
CIRCUÍTOS DE CORRENTE CONTINUA

Docencia de laboratorio, Grao en enxeñería Civil e Robótica. EPSE de Lugo. USC.

Neste experimento analizaremos varios circuitos de corrente continua con distintas configuracións e elementos pasivos. A parte analítica da experimento complementarase coas medidas realizadas co polímetro e cunha placa Arduino.

Índice

1. Obxectivos	3
2. Material dispoñible no laboratorio	3
3. Material que debe traer o alumno	3
4. Fundamentos teóricos	3
4.1. Magnitudes de interese en análise de circuítos	4
4.2. Leis fundamentais en teoría de circuítos	4
4.2.1. Lei de Ohm	4
4.2.2. Lei de Joule	4
4.2.3. Leis de Kirchhoff	5
4.3. Teoría básica de circuítos	6
4.3.1. Método de mallas	6
4.3.2. Teorema de Thèvenin	8
4.3.3. Teorema de máxima transferencia de potencia (TMTP)	8
5. Parte experimental	8
5.1. Asociación de resistencias	9
5.2. Determinación de curvas características	9
5.3. Análise dun circuítos polo método das mallas	12
5.4. Equivalente de Thèvenin e máxima transferencia de potencia	12
A. Placa de inserción	14
B. Descrición do polímetro	14
C. Medida de resistencias co polímetro	16
D. Medida de tensión co polímetro	16
E. Medida de intensidades co polímetro	17
F. Arduino como voltímetro	18

1. Obxectivos

- Medir as magnitudes características de distintas asociacións de resistencias.
- Determinar experimentalmente as curvas características de elementos lineais e non lineais.
- Analizar un circuíto polo método mallas e realizar as comprobacións experimentais.
- Entender a equivalencia proposta polo teorema de Thèvenin sobre un circuíto e como determinar os parámetros característicos experimentalmente.
- Adquirir o coñecemento para medir as magnitudes de interese nos circuítos empregando un polímetro e unha placa Arduino.

2. Material dispoñible no laboratorio

- Fontes de alimentación de corrente continua.
- Placa de inserción.
- Polímetro ou multímetro.
- Clasificador coas compoñentes pasivas (resistencias, díodo, potenciómetro) e pontes condutoras.
- Placa Arduino Mega e un ordenador.
- Manuais dos aparellos instrumentais e programas (.ino e .py) necesarios.

3. Material que debe traer o alumno

- Guión da práctica, lapis e papel.
- Un pendrive (por comodidade pero non obrigatorio).

4. Fundamentos teóricos

A teoría de circuítos foi desenvolvida independentemente da teoría de campos baseándose nas leis experimentais de Ohm e aplicando os principios de conservación da carga e da enerxía (leis de Kirchhoff). Aínda que é posible aplicar as ecuacións de Maxwell a circuítos simples, a súa complexidade fai inviable o procedemento, que por outra banda, trátanse con relativa facilidade mediante a *teoría de circuítos*.

Basicamente, á hora de analizar circuítos, estamos interesados en determinar para cada elemento tres magnitudes: diferenza de tensión, intensidade que o cruza e potencia aportada/consumida. Para iso, recorreremos ás leis fundamentais desta teoría: lei de Ohm, lei de Joule, leis de Kirchhoff.

4.1. Magnitudes de interese en análise de circuítos

- **Enerxía potencial eléctrica (U):** é a enerxía que posúe unha carga q por estar nunha determinada posición no espazo onde existe un campo eléctrico conservativo. Baixo esta premisa, o traballo necesario (W_{ab}) para mover a carga q dende un punto a , con potencial V_a ata outro punto b , con V_b será:

$$\Delta U_{ab} = W_{ab} = q\Delta V_{ab} \rightarrow (Xulios).$$

- **Voltaxe ou tensión :** é o traballo, por unidade de carga, necesario para desprazar unha carga positiva entre dous puntos (a e b) baixo a acción dun campo eléctrico conservativo:

$$V_{ab} = - \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{\Delta U_{ab}}{q} \rightarrow (Voltios).$$

- **Intensidade de corrente eléctrica (I):** é todo movemento de carga neta que atravesa unha determinada superficie, A , por unidade de tempo:

$$I = \frac{dQ}{dt} \rightarrow (Amperios).$$

- **Potencia eléctrica:** disipada/aportada por un elemento dun circuítos é o traballo por unidade de tempo:

$$P = \frac{W_{ab}}{dt} = \frac{\Delta U_{ab}}{dt} = \Delta V_{ab} \frac{dq}{dt} = \Delta V_{ab} I \rightarrow (Watios).$$

4.2. Leis fundamentais en teoría de circuítos

4.2.1. Lei de Ohm

A lei de Ohm macroscópica establece unha relación constante entre a diferenza de potencial, V , aplicada aos extremos dun condutor e a intensidade que por el circula:

$$V = IR. \quad (1)$$

A constante R chámase resistencia eléctrica do condutor e é unha característica intrínseca de cada material e determina o seu comportamento eléctrico.

A curva que se obtén para cando se representa a intensidade que o atravesa fronte a diferenza de potencial existente nos seus extremos coñécese co nome de **curva característica** do condutor. Se esta curva é unha liña recta verifica a lei de Ohm e polo tanto, a súa pendente é $1/R$. Este caso especial de materiais lineais coñécese co nome de *elementos óhmicos*. Non obstante, existe un gran número materiais que non verifican esta lei e a súa resistencia non é constante o que nos leva a unha curva característica distinta dunha recta (díodo, unha lámpada comercial de filamento de tungsteno, etc.). Este tipo de elementos coñécese como *non lineais* ou non óhmicos.

4.2.2. Lei de Joule

Sabemos que a presenza de corrente eléctrica nun condutor real leva aparelado un proceso disipativo de enerxía froito das continuas colisións dos portadores móbiles de carga cos restos atómicos fixos.

