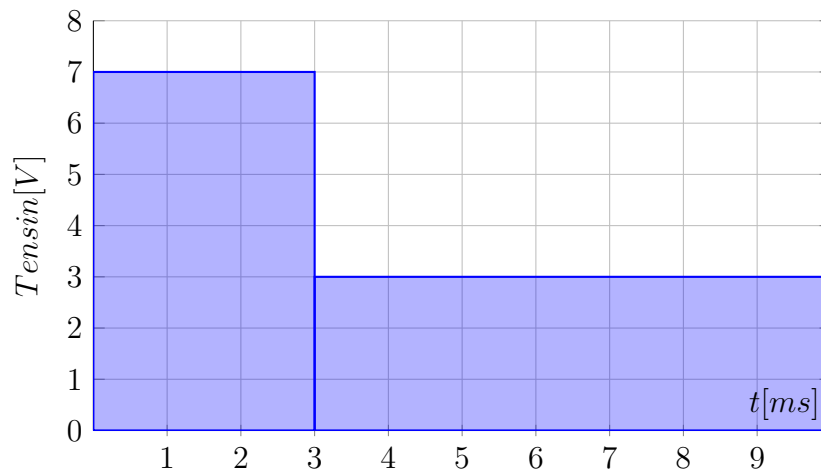


Figura 17: Onda cuadrada después de bloquear la continua y rectificar

por lo tanto la onda resultante es como la que muestra la figura 17. El voltímetro de valor medio, como sugiere el nombre, calcula el valor medio de la onda de la figura, esto es:

$$V_{medio} = \frac{Area[v(t)]}{T} = \frac{7 \cdot 3 + 3 \cdot 7}{10} V = 4,2V$$

Y luego, multiplica el valor medio por el factor de forma correspondiente. En este caso estamos usando un voltímetro de onda completa por lo tanto el valor indicado es:

$$V_{indicado} = V_{medio} \cdot ff = 4,2V \cdot 1,11 = 4,662V$$

Onda senoidal: Con la misma frecuencia anterior, pasamos el selector de forma de onda, a senoidal y ajustamos el control de simetría a la posición inactiva, para obtener una senoide simétrica como la observada en la figura 16 parte b.

1. Voltímetro de valor medio analógico (VOM)

El voltímetro analógico tiene diodo que rectifica la onda, existen voltímetros de onda completa y de media onda. Supongamos que estamos usando un voltímetro de onda completa. La onda rectificada sería como muestra la figura 18. El valor medio de una onda senoidal rectificada y completa se puede obtener a partir de la siguiente fórmula:

$$V_{medio} = \frac{2}{\pi} \cdot V_{pico} = \frac{2}{\pi} \cdot 5V = 3,183V$$

Como el instrumento está calibrado para onda senoidal, el valor indicado es el valor medio multiplicado por el factor de forma (ff), que en el caso de onda completa es **1,11**.

$$V_{indicado} = V_{medio} \cdot ff = 3,183V \cdot 1,11 = 3,533V$$

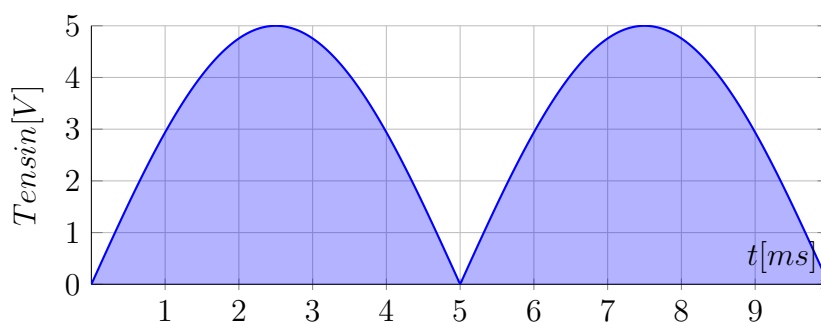


Figura 18: Onda senoidal rectificada

2. Voltímetro de valor verdadero eficaz digital (TRUE RMS)

Los voltímetros digitales tienen un capacitor que bloquea la continua. La onda senoidal que estamos analizando está centrada en el eje X, entonces no tiene componente continua. Lo siguiente que hace este tipo de instrumento es rectificar, como resultado tenemos una onda como la de la figura 18.

El valor indicado por el instrumento está dado por la siguiente expresión:

$$V_{RMS(AC)} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot Area[v^2(t)]}$$

$$Area[v^2(t)] = \int_0^T (5 \cdot \text{sen}(\frac{\pi}{5}x))^2 dx = 125$$

Entonces,

$$V_{RMS(AC)} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot Area[v^2(t)]} = \sqrt{\frac{1}{10} \cdot 125} = 3,536V$$

3. Voltímetro de valor medio digital (DVM)

Al tratarse de un voltímetro digital el procedimiento es similar al visto para el voltímetro de valor verdadero eficaz digital. El instrumento bloquea la continua y rectifica. Como vimos anteriormente, la onda no tiene componente continua, entonces después de rectificar obtenemos una onda como la que muestra la figura 18. El voltímetro de valor medio, como sugiere el nombre, calcula el valor medio de la onda de la figura, esto es:

$$V_{medio} = \frac{2}{\pi} \cdot V_{pico} = \frac{2}{\pi} \cdot 5V = 3,183V$$

Y luego, multiplica el valor medio por el factor de forma correspondiente. En este caso estamos usando un voltímetro de onda completa por lo tanto el valor indicado es:

$$V_{indicado} = V_{medio} \cdot ff = 3,183V \cdot 1,11 = 3,533V$$

Vemos que como la onda no tiene componente continua el valor indicado es el mismo que para un voltímetro analógico. Esto es porque la única diferencia en el procedimiento de estos dos es que el digital bloquea la continua y el analógico no.

