

Material de Laboratorio

Fundamentos Físicos y Tecnológicos GIADE y DGIIM



Isabel M. Tienda Luna
Curso 2019-2020

*Prácticas de Laboratorio de
Fundamentos Físicos y Tecnológicos.*

*Doble Grado en Informática y ADE. Doble Grado en
Ingeniería Informática y Matemáticas*

Curso 2019-2020

0

ÍNDICE GENERAL

1. Apuntes sobre Teoría de Errores	7
1.1. Introducción	7
1.2. Exactitud, Precisión y Sensibilidad	8
1.2.1. Exactitud	9
1.2.2. Precisión	9
1.2.3. Sensibilidad	9
1.3. Clasificación de los tipos de errores	10
1.3.1. Errores Sistemáticos	10
1.3.2. Errores Accidentales o Estadísticos	10
1.3.3. Errores Espurios	11
1.4. Error absoluto y error relativo	11
1.4.1. Error absoluto	11
1.4.2. Error relativo	12
1.4.3. Comparación entre distintas medidas	12
1.5. Expresión de una medida	13
1.5.1. Expresión del error absoluto	13
1.5.2. Expresión del valor de la magnitud	14
1.6. Errores en medidas directas	15
1.6.1. Sólo es posible realizar una única medida de la magnitud	15
1.6.2. Es posible realizar más de una medida	16

1.7. Errores en medidas indirectas	19
1.8. Regresión Lineal: Método de Mínimos Cuadrados	21
1.9. Construcción de Gráficas	22
1.10. Normas del Laboratorio	25
1.11. Redacción de una memoria de prácticas	26
1.11.1. Partes de la memoria de prácticas	26
1.11.2. Presentación de datos	27
1.11.3. Presentación general del documento	27
1.11.4. Bibliografía y referencias	28
2. Práctica 1	29
2.1. Objetivo	29
2.2. Manejo del instrumental.	29
2.2.1. Fuente de alimentación FAC-363B	29
2.2.2. El polímetro digital	30
2.2.3. Placa de montaje	33
2.2.4. Valor nominal de resistencias	33
2.3. Fundamento Teórico	34
2.3.1. Asociación de resistencias	34
2.3.2. Ley de Ohm	34
2.4. Procedimiento Experimental	36
2.5. Trabajo de prelaboratorio	38
2.6. Trabajo de laboratorio	39
3. Práctica 2	43
3.1. Objetivo	43
3.2. Fundamento Teórico	43
3.2.1. Divisor de Tensión	43
3.2.2. Equivalente Thevenin	44
3.2.3. Principio de Superposición	44
3.3. Procedimiento Experimental	45
3.3.1. Divisor de Tensión	45
3.3.2. Equivalente Thevenin	46
3.3.3. Principio de Superposición	46
3.4. Trabajo de prelaboratorio	48
3.5. Trabajo de laboratorio	49
4. Práctica 3	51
4.1. Objetivo	51
4.2. Manejo del osciloscopio	51
4.2.1. Manejo de los controles	53

4.2.2. Modos de funcionamiento	58
4.3. Manejo del generador de señales	59
4.3.1. Manejo del generador	60
4.3.2. Pantalla de presentación de datos	60
4.4. Fundamento Teórico	61
4.5. Procedimiento Experimental	63
4.6. Trabajo de prelaboratorio	65
4.7. Trabajo de laboratorio	66
5. Práctica 4	67
5.1. Objetivo	67
5.2. Circuitos con diodos. Fundamento Teórico	67
5.3. Circuitos con diodos. Procedimiento Experimental.	69
5.3.1. Relación I-V en un diodo.	70
5.3.2. Característica de transferencia.	70
5.4. Trabajo de Prelaboratorio	71
5.5. Trabajo de Laboratorio	72
6. Práctica 5	73
6.1. Objetivo	73
6.2. Fundamento Teórico	73
6.3. Procedimiento Experimental	74
6.3.1. Característica de transferencia	74
6.3.2. Curva I-V de un MOSFET en saturación	76
6.4. Trabajo de Prelaboratorio	77
6.5. Trabajo de Laboratorio	78
7. Práctica 6	81
7.1. Objetivo	81
7.2. Procedimiento Experimental	81
7.2.1. Inversor NMOS.	83
7.2.2. Inversor CMOS	83
7.2.3. Puerta NAND	84
7.2.4. Puerta NOR	84
7.3. Trabajo de Prelaboratorio	85
7.4. Trabajo de Laboratorio	86
8. Práctica 7	89
8.1. Objetivo	89
8.2. Fundamento Teórico	89
8.3. Procedimiento Experimental	90

8.3.1. Circuito inversor.	91
8.3.2. Circuito no inversor.	91
8.4. Trabajo de Prelaboratorio.	92
8.5. Trabajo de Laboratorio	93

1

APUNTES SOBRE TEORÍA DE ERRORES

1.1. Introducción

Una magnitud física es un atributo de un cuerpo, un fenómeno o una sustancia, que puede determinarse cuantitativamente, es decir, es un atributo susceptible de **ser medido**. Ejemplos de magnitudes son la longitud, la masa, la potencia, la velocidad, etc.

Para establecer el valor de una determinada magnitud tenemos que usar **instrumentos y un método de medida**. Asimismo es necesario definir unidades de medida. Por ejemplo, si deseamos medir el largo de una mesa, el instrumento de medida será una regla. Si hemos elegido el Sistema Internacional de Unidades (SI), la unidad será el metro y la regla a usar deberá estar calibrada en esa unidad (o submúltiplos). El método de medida consistirá en determinar cuantas veces la regla y fracciones de ella entran en la longitud buscada.