Sabemos que o traballo necesario para desprazar carga dq dende un punto con potencial V_1 ao outro de potencial V_2 , o campo eléctrico externo debe realizar un traballo que ven dado por, $V = V_1 - V_2$, este traballo vén dado por:

$$dW = dq(V_1 - V_2) = dqV_{12}. \quad (2)$$

Tendo en conta que o elemento de carga dq é parte dunha corrente I que circula polo condutor, podemos escribir que $dq = Idt$; polo que o diferencial de traballo realizado polo campo poderá expresarse como:

$$dW = IVdt. \quad (3)$$

En consecuencia, o ritmo temporal co que se realiza este traballo, que coincidirá coa potencia $P = dW/dt$, disipada en forma de calor na resistencia, virá dado por (lei de Joule):

$$P = IV = I^2R = V^2/R. \quad (4)$$

4.2.3. Leis de Kirchhoff

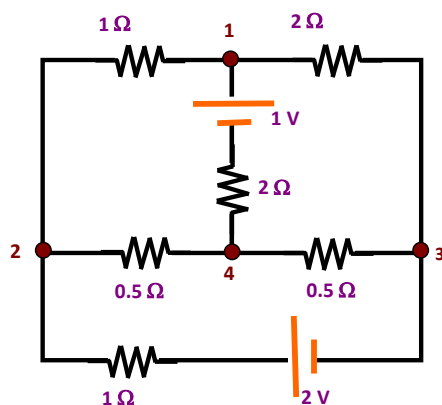


Figura 1: Exemplo de rede eléctrica.

Para abordar o estudo dun circuío eléctrico de corrente continua, con elementos activos e pasivos, dispostos segundo unha topoloxía máis ou menos complexa, chamada **rede** (Figura 1), imos a introducir os seguintes conceptos:

1. **Nó:** é todo punto onde concorren tres ou máis condutores. Na rede da figura anterior corresponden os puntos etiquetados dende o 1 ao 4.
2. **Tramo ou rama:** é a porción de condutores, cos seus elementos correspondentes en serie, comprendido entre dous nós consecutivos. Son ramas, no exemplo proposto, os tramos 1 – 2, 1 – 3, 1 – 4, 2 – 4, 4 – 3, e 2 – 3.
3. **Malla:** é un circuío pechado, formado por unha sucesión de ramas, de xeito que partindo dun punto e seguindo un mesmo sentido de percorrido pódese volver a el pasando unha soa vez por cada tramo. Son mallas os camiños 1 – 2 – 4 – 1, 1 – 4 – 3 – 1, 2 – 3 – 4 – 2.

As leis de Kirchhoff que imos a enunciar vannos a permitir determinar as intensidades das correntes que circulan polos distintos tramos da rede, cando se conectan as fontes de tensión (forzas electromotrices: f.e.m.) aos distintos elementos que conforman o circuíto (resistencias, motores, etc.)

1. **A lei dos nós** (conservación da carga): A suma das intensidades que chegan a un nó é igual á suma das intensidades que saen del, ou ben, consideramos positivas as entrantes e negativas as saíntes,

$$\sum_i I_i = 0. \quad (5)$$

Para cada nó da rede haberá unha ecuación deste tipo.

2. **A lei de Mallas** (conservación da enerxía): Nunha malla, a suma alxébrica das forzas electromotrices (f.e.m.) e das forzas contraelectromotrices (f.c.e.m.) é igual a suma das caídas de potencial nas resistencias (incluíndo as resistencias internas dos xeradores e dos motores),

$$\sum_i \varepsilon_i = \sum_i I_i \cdot R_i. \quad (6)$$

Para cada unha das mallas da rede existirá unha destas ecuacións nas que é moi importante decatarnos da importancia que teñen os signos para cada un dos elementos, e polo tanto, é preciso seguir un convenio similar ao seguinte:

1. Coñecido o sentido da intensidade en cada rama (ou suposto), a f.e.m. dun xerador será *positiva* se a intensidade entra no mesmo polo borne negativo e sae polo positivo.
2. Calquera que sexa o sentido da intensidade, a forza contraelectromotriz (f.c.e.m.) dun motor considerárase sempre como una f.e.m. *negativa*.
3. Tamén, independentemente do sentido da intensidade, as caídas de potencial nas resistencias consideráranse sempre positivas.

Para rematar, quero chamar a túa atención sobre o feito de que todas as ecuacións de nós e mallas que podemos escribir, para unha rede eléctrica, *non son todas linealmente independentes*. Polo tanto, se para un circuíto hai N nós e T ramas, o número de ecuacións independentes é:

$$n = T - (N - 1) = T - N + 1 \quad (7)$$

4.3. Teoría básica de circuítos

4.3.1. Método de mallas

A aplicación das leis de Kirchhoff á resolución de redes resulta, en xeral, bastante laboriosa. Por iso, imos a dar un método de análise de redes baseado no cálculo matricial que permite un fácil formulación e unha resolución automática. Para maior facilidade ímolo a desenrolar sobre a rede da Figura 2.

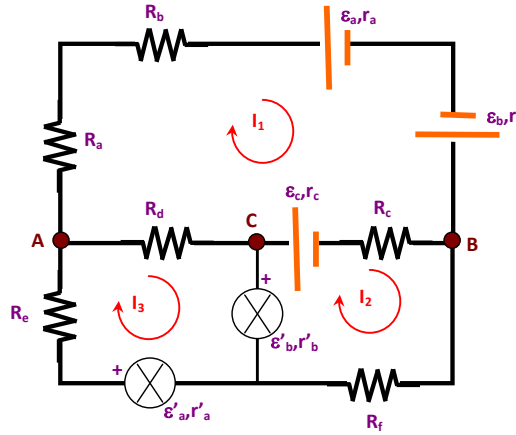


Figura 2: *Circuíto de corrente continua.*

O procedemento é o seguinte:

1. Determinamos o número de incógnitas da rede. Na que nos sirve de exemplo, ten 6 ramas e 4 nós, logo o número de incógnitas é $n = 6 - 4 + 1 = 3$.
2. Elíxense tantas mallas como incógnitas temos. Nós tomamos as mallas sinaladas cos números 1, 2 e 3.
3. Consideramos, en principio, que cada malla é percorrida por unha única intensidade ficticia I_i (chamada corrente de malla), dándolle un sentido (dextróxiro ou levóxiro) **igual** para todas as I_i (Figura 2). Se unha rama pertence a dúas mallas, a súa intensidade é a suma alxébrica das mesmas. Por exemplo, o tramo BC é $I_1 - I_2$.
4. A suma alxébrica de todas as f.e.m. e f.c.e.m. da malla i , a representaremos por ε_i . Así, por exemplo, na malla 1: $\varepsilon_1 = \varepsilon_b + \varepsilon_c - \varepsilon_a$; na malla 2: $\varepsilon_2 = -\varepsilon_c - \varepsilon'_b$ e na 3: $\varepsilon_3 = -\varepsilon'_a + \varepsilon'_b$.
5. A suma de todas as resistencias que pertencen a unha malla i , chamarémolas R_i e a suma das comúns á malla i e á j , R_{ij} . Por exemplo, $R_2 = R_c + R_f + r_c + r'_b$ e $R_{23} = r'_b$.