Onda triangular: Ajustamos el selector de forma de onda a triangular y sin modificar los demás controles, obtenemos la forma de onda indicada en la figura 16 parte c.

1. Voltímetro de valor medio analógico (VOM)

El voltímetro analógico tiene diodo que rectifica la onda, existen voltímetros de onda completa y de media onda. Supongamos que estamos usando un voltímetro de onda completa. La onda rectificada sería como muestra la figura 19. El valor medio de una onda triangular rectificada y completa se puede obtener de la siguiente forma:

$$V_{medio} = \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{5 \cdot 5}{2} + \frac{5 \cdot 5}{2} \right) = 2,5V$$

Como el instrumento está calibrado para onda senoidal, el valor indicado es el valor medio multiplicado por el factor de forma (ff), que en el caso de onda completa es **1,11**.

$$V_{indicado} = V_{medio} \cdot ff = 2,5V \cdot 1,11 = 2,775V$$

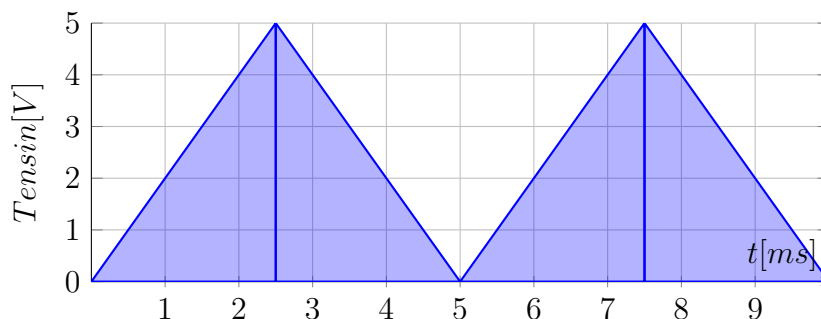


Figura 19: Onda triangular rectificada

2. Voltímetro de valor verdadero eficaz digital (TRUE RMS)

Los voltímetros digitales tienen un capacitor que bloquea la continua. La onda triangular que estamos analizando está centrada en el eje X, entonces no tiene componente continua. Lo siguiente que hace este tipo de instrumento es rectificar, como resultado tenemos una onda como la de la figura 19.

El valor indicado por el instrumento está dado por la siguiente expresión:

$$V_{RMS(AC)} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot Area[v^2(t)]}$$

Podemos pensar que el área bajo la curva está dada por 4 triángulos de base 2,5 y alto 5 entonces el área total sería la suma de las 4 áreas de estos 4 triángulos.

$$Area[v^2(t)] = 4 \cdot \int_0^{2,5} (2x)^2 dx = 83,33$$

Entonces,

$$V_{RMS(AC)} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot Area[v^2(t)]} = \sqrt{\frac{1}{10} \cdot 83,33} = 2,887V$$

3. Voltímetro de valor medio digital (DVM)

Al tratarse de un voltímetro digital el procedimiento es similar al visto para el voltímetro de valor verdadero eficaz digital. El instrumento bloquea la continua y rectifica. Como vimos anteriormente, la onda no tiene componente continua, entonces después de rectificar obtenemos una onda como la que muestra la figura 19. El voltímetro de valor medio, como sugiere el nombre, calcula el valor medio de la onda de la figura, esto es:

$$V_{medio} = \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{5 \cdot 5}{2} + \frac{5 \cdot 5}{2} \right) = 2,5V$$

Y luego, multiplica el valor medio por el factor de forma correspondiente. En este caso estamos usando un voltímetro de onda completa por lo tanto el valor indicado es:

$$V_{indicado} = V_{medio} \cdot ff = 2,5V \cdot 1,11 = 2,775V$$

Este caso es similar al de la onda senoidal, en cuanto a que como la onda no tiene componente continua el valor indicado es el mismo que para un voltímetro analógico. Esto es porque la única diferencia en el procedimiento de estos dos es que el digital bloquea la continua y el analógico no.

4.3.3. Conclusión

A partir de estas mediciones se pueden obtener varias conclusiones. En primer lugar, si tenemos una onda sin componente continua los valores obtenidos con un voltímetro digital de valor medio y un voltímetro analógico de valor medio son iguales. Hay que tener en cuenta que los voltímetros analógicos tienen una resistencia interna menor que los digitales, entonces en la práctica no necesariamente se van a obtener valores exactamente iguales. Además tendríamos una incertidumbre mayor en los voltímetros analógicos por este mismo motivo.