En todo proceso de medida existen limitaciones dadas por los **instrumentos usados**, el **método de medida** y/o el **observador** (u observadores) que

realizan la medida. Por ejemplo, cuando usamos un termómetro para medir una temperatura, parte del calor del objeto fluye al termómetro (o viceversa), de modo que el resultado de la medida es un valor modificado del original debido a la inevitable interacción que se ha producido. Está claro que esta interacción podrá o no ser significativa: Si estamos midiendo la temperatura de un metro cúbico de agua, la cantidad de calor transferida al termómetro puede no ser significativa, pero si lo será si el volumen en cuestión es de una pequeña fracción del mililitro.

Por tanto, ya que incluso el propio proceso de medida introduce imprecisiones, puede aceptarse como postulado físico el hecho de que **resulta imposible conocer el valor exacto de una magnitud**. El principal objetivo de la denominada **teoría de errores** consiste en acotar el **valor de dichas imprecisiones denominadas errores experimentales** para establecer los límites dentro de los cuales se encuentra el valor de la magnitud a determinar. Así, en todo lo que sigue, las medidas vendrán caracterizadas no por un único número sino por un **intervalo**.

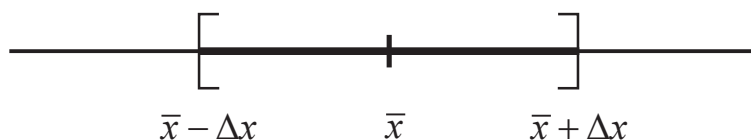


Figura 1.1: Intervalo de error asociado a la medida de x

Finalmente, resaltar que en teoría de errores, el concepto de error tiene un significado diferente del habitual. Coloquialmente, se suele usar el término error como sinónimo de equivocación. En la teoría de errores, el error está asociado al concepto de **imprecisión** en la determinación del resultado de una medida. Concretamente, lo que intenta en toda medida es conocer las **cotas** (o límites probabilísticos) de estas imprecisiones. Gráficamente, **buscamos establecer un intervalo $\bar{x} - \Delta x \leq x \leq \bar{x} + \Delta x$** como el de la Figura 1.1, donde con cierta probabilidad, podamos decir que **se encuentra el mejor valor de la magnitud x** . Este mejor valor \bar{x} es el **más representativo** de nuestra medida y al semi ancho Δx lo denominamos **error absoluto de la medida**.

1.2. Conceptos importantes: Exactitud, Precisión y Sensibilidad

En lo que respecta a los aparatos de medida, hay tres conceptos muy importantes que es necesario definir para poder usarlos con propiedad: **exactitud, precisión y sensibilidad**.

1.2.1. Exactitud

La exactitud se define como el grado de concordancia entre el valor verdadero de una magnitud y el obtenido experimentalmente. De modo que, se dice que **un instrumento es exacto si las medidas realizadas él son todas muy próximas al valor verdadero de la magnitud.**

La exactitud de un instrumento o método de medición está asociada a la calidad de la **calibración** del mismo. **La exactitud es una medida de la calidad de la calibración del instrumento respecto de patrones de medida aceptados internacionalmente.** En general los instrumentos vienen calibrados, pero dentro de ciertos límites. Es deseable que la calibración de un instrumento sea tan buena como la apreciación del mismo.

1.2.2. Precisión

El concepto de precisión hace referencia a la concordancia entre una medida y otras de la misma magnitud realizadas en condiciones sensiblemente iguales. De modo que, **un instrumento será más preciso cuanto menores sean las diferencias entre distintas medidas de una mismas magnitud realizadas en condiciones parecidas.**

Aunque exactitud implica normalmente precisión, la afirmación inversa no es cierta ya que **pueden existir aparatos muy precisos que posean poca exactitud.** Esto es, aparatos cuyas medidas de una magnitud sean muy parecidas entre sí (y por lo tanto precisas) pero que estén muy lejos del valor verdadero (y por lo tanto poco exactas). Imaginemos que el cronómetro que usamos en un proceso de medida es capaz de determinar la centésima de segundo pero adelanta dos minutos por hora, mientras que un reloj de pulsera común no lo hace. En este caso decimos que el cronómetro es más preciso que el reloj común, pero menos exacto.

1.2.3. Sensibilidad

La sensibilidad de un aparato está relacionada con el **valor mínimo de la magnitud que es capaz de medir.** Normalmente, se admite que **la sensibilidad de un aparato viene indicada por el valor de la división más pequeña de la escala de medida.** Así por ejemplo, la sensibilidad de una regla cuya mínima división es un milímetro, es de un milímetro. La de una balanza que lo mínimo que aprecia es 0.01 g, es de 0.01 g.

En muchas ocasiones, de un modo erróneo, se toman como idénticos los conceptos de precisión y sensibilidad aunque del análisis de sus definiciones puede verse que se trata de conceptos diferentes.

1.3. Clasificación de los tipos de errores

Decimos que conocemos el valor de una magnitud dada, en la medida en que conocemos sus errores. En ciencia se considera que la medición de una magnitud con un cierto error no significa que se haya cometido una equivocación o que se haya realizado una mala medición. Con la indicación del error de medición se expresan, en forma cuantitativa y lo más precisamente posible, las limitaciones que el proceso de medida introduce en la determinación de la magnitud medida. Los errores no siguen una ley determinada y su origen está en múltiples causas. Atendiendo a las distintas causas que los producen, los errores pueden clasificarse en tres grandes grupos: errores sistemáticos, errores accidentales y errores espurios.