Tendo en conta esta notación podemos escribir as ecuacións de malla:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= I_1 R_1 + (I_1 - I_2) R_{12} + (I_1 - I_3) R_{13}, \\ \varepsilon_2 &= I_2 R_2 + (I_2 - I_3) R_{23} + (I_2 - I_1) R_{21}, \\ \varepsilon_3 &= I_3 R_3 + (I_3 - I_1) R_{31} + (I_3 - I_2) R_{32}.\end{aligned}\tag{8}$$

Reordenando termos:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= I_1 (R_1 + R_{12} + R_{13}) - I_2 R_{12} + I_3 R_{13}, \\ \varepsilon_2 &= -I_1 R_{21} + I_2 (R_2 + R_{21} + R_{23}) - I_3 R_{23}, \\ \varepsilon_3 &= -I_1 R_{31} + I_2 R_{32} + I_3 R_{33}.\end{aligned}\tag{9}$$

A partir destas ecuacións pasamos facilmente a notación matricial (punto de partida deste método) e resolvemos o sistema de ecuacións lineais mediante o método de Cramer.

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{11} & -R_{12} & -R_{13} \\ -R_{21} & R_{22} & -R_{23} \\ -R_{31} & -R_{32} & R_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix}.\tag{10}$$

4.3.2. Teorema de Thèvenin

Se temos unha rede (calquera combinación de elementos activos e pasivos) con dous terminais de saída que alimente a unha resistencia de carga R_L , e nos interesa analizar o seu comportamento fronte a variacións de R_L , o procedemento que coñecemos (bacharelato) consiste en aplicar as ecuación de malla e resolvelas para cada valor de R_L . Isto conduce a un procedemento *pesado* dado que as ecuacións repetiríanse salvo o valor R_L . Este problema pode ser resolto facilmente mediante o teorema de Thèvenin. O obxectivo desta proposición é buscar un **circuíto equivalente** de calquera rede lineal e substituíla por un xerador de tensión máis unha resistencia en serie, como se indica na seguinte (Figura 3).

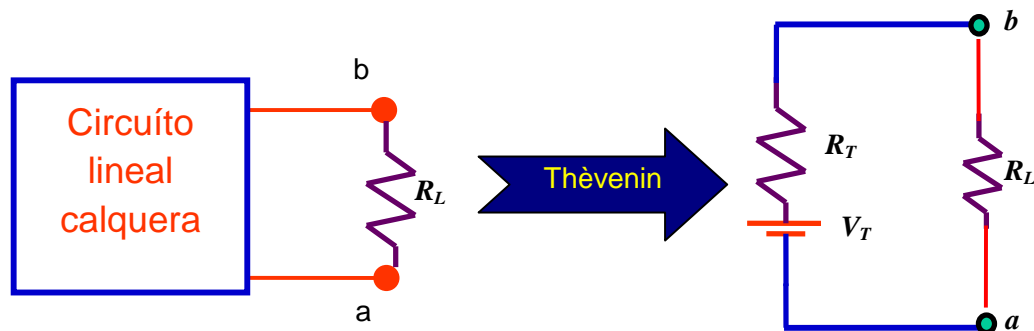


Figura 3: *Equivalente de Thèvenin dun circuíto.*

O valor de V_T é a tensión que se obtén nos terminais de saída A e B en **circuíto aberto** (sen que este conectada R_L). O valor de R_T é o da resistencia equivalente da rede, vista dende os terminais AB, pero sen as fontes de enerxía independentes (equivale a cortocircuitar as fontes de tensión. Pregunta ao teu profesor por isto!).

4.3.3. Teorema de máxima transferencia de potencia (TMTP)

Consideremos unha rede activa lineal de dous terminais que subministre enerxía eléctrica a unha carga variable exterior R_L . A pregunta é: canto debe valer R_L para que a potencia aportada pola rede sexa máxima? A resposta ven dada polo TMTP, que establece que para unha máxima cesión de potencia, a carga exterior debe ser *igual a resistencia equivalente de Thèvenin da rede* ($R_L = R_T$).

5. Parte experimental

Esta experiencia está composta dunha serie de proxectos relacionados que o alumnos debe completar ao longo da sesión de laboratorio.

No último apéndice, explícase como empregar unha placa Arduino como voltímetro, así como a circuitería exterior necesaria para protección de sobretensións. Nos proxectos propónselle ao alumnos onde debe empregar este instrumental, pero o alumno pode decidir libremente ampliar o uso deste recurso naquelas partes que o considere oportuno. Valoráranse *moi positivamente* os esforzos realizados no laboratorio.

5.1. Asociación de resistencias

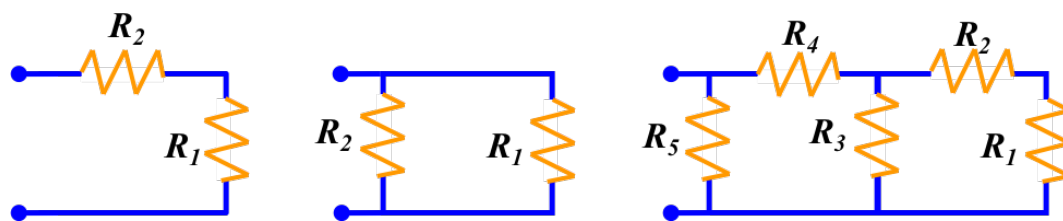


Figura 4: *Distintas asociacións de resistencias.*

Neste apartado trátase de achar a resistencia equivalente de tres agrupacións de resistencias amosadas na Figura 4.