Otra conclusión que se puede sacar es que si la onda no es senoidal vamos a tener un error sistemático (excepto con el True RMS). Tomando al valor obtenido con el instrumento True RMS como el más cercano a la realidad podemos analizar el error que tienen los otros instrumentos. En el caso de la onda cuadrada el True RMS nos indica 4,583V, el voltímetro analógico de valor medio nos indica 5,55V y el DVM nos indica 4,662V. Luego, los errores relativos de estos últimos dos instrumentos son:

$$\epsilon_{VOM} = \frac{4,583V - 5,55V}{4,583V} \cdot 100\% = -21,1\%$$

$$\epsilon_{DVM} = \frac{4,583V - 4,662V}{4,583V} \cdot 100\% = -1,72\%$$

Vemos que el voltímetro analógico tiene un error relativo mucho mayor al digital por no bloquear la continua. Además los dos tienen un error sistemático debido a que multiplican por un factor de forma correspondiente a una senoidal cuando en realidad estamos trabajando con una onda cuadrada.

En el caso de la onda senoidal los valores indicados por los instrumentos son muy parecidos porque usamos un factor de forma adecuado para una senoidal y la onda analizada no tiene componente continua.

$$\epsilon_{VOM} = \frac{3,533V - 3,536V}{3,533V} \cdot 100\% = -0,08\%$$

$$\epsilon_{DVM} = \frac{3,533V - 3,536V}{3,533V} \cdot 100\% = -0,08\%$$

Por último, la onda triangular tiene el mismo problema que la onda cuadrada: el factor de forma corresponde a una senoidal y no a una triangular. Por este motivo tenemos un error sistemático. Sin embargo, a diferencia de la onda cuadrada, no tenemos componente continua.

$$\epsilon_{VOM} = \frac{2,887V - 2,775V}{2,887V} \cdot 100\% = 3,88\%$$

$$\epsilon_{DVM} = \frac{2,887V - 2,775V}{2,887V} \cdot 100\% = 3,88\%$$

Finalmente, podemos concluir que si vamos a usar un instrumento de valor medio para medir una onda que no sea senoidal, tenemos que tener en cuenta que hay un error sistemático. y que se puede corregir multiplicando por el factor de forma que corresponde y dividiendo por el factor de forma de la senoidal.

4.4. Parte b: Rango de frecuencias de voltímetros

4.4.1. Introducción teórica

Si bien en los cálculos que realizamos de manera teórica la frecuencia de las señales analizadas no influye en los resultados obtenidos, sí es importante tenerla en cuenta cuando utilizamos instrumentos reales los cuales tienen resultados confiables únicamente en un cierto rango de frecuencias.

Cada voltímetro indica valores de tensión con cierta incertidumbre especificada por el fabricante según el tipo de voltímetro. Por ejemplo, un cierto voltímetro analógico tiene una incertidumbre que viene dada por su clase y el alcance en el que está siendo utilizado. Si este voltímetro es de clase 3 y se utiliza un alcance de 10V, trabajaremos con una incertidumbre de 0,1V. Pero esta incertidumbre no será constante sino que dependerá de la frecuencia. Si estamos dentro del rango de frecuencias indicado por el instrumento, nos encontraremos en la llamada región plana y la incertidumbre estará muy cercana a esos 0,1V. A medida que nos alejemos de esta región, la incertidumbre se alejará de este valor.

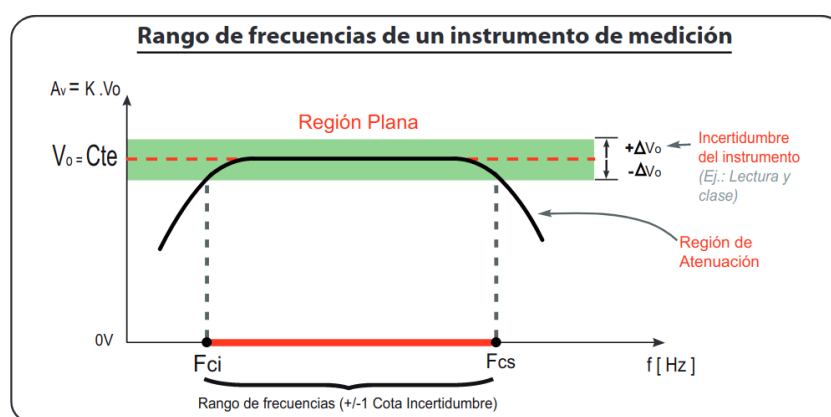


Figura 20: Rango de frecuencias

4.4.2. Conclusiones

Además de todos los tipos de incertidumbres y errores con los que nos encontramos al realizar mediciones con instrumentos reales, se suma el rango de frecuencias sobre el cual funciona el mismo.

Mientras tengamos en consideración la frecuencia de la onda a medir y verifiquemos que esté dentro del rango del instrumento, podremos confiar en el valor medido. En cambio, si intentamos medir una onda que tiene una frecuencia mucho mayor o mucho menor, el

valor medido probablemente esté muy alejado del valor real y la medición no nos servirá en absoluto.