1.3.1. Errores Sistemáticos

Se denomina error sistemático a aquel originado por las imperfecciones de los métodos de medida. Por tanto, este tipo de errores es constante a lo largo de todo el proceso de medida y afecta de la misma forma a todas las medidas siendo el mismo para todas ellas. Por ejemplo, pensemos en un reloj que atrasa o adelanta, o en una regla dilatada, el error de paralaje, etc.

Estos errores tienen un signo determinado y las causas probables pueden ser:

1. *Errores instrumentales.* Estos errores están relacionados con los instrumentos de medida. Un ejemplo de este tipo de errores es el de calibrado.
2. *Errores personales.* Este tipo de errores se deben a limitaciones de carácter personal relacionadas con los observadores que realizan el proceso de medida y son, en general, difíciles de determinar. Un ejemplo de este tipo de errores sería una persona con problemas de tipo visual: es posible que un observador entrenado pueda apreciar con una regla común fracciones del milímetro mientras que otro observador, con la misma regla pero con dificultades de visión sólo pueda apreciar 2 mm.
3. *Error en la selección del método.* Como su propio nombre indica, este tipo de errores se producen debido a una elección inadecuada del método de medida de la magnitud.

1.3.2. Errores Accidentales o Estadísticos

Se denomina error accidental a aquel que se produce en las pequeñas variaciones que aparecen entre observaciones sucesivas realizadas por un mismo

operador. Las variaciones no son reproducibles de una medida a la siguiente y no presentan más que por azar la misma magnitud en dos mediciones cualesquiera del grupo. Las causas de estos errores son incontrolables para un observador.

Los errores accidentales se producen **al azar** y son en su mayoría de **magnitud muy pequeña**. Estos errores pueden cometerse con igual probabilidad por defecto como por exceso. Por tanto, midiendo varias veces y promediando el resultado, es posible reducirlos considerablemente. Es a este tipo de errores a los que comúnmente hace referencia la **teoría estadística de errores de medición** que se formularán en lo que sigue.

Un ejemplo de este tipo de error es el que se comete al contar mal las divisiones de una regla o al copiar mal el valor que marca un polímetro.

1.3.3. Errores Espurios

Supongamos que se desea calcular el volumen de un objeto esférico y para ello se determina su diámetro. Si al introducir el valor del diámetro en la fórmula, nos equivocamos en el número introducido, o lo hacemos usando unidades incorrectas, o bien usamos una expresión equivocada del volumen, claramente habremos cometido un error. Esta vez este error está más asociado al concepto convencional de **equivocación**. A este tipo de errores los designamos como espurios. A este tipo de errores **no se aplica la teoría estadística de errores** y el modo de evitarlo consiste en una evaluación cuidadosa de los procedimientos realizados en la medición. Un ejemplo de este tipo de error es el que se cometió en el Mars Climate Explorer a fines de 1999, al pasar de pulgadas a cm se cometió un error que costó el fracaso de dicha misión a Marte.

1.4. Error absoluto y error relativo

1.4.1. Error absoluto

Para expresar el valor del error cometido al realizar una medida han de combinarse los **errores sistemáticos** con los **errores estadísticos**. Esta combinación de errores se constituye el llamado *error absoluto*. El error absoluto se define a través de la siguiente expresión:

$$\Delta x = \bar{x} - x_0 \quad (1.1)$$

donde x_0 representa el valor verdadero de la magnitud que se pretende medir y \bar{x} es el valor de la medida obtenido experimentalmente. Por tanto, el

error absoluto proporciona información sobre la desviación respecto al valor verdadero.

El error absoluto tiene las mismas dimensiones que la magnitud medida y ha de expresarse con las mismas unidades de ésta. Si \bar{x} es el resultado del proceso de medida y Δx su error absoluto, el valor de la magnitud en estudio x , se expresa como:

$$x = (\bar{x} \pm \Delta x) \text{ Unidades} \quad (1.2)$$

El significado de esta notación es equivalente a decir que, según la medida realizada, el valor de x está contenido en el intervalo $(\bar{x} - \Delta x, \bar{x} + \Delta x)$ con una cierta probabilidad razonable p_0 (normalmente $p_0 = 0,68, 68\%$). O equivalentemente que: $\bar{x} - \Delta x < x < \bar{x} + \Delta x$ con probabilidad p_0 . Una tercera posible notación es: $P(\bar{x} - \Delta x < x < \bar{x} + \Delta x) = p_0$ que significa que la probabilidad de que el mejor estimador de la magnitud x esté comprendido entre $\bar{x} - \Delta x$ y $\bar{x} + \Delta x$ es igual a p_0 . El valor de p_0 se conoce con el nombre de coeficiente de confianza y los valores $(\bar{x} - \Delta x, \bar{x} + \Delta x)$ determinan un intervalo de confianza para x .

$P()$ =probabilidad

El error absoluto nos da una medida de la desviación en términos absolutos respecto del valor verdadero. No obstante, en ocasiones nos interesa resaltar la importancia relativa de esa desviación. Para tal fin, se usa el *error relativo*.