1. Selecciona cinco resistencias con valores inferiores a $10\text{ k}\Omega$ do teu clasificador. Mide os valores empregando o polímetro e logo empregando o código de cores (busca en Internet esta codificación). Constrúe unha táboa para comprar os valores obtidos e determina o erro para cada método. Comenta o que consideres oportuno tendo en conta as incertezas determinadas.
2. Calcula teoricamente os valores da resistencia equivalente de cada agrupación amosada na Figura 7 tendo en conta os valores medidos co polímetro. Logo, monta sobre a placa de inserción cada asociación de resistencias a e mide co polímetro o valor experimental da resistencia equivalente (non pode haber fontes de alimentación conectadas!).
3. Conecta unha fonte de tensión coa mesma forza electromotriz (5 V) en cada asociación de resistencias. Mide co polímetro os valores da intensidade e da tensión en cada elemento do circuío. Emprega táboas para amosar os resultados experimentais de cada montaxe e os teóricos obtidos (emprega só a lei de Ohm e as regras de asociación de resistencias).
4. En que tipo de asociación se consume máis potencia? Analiza os teus resultados anteriores para dar unha resposta xustificada.
5. Cos resultados anteriores, e solo para a asociación de resistencias de 5 elementos, demostra que se cumpren as dúas leis de Kirchhoff (nós e mallas). Podemos afirmar que a potencia aportada pola fonte é igual á disipada nas resistencias? Xustifica con datos a túa resposta.
6. Seguimos coa asociación de cinco resistencias, se mido a diferenza de potencial entre os extremos da fonte e a intensidade que a cruza, o cociente obtido con que debe coincidir?

5.2. Determinación de curvas características

Na primeira parte deste proxecto imos a montar un circuío resistivo (coa topoloxía que estimes oportuna) alimentado cunha fonte tensión regulable (empregaremos o rango entre $0\text{ V} - 5\text{ V}$). O obxectivo perseguido é determinar cal é a relación existente entre a tensión entre os extremos da asociación resistiva e a intensidade total que a atravesa. Para isto, seguiremos a seguinte estratexia:

1. Move o control de tensión de modo que exista unha diferenza de potencial de 0,2 V entre os extremos da resistencia R_{eq} do circuíto. Mide co polímetro a tensión e a intensidade entre os extremos da resistencia equivalente.
2. Repite os pasos anteriores para 10 tensións distintas (non superar os 5 V) e introduce os datos nunha folla Excel para representar os valores de V_{tot} fronte os de I_{tot} .
3. Ten unha tendencia lineal a gráfica anterior? Se é así, fai un axuste por mínimos cadrados.
4. Cal é o valor da pendente e con que magnitude do circuíto a podemos asociar?
5. Dirías que este experimento ten unha metodoloxía semellante ao que levou a cabo Ohm cando determinou a súa lei ou, polo contrario, non ten nada que ver?

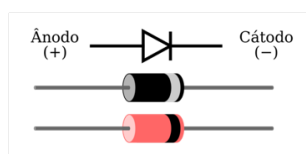


Figura 5: Símbolo diodo e elementos reais para identificar ánodo (para longa do dispositivo) e cátodo.

Na segunda parte, imos a repetir a experimentación anterior pero cambiaremos os elementos resistivos por un diodo. Estes elementos soamente permiten o paso de corrente nun único sentido (dende ánodo a cátodo Figura 5) e as súas características son:

- Existe unha tensión de limiar e é a que se necesita para que se inicie o paso de corrente a través do diodo. Unha vez iniciada a conduction, a tensión no diodo practicamente queda constante pero a corrente pode alcanzar valores elevados.
- Non existe unha relación de proporcionalidade directa entre a tensión e a corrente.

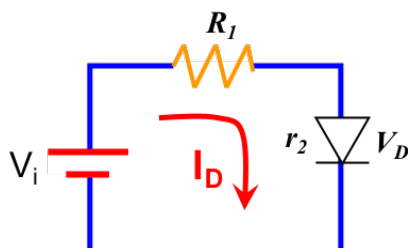


Figura 6: Montaxe dun diodo.

O circuíto que imos precisar no experimento amósase na Figura 6. Imos a empregar un diodo LED, que son dispositivos que emiten luz cando unha corrente eléctrica os atravesa, ou un diodo rectificador 1N4007 que non emite luz e soporta maiores intensidades. Todos os diodos teñen unhas especificacións determinadas polo fabricante e que debemos ter en conta cando os polarizamos en directa (determinar o valor da resistencia que colocamos en serie) para que os valores de V_D e I_D non superen os limiares especificados. Imos a seguir os seguintes pasos:

1. Determina a tensión máxima de alimentación (V_i) do circuíto no que vas instalar o díodo. No noso caso, está establecido polo valor máximo da fonte que imos a empregar, é dicir, $V_i = 5\text{ V}$.
2. A caída de tensión para LED vermellos e verdes é de $V_D \sim 2,5\text{ V}$ e para azuis e brancos é $V_D \sim 4\text{ V}$. Para díodos 1N4007 o $V_D \sim 0,7\text{ V}$.
3. A corrente máxima soportada polo LED vermello é $I_D \sim 20\text{ mA}$. A do 1N4007 é de $I_D \sim 1\text{ A}$ pero nesta práctica queremos que dispe unha potencia máxima de $\sim 2,5\text{ mW}$.
4. En función do dispositivo empregado, o valor da resistencia R_1 que precisamos para cumprir as especificacións do fabricante ($V_D \sim 0,7\text{ V}$):

$$R_1 = \frac{V_i - V_D}{I_D}$$

5. Elixes unha resistencia con valor nominal igual ou maior ao resultado calculado anteriormente.

A metodoloxía experimental:

- Obter a curva característica do díodo (representación de I_D fronte a V_D) baixo polarización directa. Para iso, debes montar o circuíto da Figura 6.
- Variando a tensión de entrada $V_i \in \{0, 0,18, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 1, 2, 3, 4, 5\}$, mide a tensión que soporta o díodo entre os seus terminais V_D , así como a corrente que circula por el I_D .
- Cambia a polaridade do díodo e repite o paso anterior para os valores de $V_i \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$.
- Representar graficamente os valores de I_D vs V_D .
- A partir da gráfica, determina o rango de valores entre os que se encontrará a tensión de limiar do díodo.
- Compórtase o díodo acorde á lei de Ohm?
- Supón que a fonte de tensión do laboratorio dera un valor fixo de $V_i = 5\text{ V}$ (non se pode cambiar). Podería empregar un potenciómetro, en disposición de partidor de tensión, para cambiar o voltaxe á entrada ao circuíto e poder levar a cabo o experimento do paso anterior? Discute co teu compañeiro como levalo a cabo e móntao sobre a placa de inserción. Comproba co polímetro que está a funcionar segundo o previsto. Tamén podes empregar a placa Arduino, en configuración voltímetro (apéndice F), para visualizar a sinal de voltaxe variable de saída en función do valor do potenciómetro.

5.3. Análise dun circuíto polo método das mallas

1. Monta sobre a placa de ensamblaxe o circuíto da Figura 7 empregando dúas fontes de tensión, unha de 12 V (a da esquerda do circuíto ou fonte 1) e outra de 5 V (a da dereita ou fonte 2) e anota os valores das resistencias que empregues (comproba o seu valor co polímetro).

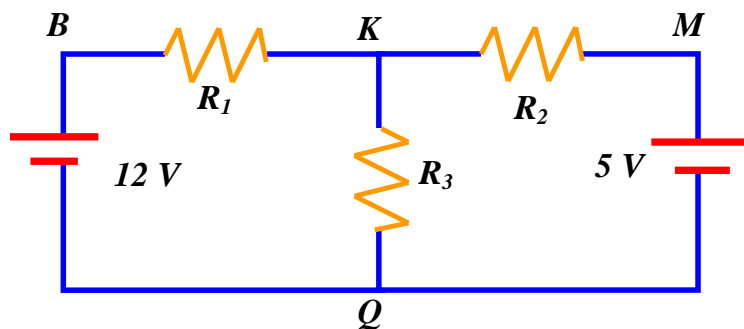


Figura 7: *Circuíto que empregaremos nesta experiencia.*

2. Resolve teoricamente o circuíto anterior aplicando as polo método das mallas. Se che gusta programar, fai programa en python para obter a solución en función do valores das resistencias (ou Excel).
3. Discute cos teus compañeiros como deseñar unha metodoloxía para medir os valores relevantes do circuíto: V_{BK} , V_{MK} , V_{KQ} , V_{BQ} , V_{MQ} e as correntes de cada rama: I_1 , I_2 , I_3 . Verifícase a 2ª lei de mallas para cada unha das existentes no circuíto?
4. Debuxa o circuíto marcando a polaridade (+ ou –) nos extremos de cada resistencia como se deduce das medidas realizadas. Verifícase a lei de Ohm para cada elemento do circuíto?
5. Acha as potencias cedidas e disipadas no circuíto. Deben coincidir, en valor absoluto, ámbalas dúas potencias?

5.4. Equivalente de Thèvenin e máxima transferencia de potencia

Neste subproxecto mediremos experimentalmente o equivalente Thévenin dun circuíto divisor de tensión, visto dende os puntos A e B (Figura 8).

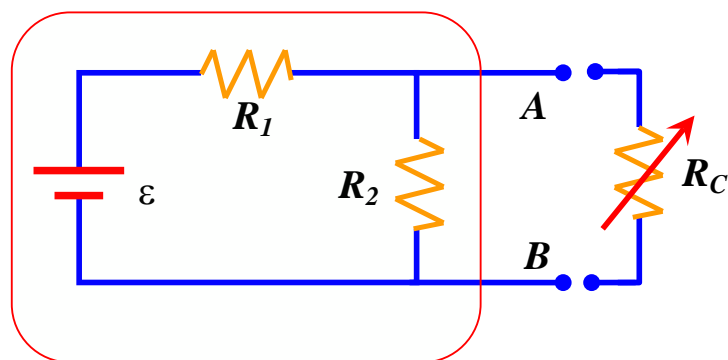


Figura 8: *Divisor de tensión.*

1. Monta o circuío (pechado por un rectángulo vermello na figura anterior) anotando os valores de ε , R_1 e R_2
2. Acha (para os puntos A e B) o equivalente Thévenin (resistencia de Thévenin, R_T e tensión de Thévenin, V_T) da rede montada.
3. Pensade como podedes medir experimentalmente os valores de V_T e R_T co polímetro. Comenta co profesor a vosa estratexia antes de implementala.
4. No circuío anterior, coloca un potenciómetro, resistencia de carga (R_C), entre os puntos A e B. Mide a tensión V_{AB} e a intensidade I_{RC} que pasa por R_C . Repite este paso para dez valores de R_C (por encima e por debaixo do valor R_T) recollendo os datos nunha táboa que empregarás para representar a potencia disipada na resistencia de carga.
5. Simula mediante ©Microsoft Excel (ou similar) o comportamento teórico e representa na mesma gráfica os valores experimentales. Que podemos concluir destas curvas?
6. Emprega a placa Arduino para visualizar os valores da tensión en R_C .

Referencias

- [1] Jesús Fraile-Mora, *Circuitos Eléctricos*. Ed. Pearson, 2012.
- [2] Fdez-Vidal, Xosé R., *Apuntamentos para a materia de Física II*. Universidade de Santiago de Compostela, 2018.

A. Placa de inserción

Na Figura 9 a) amosamos unha placa de inserción sobre a que montaremos os circuítos no laboratorio. Figura 9 b) amosamos a conexión interna dos diferentes puntos de contacto dunha placa de inserción (en modelos diferentes poden variar lixeiramente). Na Figura 9 c) Expoñemos exemplos de colocación **incorrecta** de compoñentes e Figura 9d) de exemplos de colocación **correcta** de compoñentes.