1.4.2. Error relativo

El *error relativo* se define como el cociente entre el error absoluto y el mejor valor de la magnitud x :

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \quad (1.3)$$

También suele expresarse la cantidad anterior en forma porcentual, así se define el error relativo porcentual de la siguiente forma:

$$\varepsilon_{x, \%} = \varepsilon_x 100 \quad (1.4)$$

1.4.3. Comparación entre distintas medidas

La comparación de dos medidas puede realizarse en virtud de dos criterios:

- El error absoluto.
- El error relativo

Ejemplo

Imaginemos que medimos el espesor de un alambre (cuyo diámetro es $d \approx 3 \text{ mm}$) y su longitud ($L \approx 1 \text{ m}$) con la misma regla graduada en milímetros. Imaginemos que en este caso el error absoluto en ambas medidas se corresponde con la sensibilidad de la regla utilizada ($\Delta d = \Delta L = 1 \text{ mm}$). Sin embargo, resulta evidente que la determinación de la longitud del alambre es mucho mejor que la del diámetro. El error relativo porcentual refleja esta diferencia, ya que para el caso del diámetro su valor es $\varepsilon_{d,\%} \approx 30 \%$, y para el caso de la longitud tenemos $\varepsilon_{L,\%} \approx 0,1 \%$.

1.5. Expresión de una medida: cifras significativas

1.5.1. Expresión del error absoluto

Para expresar de forma correcta la medida de una magnitud concreta hay que comenzar por **expresar correctamente el error de la misma**. Esto es, si tenemos una medida y su error, hay que comenzar **redondeando el error** y luego usaremos el error para **redondear la medida**.

Normalmente, dado el significado de **cota de imprecisión** que tiene el error absoluto, éste **jamás debe de tener más de dos cifras significativas**. La **primera cifra significativa** es la **primera cifra distinta de cero** cuando se empieza a contar **por la izquierda**. La **segunda cifra significativa** es la que **sigue a la primera** y así sucesivamente. Así, en el número 0.37258 la primera cifra significativa es el 3, la segunda el 7 y así sucesivamente. En el número 8541, la primera cifra significativa es el 8, la segunda el 5, etc.

Hemos visto que el error absoluto se expresa como **máximo con dos cifras significativas**, pero ¿cómo se sabe si hay que usar **una o dos cifras** significativas en la expresión de un error absoluto? Se admite por convenio que el error absoluto sólo puede darse con **dos cifras** significativas **si la primera de ellas es un 1, o** si siendo **la primera un 2 la segunda no llega a 5**. En los demás casos debe darse un valor con **una sola cifra**. En cualquier caso, hay que **aumentar la última cifra significativa una unidad** **si la que le sigue es 5 o mayor** que cinco, en caso contrario la última cifra significativa se deja igual. El concepto anterior se aclara en el siguiente ejemplo.

Ejemplo. Expresar correctamente los siguientes valores correspondientes a errores absolutos: 0.0003545, 0.00178, 0.02254, 1995

- $\Delta x = 0,0003545$. El primer paso consiste en calcular el número de cifras significativas de Δx . Para empezar a contar hay que buscar la primera

cifra distinta de cero empezando por la izquierda. En este caso la primera cifra significativa es un 3. Como se trata de un 3, el número de cifras significativas con las que hay que dar el error es uno. El siguiente paso es redondear el 3, para ello se mira la cifra que le sigue. Como se trata de un 5, hay que aumentar en una unidad el 3 por lo que el error absoluto queda $\Delta x = 0,0004$.

- $\Delta x = 0,00178$. La primera cifra significativa es un 1 así que el error se da con dos cifras significativas: 0.0017. El siguiente paso es redondear la última cifra significativa: el 7. Como el 7 va seguido de un 8 que es mayor que cinco, habrá que aumentar el 7 en una unidad. Por tanto, $\Delta x = 0,0018$.
- $\Delta x = 0,023$.
- $\Delta x = 2000$.

1.5.2. Expresión del valor de la magnitud

Una vez que el error se ha expresado correctamente, se ha redondeado de acuerdo con las reglas anteriores, es el turno del **valor de la magnitud**. La regla a seguir es la siguiente: el valor de la magnitud **debe tener sólo las cifras necesarias para que su última cifra significativa sea del mismo orden decimal que la última del error absoluto llamada cifra de acotamiento**. Y esa última cifra significativa se redondea de acuerdo con la regla dada en el apartado anterior.

Ejemplo. Veamos un ejemplo para aclarar el proceso anterior. Supongamos que tenemos una magnitud cuyo valor es 75.891 y su error es 1.26987 ambos expresados en las mismas unidades. ¿Cómo se expresa correctamente el valor de esta magnitud y su error?

Como se ha explicado en los apartados anteriores, para expresar adecuadamente la magnitud hay que **comenzar redondeando el error**. En concreto hay que identificar la primera cifra significativa del mismo. En este caso, la primera cifra significativa del error es un 1. Eso significa que el error debe expresarse con dos cifras significativas, la primera y la segunda. Sin embargo, no sería correcto afirmar que el error es 1.2 (las dos primeras cifras significativas del mismo) ya que, según las reglas que hemos visto, la segunda cifra significativa ha de redondearse según el valor de la tercera cifra significativa. Como la tercera cifra significativa es un 6, mayor que 5, tendremos que sumarle uno a la segunda cifra significativa. Por tanto, el error correctamente expresado es 1.3.

Una vez redondeado el error pasamos a **redondear la medida**. Como el error

Medida	Error Absoluto	Valor correcto
3,418	0,123	$(3,42 \pm 0,12)$
6,3	0,09	$(6,30 \pm 0,09)$
46288	1551	(46300 ± 1600)
428,351	0,27	$(428,4 \pm 0,3)$
0,01683	0,0058	$(0,017 \pm 0,006)$

Cuadro 1.1: Ejemplo de cálculo del valor correcto de una medida.

tiene una única cifra decimal, la medida sólo puede tener una cifra decimal. Esto nos podría llevar a pensar que el valor de la magnitud ha de ser 75.8. Sin embargo, según las reglas que se han presentado, **la última cifra significativa de la medida (un 8) ha de redondearse con la que le sigue** (un 9 en este caso). Eso hace que, como 9 es mayor que 5, el valor correcto de la magnitud sea (75.9 ± 1.3) .

Como práctica, expresar correctamente los valores de la izquierda de el Cuadro 1.1.

1.6. Estimación del error y del valor de una magnitud con medidas directas

Como ya se ha comentado, es imposible conocer los valores verdaderos de las magnitudes y, por tanto, **es imposible calcular el valor del error absoluto de acuerdo con la expresión 1.1**. En esta sección se introduce el método de estimación del valor de una magnitud así como del error asociado al mismo cuando se dispone de medidas directas de dicha magnitud. Se dice que una **medida** es **directa** cuando **se obtiene a través de un proceso realizado con un instrumento**. La forma en la que se calcula la estimación del valor de la magnitud y del error **depende de la forma de realizar la medida** observándose la siguiente casuística:

1.6.1. Sólo es posible realizar **una única medida** de la magnitud

En este caso, **el error absoluto coincide con la sensibilidad del instrumento** utilizado para realizar la medida y la estimación de la magnitud es el **único valor tomado experimentalmente**. Imaginemos por ejemplo que estamos realizando una medida de una resistencia que no podemos repetir. Supongamos

que lo mínimo que es capaz de medir el polímetro que estamos utilizando es $0,01k\Omega$. Entonces, el error de la medida que hagamos es $0,01k\Omega$.

1.6.2. Es posible realizar más de una medida

Con el fin de alcanzar cierta validez estadística en los resultados de las medidas es muy conveniente repetir varias veces la determinación del valor de la magnitud problema. Los resultados de las medidas individuales pueden presentarse dispersos y en función de esta dispersión será conveniente aumentar o no el número de determinaciones del valor de la magnitud. Para decidir el número de medidas necesarias para estimar el valor de la magnitud física se sigue el procedimiento que se presenta a continuación.

Para cada medida donde el proceso de toma de datos se pueda reproducir en las mismas condiciones, se realizan SIEMPRE tres medidas de la magnitud. Con estas tres medidas puede calcularse la media:

$$\bar{x}_3 = \frac{\sum_{i=1}^3 x_i}{3} \quad (1.5)$$

El siguiente paso consiste en calcular de la dispersión D de las medidas. La dispersión es el primer criterio que se utiliza para estimar el número de medidas de la magnitud necesarias. La dispersión se define como la diferencia entre los valores extremos de las medidas (valor máximo de las medidas obtenidas menos el valor mínimo):

$$D = x_{max} - x_{min} \quad (1.6)$$

Si la dispersión calculada con las tres primeras medidas es menor o igual que la sensibilidad del aparato con el que se han tomado dichas medidas, $D \leq S$, estas tres medidas son suficientes para estimar el valor de la magnitud. No es necesario tomar más medidas.

Si la dispersión calculada con las tres primeras medidas es mayor que la sensibilidad del aparato con el que se han tomado dichas medidas, $D > S$, es necesario buscar un nuevo criterio para estimar el número de medidas totales a realizar.

Este nuevo criterio es el tanto por ciento de dispersión T que se define como

$$T = 100 \frac{D}{\bar{x}} \quad (1.7)$$

Sólo será necesario calcular T para las tres primeras medidas que se realicen y será solamente este valor de T el que se utilice como criterio a seguir para conocer el número de medidas totales a realizar. Este criterio se presenta en el Cuadro 1.2.

D_3	T_3	Nº de medidas necesario
$D_3 \leq S$	Para cualquier valor de T_3	Bastan las tres medidas realizadas.
$D_3 > S$	$T_3 \leq 2\%$	Bastan las tres medidas realizadas.
	$2\% < T_3 \leq 8\%$	Hay que hacer 3 medidas más para tener un total de 6 .
	$8\% < T_3 \leq 15\%$	Hay que hacer 12 medidas más para tener un total de 15 .
	$T_3 > 15\%$	Hay que hacer un mínimo de 47 medidas para tener un total mínimo de 50 .

Cuadro 1.2: Regla para calcular el número total de medidas necesarias

Estimación del valor de la magnitud y de su error

En esta sección se explica la forma de **calcular el valor de la magnitud** que se ha medido una vez que el número de medidas necesarias han sido tomadas. Los casos que pueden presentarse se enumeran a continuación:

1. Si $D_3 \leq S$, se toma como estimación del **valor “verdadero”** de la magnitud el **valor medio** de las tres medidas y como **error absoluto** la **sensibilidad del aparato**:

$$x = (\bar{x}_3 \pm S) \text{ Unidades} \quad (1.8)$$

2. Si $D_3 > S$ y $T \leq 2\%$, se toma como estimación del **valor “verdadero”** de la magnitud el **valor medio** de las tres medidas y como **error absoluto** la **sensibilidad del aparato**:

$$x = (\bar{x}_3 \pm S) \text{ Unidades} \quad (1.9)$$

3. Si $D_3 > S$ y $2\% < T \leq 8\%$, se toma como estimación del **valor “verdadero”** de la magnitud el **valor medio** de las seis medidas y como **error absoluto** el **máximo entre un cuarto de la dispersión** de las seis medidas **y la sensibilidad del aparato**:

$$x = \left(\bar{x}_6 \pm \max \left(\frac{D_6}{4}, S \right) \right) \text{ Unidades} \quad (1.10)$$

4. Si $D_3 > S$ y $8\% < T \leq 15\%$, se toma como estimación del valor “verdadero” de la magnitud el valor medio de las quince medidas y como error absoluto el que aparece en la siguiente expresión:

$$x = \left(\bar{x}_{15} \pm \left(\frac{\sum_{i=1}^{15} (x_i - \bar{x}_{15})^2}{15} \right)^{1/2} \right) \text{Unidades} \quad (1.11)$$