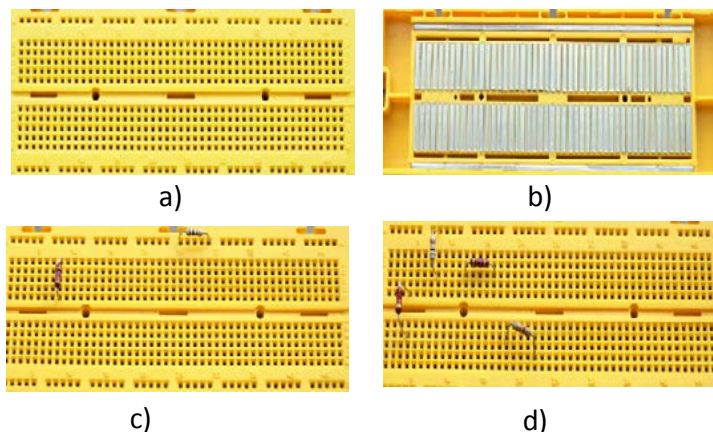


Figura 9: Placa de inserción e colocación de elementos.

B. Descrición do polímetro

O polímetro da Figura 10 é similar ao que atoparás no laboratorio. Á dereita hai un conmutador que selecciona se as medidas se farán en corrente continua (DC), ou en corrente alterna (AC). Neste último caso, na pantalla amosaranse valores eficaces.

Se se desexa medir tensións, o selector central se xirase cara a parte V , e escollese un rango de escala axeitado. A sonda de medición negra conectarase ao porto común (COM), e a vermella á clavixa marcada cunha V . No caso representado na figura, como a tensión é $1,753\text{ V}$, escolleremos a escala 2 V que indica que se poden medir tensións de ata 2 V . Se coa tensión $1,753\text{ V}$ se intentara medir na escala de 200 mV non aparecería en pantalla, pois a medida é superior ao máximo (200 mV). Se se selecciona a escala de 20 V , poderase seguir medindo, pero perderemos algún dígito de precisión. En xeral, escollese a escala *máis pequena* na que sexa posible medir.

Se se desexa medir intensidades, colócase o selector central en A , e a sonda vermella conéctase na clavixa “mA/A”. Moita precaución nesta posición, pois calquera despiste pode inutilizar o amperímetro. Non deixar nunca o polímetro nesta posición, salvo para o preciso momento da medida de intensidade.

Na posición indicada por ohm (Ω) permite medidas directas de resistencia eléctrica, e o aparello funciona como un ohmímetro, que se utiliza simplemente conectando as puntas aos extremos da resistencia e a lectura fornece o valor da resistencia en cuestión.

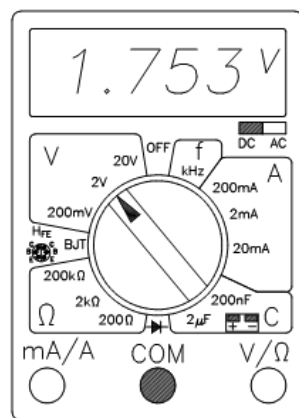


Figura 10: *Elementos dun polímetro xenérico.*

As escalas de medida poden ser alteradas mellorando a precisión do resultado.

Ademais, o polímetro representado permítenos capacidades de condensadores (C), a frecuencia dunha sinal (f), a “beta” dun transistor bipolar (hFE), ou a tensión umbral dun díodo con estratexias de medida similares as indicadas anteriormente.

Cando empregamos un multímetro dixital para facer medidas debemos decatarnos que cometemos un erro asociado a cada medición, logo a pregunta é: como podemos calcular a incerteza cometida en cada unha das medidas que fago no con este aparello? Neste caso, a incerteza absoluta ven dada pola suma de dous erros: o da precisión do aparato, especificado pola clase do aparato e o erro cometido debido ás limitacións de saída en pantalla dos datos.

- erro debido a clase ou a precisión: A forma de achalo debe vir no manual do aparello, polo que é aconsellable ler detidamente as características técnicas previamente o seu uso. Normalmente, correspóndese cun porcentaxe do valor lido en pantalla, se ben isto depende de cada aparello de medida, podendo variar segundo a escala utilizada, a magnitude de medida, etc. No caso dos polímetros empregados no laboratorio de física son de clase **A** ou precisión 1,5 % e especificanos o erro absoluto como unha porcentaxe do valor medido. Por exemplo, para unha lectura dun amperímetro de clase 1,5 de valor 4,57 A, a incerteza será:

$$\Delta i = \frac{1,5}{100} 4,57 = 0,07 \text{ A.} \quad (11)$$

- erro debido a lectura en pantalla: Este erro débese a que a saída en pantalla realízase cun número limitado de díxitos, o cal supón que o aparello de medida debe realizar un redondeo no último díxito. Por exemplo, un amperímetro cunha pantalla de 3 díxitos para un valor real da intensidade de 4,5632 A marcará 4,56 A. Se o valor real fose 4,5672 A marcaría 4,57 A. Neste exemplo o erro de redondeo é de $\pm 0,01 \text{ A}$.

Polo tanto, a incerteza absoluta nun aparello dixital é a de ambas medidas, a debida a precisión do aparello e a debida á lectura en pantalla. Para os datos manexados no exemplo anterior, o erro absoluto do amperímetro é de $\Delta A = 0,07 + 0,01 = 0,08$, resultando unha medida de $4,56 \pm 0,08 \text{ A}$.

C. Medida de resistencias co polímetro

Para medir o valor dunha resistencia co polímetro deberemos seleccionar o **modo óhmetro** e conectar directamente os dous cables a cada un dos terminais da resistencia, sen importar cal (Figura 11) .

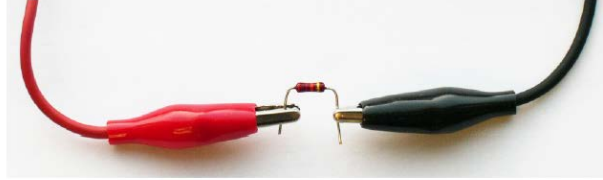


Figura 11: Colocación dos terminais do polímetro para medir unha resistencia.