5. Si se han realizado más de 50 medidas, se construye el histograma representativo de las mismas, tomando en abscisas, a intervalos regulares, los valores de las medidas realizadas y representando cada una por un punto sobre la abscisa correspondiente. En este caso debemos seguir realizando medidas hasta que la distribución resultante tenga forma de distribución gaussiana o normal. Sobre esta distribución se obtiene como estimación del valor “verdadero” de la magnitud el valor medio de la misma y como medida del error absoluto, la desviación standard:

$$x = \left(\bar{x} \pm \left(\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N} \right)^{1/2} \right) \text{Unidades} \quad (1.12)$$

El procedimiento seguido en este último caso se debe a que, en una serie repetida de medidas aleatorias de una misma magnitud, la distribución de éstas alrededor del valor medio representa una forma típica que recibe el nombre de **distribución gaussiana o distribución normal**.

El significado de la desviación estándar (σ) es el que se muestra a continuación:

- En el intervalo $\bar{x} - \sigma < x < \bar{x} + \sigma$ se encuentra el 68,3% de las medidas realizadas cuando el número de éstas es muy elevado.
- En el intervalo $\bar{x} - 2\sigma < x < \bar{x} + 2\sigma$ se encuentra el 95,4% de las medidas realizadas cuando el número de éstas es muy elevado.
- En el intervalo $\bar{x} - 3\sigma < x < \bar{x} + 3\sigma$ se encuentra el 99,7% de las medidas realizadas cuando el número de éstas es muy elevado.

Ejemplo

Supongamos que estamos en el laboratorio y queremos medir el valor de una resistencia desconocida. Para ello contamos con un polímetro que vamos a utilizar en una posición donde lo mínimo que es capaz de apreciar es $0,01k\Omega$. Como vamos a realizar una medida directa (vamos a usar un instrumento) y

además esta medida la podemos repetir varias veces, vamos a seguir las reglas que se han planteado en las secciones anteriores. Comenzamos realizando 3 medidas porque **siempre** hay que realizar tres medidas de la magnitud a medir. Supongamos que el resultado de estas medidas es: $R_1 = 32,86k\Omega$, $R_2 = 33,00k\Omega$ y $R_3 = 32,96k\Omega$.

El siguiente paso es utilizar las medidas anteriores para saber si es necesario realizar más medidas o si con sólo tres es suficiente. Según el cuadro 1.2, para saber el número de medidas a utilizar necesito comenzar calculando la dispersión (D_3) y la sensibilidad (S). La sensibilidad es lo mínimo que es capaz de apreciar el instrumento de medida, en este caso $0,01k\Omega$. En cuanto a la dispersión, de acuerdo con la expresión 1.6, $D_3 = 33,00k\Omega - 32,86k\Omega = 0,14k\Omega$. En este caso, como $D_3 > S$ es necesario calcular el tanto por ciento de dispersión (T de la expresión 1.7). Para este ejemplo, $T = 0,14/32,936666 * 100 = 0,43\%$. De acuerdo con el cuadro 1.2, como $T < 2\%$ las tres medidas que se han tomado son suficientes.

Una vez que sabemos que con tres medidas es suficiente, ya podemos dar un valor de la resistencia. Para ello usaremos los valores de D_3 y T que hemos calculado. Según estos valores ($D_3 > S$ y $T < 2\%$), podemos ver que estamos en el caso 2 (ecuación 1.9). Como nuestro caso es el 2, el error de la medida es la sensibilidad de la misma. Para calcular el valor de la resistencia tenemos que calcular la media. En este caso, la media es $32.9366666k\Omega$. Ya sólo queda redondear esta media. El valor de la resistencia ha de tener dos cifras decimales (porque el error tiene dos cifras decimales) y la última cifra decimal se redondea con la que le sigue. Por tanto, $R = (32,94 \pm 0,01)k\Omega$.

1.7. Estimación del error y del valor de una magnitud con medidas indirectas

Las medidas indirectas de magnitudes son aquellas que **se realizan a través de una aplicación de una fórmula a un conjunto de medidas** (variables independientes o datos) que las relacionan con la magnitud problema. Mediante dicha fórmula **puede obtenerse además el error de dicha medida**. Este será el objetivo en esta sección.

Supongamos que la magnitud \mathcal{F} cuyo valor estamos interesados en estimar, puede expresarse en función de otras magnitudes y que se relaciona con ellas a través de la siguiente expresión matemática:

$$\mathcal{F} = f(x, y, z, \dots) \quad (1.13)$$

Si se conocen los valores de las magnitudes que aparecen en la fórmula

(1.13) y sus errores, el modo de proceder es el siguiente:

1. Se calcula el valor de la magnitud \mathcal{F} sustituyendo en la expresión (1.13) los valores de las medidas de cada una de las variables.
2. Para calcular el valor del error de \mathcal{F} , hay que calcular derivadas parciales con respecto a cada una de las variables de las que depende \mathcal{F} y combinarlas de la siguiente forma:

$$\Delta\mathcal{F} = \left| \frac{\partial\mathcal{F}}{\partial x} \right|_{y,z,\dots} \Delta x + \left| \frac{\partial\mathcal{F}}{\partial y} \right|_{x,z,\dots} \Delta y + \left| \frac{\partial\mathcal{F}}{\partial z} \right|_{x,y,\dots} \Delta z + \dots \quad (1.14)$$

Ejemplo. Las magnitudes \mathcal{F} , x , y y z se relacionan a través de la siguiente expresión:

$$\mathcal{F} = xy - z \quad (1.15)$$

Las magnitudes x , y y z se han medido de forma directa y sus valores son $x = (3,12 \pm 0,16)$, $y = (2,7 \pm 0,4)$ y $z = (12,42 \pm 0,23)$. Calcular el valor de \mathcal{F} así como el de su error.

En primer lugar se calcula el valor de \mathcal{F} simplemente sustituyendo en la fórmula:

$$\mathcal{F} = 3,12 * 2,7 - 12,42 = -3,9960$$

El siguiente paso es el cálculo del error. Para ello, necesitamos calcular en primer lugar cada una de las derivadas parciales:

$$\begin{aligned} \frac{\partial\mathcal{F}}{\partial x} \Big|_{y,z} &= y \\ \frac{\partial\mathcal{F}}{\partial y} \Big|_{x,z} &= x \\ \frac{\partial\mathcal{F}}{\partial z} \Big|_{x,y} &= -1 \end{aligned}$$

A continuación se sustituye en la expresión del error:

$$\begin{aligned} \Delta\mathcal{F} &= |y|\Delta x + |x|\Delta y + |-1|\Delta z \\ &= 2,7 * 0,16 + 3,12 * 0,4 + 0,23 \\ &= 1,9100 \end{aligned}$$

Ya sólo queda expresar correctamente tanto la medida como el error. Para ello se siguen los pasos presentados en la Sección 5. Y el resultado es:

$$\mathcal{F} = (-4,0 \pm 1,9) \text{ Unidades}$$

Nota: Trabajar con números irracionales. Cuando se trabaja con números irracionales tales como π , e , etc... no es posible introducir en los cálculos todos los decimales que contienen. Por ello, es necesario **elegir el número de cifras significativas** que han de tomarse en estos cálculos para que los errores cometidos al aproximar **estos números irracionales** no afecten a la magnitud del error absoluto de la magnitud que se pretende determinar.

1.8. Regresión Lineal: Método de Mínimos Cuadrados

Con frecuencia se plantea el problema de encontrar una expresión matemática del tipo $y = f(x)$ de la ley física que rige el comportamiento de un determinado fenómeno a partir de una serie de medidas de las magnitudes x e y que lo caracterizan. En un experimento típico, se cambia el valor de una variable independiente x para observar el comportamiento de otra variable y dependiente de la anterior; por ejemplo, el cambio de la densidad del agua (y) con la temperatura (x). Cuando hacemos una representación gráfica $y(x)$ (y en el **eje vertical de ordenadas** y x en el **eje horizontal de abscisas**), la curva obtenida tendrá una forma dada. En el laboratorio, al reproducir un experimento de este tipo, obtendríamos una gráfica idéntica a la arrojada por la teoría. Sin embargo, la existencia de muchas fuentes de indeterminación (no sólo errores sino también las simplificaciones hechas en la propia teoría, influencias de otros factores, etc) hacen que los datos experimentales no coincidan exactamente con la curva teórica, sino que tiendan a disponerse alrededor de ésta. Surge entonces la pregunta de qué curva “ajusta” mejor los datos experimentales. Con “ajusta” se quiere decir, no que la curva pase exactamente por todos los puntos experimentales, sino que tienda a estar lo más cerca posible de todos ellos en conjunto.

El ajuste de datos experimentales a curvas es extremadamente importante, no sólo para poder comparar con la teoría, sino incluso para poder establecer la validez o no de la misma teoría. El caso general es complejo y laborioso, así que nos limitaremos a una curva en la que la dependencia entre x e y es de tipo lineal.

Supongamos que para cada valor x_i de la variable independiente se obtiene un valor y_i de la variable dependiente (aquí los subíndices i denotan distintos valores de x e y , y no guardan relación alguna con los valores de una misma cantidad utilizados en la Sección 6). El problema consiste en encontrar una curva del tipo $y = ax + b$, (una recta, en este caso) que ajuste mejor el conjunto de datos; en concreto, se buscan los valores de a y b tales que

la suma de distancias entre la recta y todos los puntos experimentales sea mínima.

Se puede demostrar, minimizando dicha suma de distancias, que los valores a y b que nos dan el mejor ajuste vienen dados por las siguientes expresiones:

$$a = \frac{N \sum_{i=1}^{i=N} x_i y_i - \sum_{i=1}^{i=N} x_i \sum_{i=1}^{i=N} y_i}{N \sum_{i=1}^{i=N} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{i=N} x_i \right)^2} \quad (1.16)$$

$$b = \frac{N \sum_{i=1}^{i=N} x_i^2 y_i - \sum_{i=1}^{i=N} x_i \sum_{i=1}^{i=N} x_i y_i}{N \sum_{i=1}^{i=N} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{i=N} x_i \right)^2} \quad (1.17)$$

$$\Delta a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} (y_i - ax_i - b)^2}{(N-2) \sum_{i=1}^{i=N} (x_i - \bar{x})^2}} \quad (1.18)$$

$$\Delta b = \sqrt{\left(\frac{1}{N} + \frac{\bar{x}^2}{\sum_{i=1}^{i=N} (x_i - \bar{x})^2} \right) \left(\frac{\sum_{i=1}^{i=N} (y_i - ax_i - b)^2}{N-2} \right)} \quad (1.19)$$

Cuando se quiere conocer la validez o bondad del ajuste, o cuando se tienen dudas sobre si la relación $x - y$ es lineal, se acude al *coeficiente de correlación lineal* (C.C.L.), descrito con la letra r , definido como:

$$r = \frac{N \sum_{i=1}^{i=N} x_i y_i - \sum_{i=1}^{i=N} x_i \sum_{i=1}^{i=N} y_i}{\sqrt{\left(N \sum_{i=1}^{i=N} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{i=N} x_i \right)^2 \right) \left(N \sum_{i=1}^{i=N} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{i=N} y_i \right)^2 \right)}} \quad (1.20)$$

El valor absoluto de r nos indica lo bien que los puntos experimentales ajustan a la curva teórica. Si $r = 1$, el ajuste es perfecto; un valor $r = 0,95$ nos indica un buen ajuste; un valor de r inferior a 0.85 no resulta apenas aceptable.