D. Medida de tensión co polímetro

A medida da diferenza de potencial existente entre dous puntos dun circuíto realízase conectando en **paralelo** o polímetro e seleccionando o **modo voltímetro** (Figura 12).

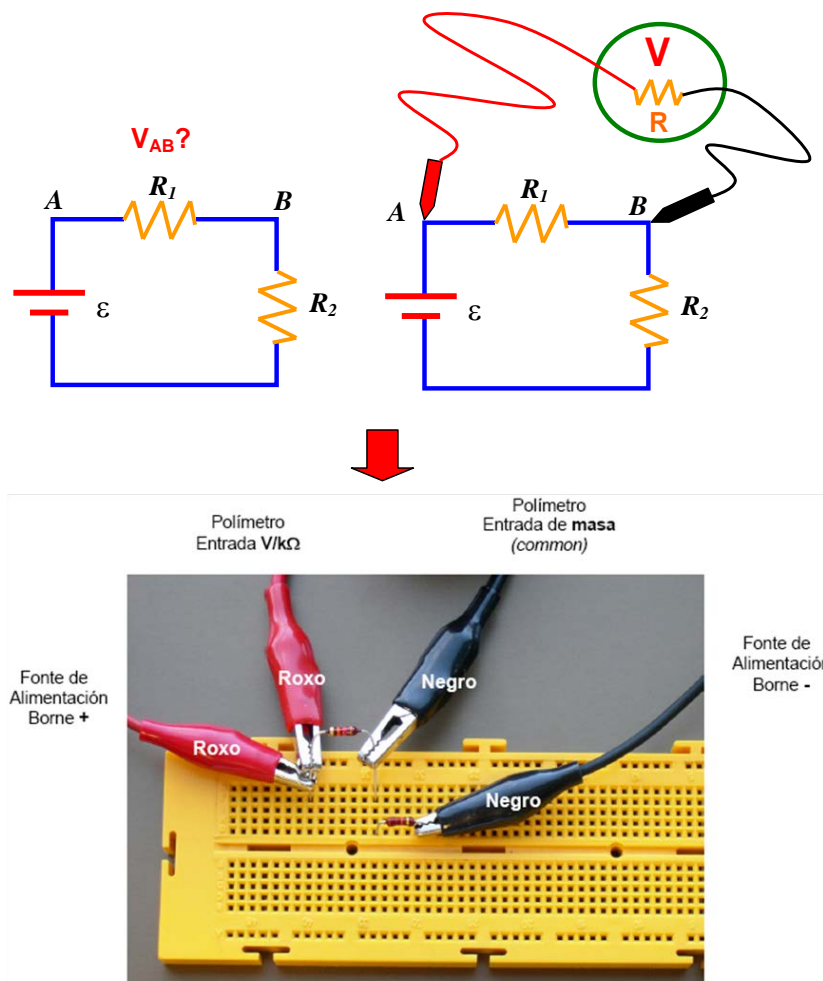
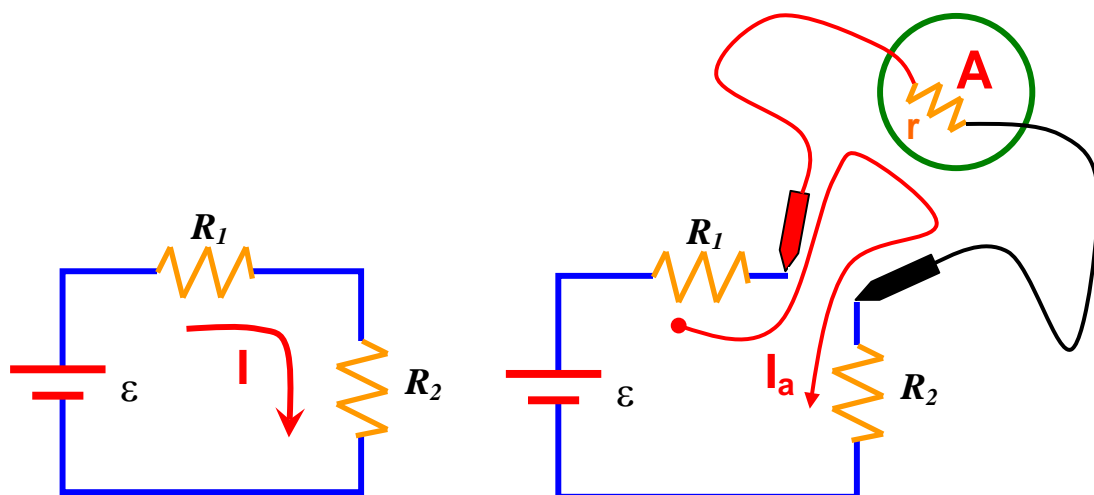


Figura 12: Emprego do polímetro para medir a tensión nos extremos dun elemento.

E. Medida de intensidades co polímetro

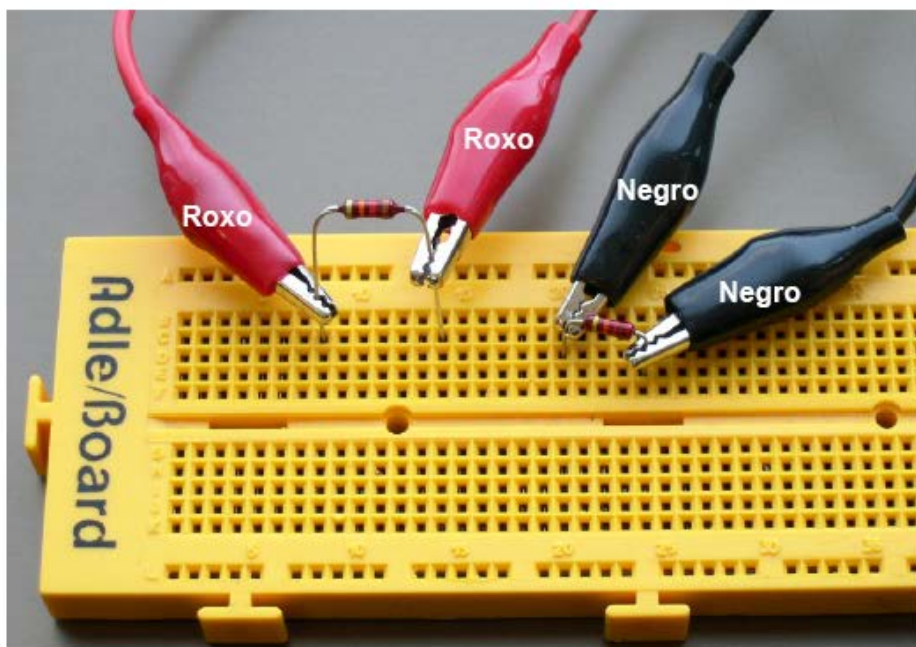
A medida da corrente que circula por unha rama medirase intercalando en **serie** o polímetro e seleccionando o modo **amperímetro** (Figura 13).



Fonte de
Alimentación
Borne +

Polímetro
Entrada **mA**

Polímetro
Entrada de **masa**
(common)



Fonte de
Alimentación
Borne -

Figura 13: Emprego do polímetro para medir a intensidade dunha rama.

F. Arduino como voltímetro

As entradas analóxicas de Arduino poden ser empregadas para medir voltaxes de continua que estean acoutadas entre 0 V – 5 V, exclusivamente. Sen embargo, este rango pode aumentado deseñando un divisor de tensión que atenúe a voltaxe no punto de medida ao rango permitido e logo corrixir a medida para obter o valor real.

Un voltímetro comercial ten unha impedancia de entrada $\sim 10\text{ M}\Omega$ ou maior (resistencia entre as sondas) e esta propiedade é necesaria para un instrumento de medida que se conecta en paralelo ao elemento onde interesa facer a medida. Canto máis alto é o valor deste parámetro menos alteración provocaremos no circuíto ao facer a medida (valor medido próximo ao valor verdadeiro). Non obstante, o prezo que pagaremos con impedancias de entrada altas é que seremos máis sensibles ao ruído.

O partidor que imos a deseñar debe ter en conta a anterior especificación. Esta montaxe consiste en dúas resistencias conectadas en serie. No punto intermedio (punto de conexión con Arduino), a diferenza de voltaxe debe ser levada ao rango de 5 V e cunha alta impedancia de entrada. Para o circuíto amosado na Figura 14 os valores das resistencias son $1\text{ M}\Omega$ e $100\text{ k}\Omega$. Por tanto, esta montaxe divide a voltaxe entre un factor de 11 e é axeitada para medir valores de voltaxe de ata 55 V cunha impedancia de entrada de $1,1\text{ M}\Omega$.

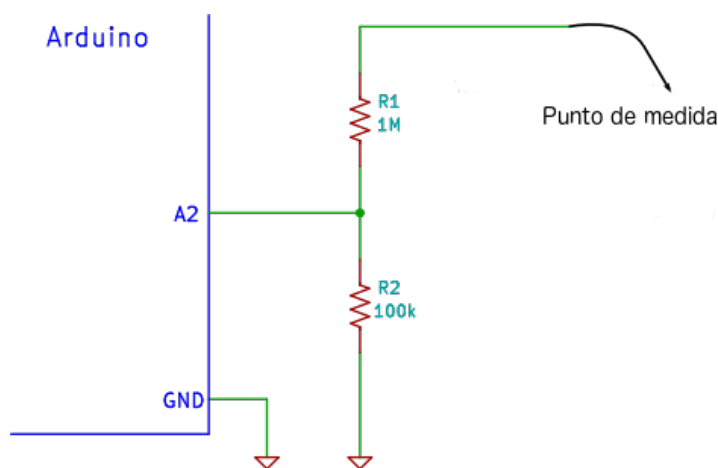


Figura 14: *Partidor de tensión para medir voltaxes con Arduino.*

Cando conectemos a placa Arduino ao noso circuíto hai que asegurarse que os valores máximos de voltaxe non son superados no noso deseño medindo co polímetro comercial. Ademais, para que a placa poida facer medidas correctas debemos garantir unha masa común entre placa e circuíto para ter o mesmo orixe de potenciais. Se a placa Arduino está alimentada cun transformador ou dende un cable USB, o circuíto baixo test e a placa (pin GND) deben compartir a mesma masa ou referencia. O pin GND de Arduino é como a sonda común (COM) do voltímetro. Pregunta ao teu profesor se isto non o tes claro, é importante!

O profesor de laboratorio explicará unha breve introdución a Arduino, ao IDE, o programa seguinte e como cargalo na placa.

■ Programa Arduino:

```
1  /*-----
2  Programa:    voltmetro
3  Descripcion: Lectura analoxica do voltaxe en A2
4  Hardware:    Arduino Mega con divisor de tension en A2
5  Data:        24 Sept 2019
6  Autor:       Xose R. Fdez-Vidal
7  -----*/
8
9  // Numero de mostrax que tomamos por medida (acharemos
    o promedio)
10 #define NUM_SAMPLES 10
11
12 int sum = 0;          // sumatorio das mostrax tomadas
13 unsigned char sample_count = 0; // contador de mostrax
14 float voltage = 0.0;  // voltaxe calculado
15 float R1=1000000;     // 1 MOhmio
16 float R2=100000;      // 100 kOhmio
17
18 void setup()
19 {
20     Serial.begin(9600); //Inicializamos o porto serie a
        9600 baudios
21 }
22
23 void loop()
24 {
25     // tomamos o numero de mostrax e sumamolas
26     while (sample_count < NUM_SAMPLES)
27     {
28         sum += analogRead(A2);
29         sample_count++;
30         delay(10); // esperamos 10 ms
31     }
32     // Achamos o voltaxe
33     // maximo valor 5.0 do rango dixitalizado con 10 bit
        (1024 valores na escala)
34     voltage = ((float)sum / (float)NUM_SAMPLES)
        *(5.0/1024.0)*((R1 + R2)/R2);
35
36     // Amosamos o valor polo porto serie
37     Serial.print(voltage);
38     Serial.println ("␣V");
39     sample_count = 0;
40     sum = 0;
41 }
```