1.9. Construcción de Gráficas

En esta sección se introducen algunas reglas para realizar una representación gráfica adecuada de los fenómenos que se estudian en el laboratorio.

- Las gráficas han de representarse con un mallado en ambos ejes en los extremos de los cuales han de indicarse la magnitud que se representa así como la unidad en la que se mide. El título de la representación ha de estar situado en la parte superior de la misma claramente indicado.

- La variable independiente del fenómeno debe ir representada en abscisas y la dependiente en ordenadas. Ambas variables deben de etiquetarse bajo el eje correspondiente acompañadas de sus unidades entre paréntesis.
- Las escalas, sobre ambos ejes, han de permitir una lectura rápida y sencilla. Para ello han de elegirse escalas con intervalos adecuados de manera que los puntos que se representen estén repartidos de manera homogénea en el gráfico. Normalmente los datos se representan en escala lineal. Para ello se usa un gráfico cartesiano o gráfico x-y, donde la primera coordenada corresponde a la variable independiente, mientras que la segunda corresponde a la variable dependiente. También se pueden representar los datos en escala semi logarítmica. En esta escala, cada división en uno de los ejes (generalmente el eje y) es una potencia de diez. Así mismo, se puede utilizar la escala logarítmica en la que cada división en cada uno de los ejes es una potencia de diez. o
- Las escalas deben abarcar todo el intervalo de medidas realizadas y *sólo el citado intervalo*.
- Sobre los ejes sólo se indican los valores correspondientes a las divisiones enteras de la escala usada (que han de quedar uniformemente espaciados). **Nunca** se señalan los valores correspondientes a las medidas realizadas.
- Los valores medidos se representan sobre el papel milimetrado por el punto correspondiente a sus dos coordenadas (punto experimental) y rodeado por el denominado rectángulo de error cuya base abarca desde $\bar{x} - \Delta x$ hasta $\bar{x} + \Delta x$ y cuya altura se extiende desde $\bar{y} - \Delta y$ hasta $\bar{y} + \Delta y$ siendo (\bar{x}, \bar{y}) las coordenadas del punto experimental. En el caso de que Δx o Δy sean despreciables en comparación con la escala utilizada, el rectángulo de error queda reducido a un simple segmento vertical u horizontal según el caso.
- Las gráficas han de ser líneas finas y continuas, nunca quebradas que han de pasar por todos los rectángulos de error aunque para ello dejen muchas veces de pasar por los puntos experimentales que pueden quedar a derecha o izquierda de la gráfica.

En la Figura 1.2 se muestra un ejemplo realizado con la hoja de cálculo del software OpenOffice 3.1. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Introducimos los datos de las variables a representar en cada uno de los ejes en una columna diferente de la hoja de cálculo.

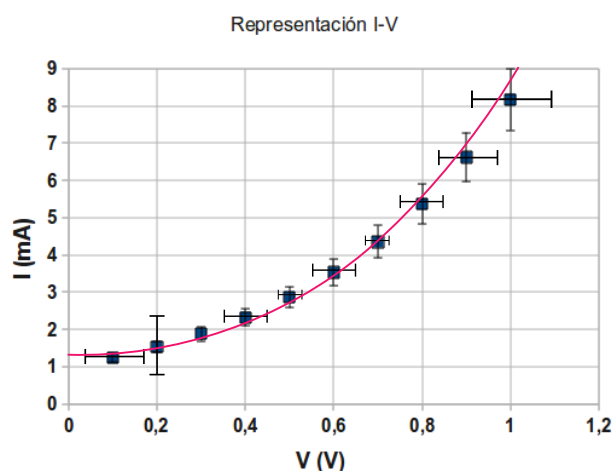


Figura 1.2: Ejemplo de representación gráfica

2. Marcamos *Insertar* y dentro de este menú la opción *Gráfico*.
3. Seleccionamos como tipo de gráfico *XY (dispersión)*.
4. El siguiente paso consiste en pulsar la opción *Series de datos* del asistente para gráficos y pulsamos el botón *Agregar*. Automáticamente aparecen en la casilla de *Rango de Datos* tres opciones que nos permitirán añadir los datos de nuestra tabla. Si pulsamos la opción *valores-X*, nos aparece una casilla con el nombre *Rango para valores de X* junto a la cual aparece un botón que, al ser pulsado, nos permite seleccionar de la hoja de cálculo los datos que queremos representar en el eje X. De igual manera se procede con la opción *valores-Y*.
5. El siguiente paso es añadir la cuadrícula, el título y las etiquetas a cada uno de los ejes. Todas esas opciones pueden modificarse en el paso 4 *Elementos de Gráficos*.
6. Para terminar, pulsamos el botón *Finalizar*.
7. Llegados a este punto, conseguimos insertar un gráfico en la hoja de cálculo. Ya sólo queda introducir las barras de error y añadir la línea de tendencia en caso de que se nos pida. Ambas acciones aparecen en un menú que se despliega al pulsar con el botón derecho sobre los puntos de la representación. Si escogemos la opción *Agregar Línea de tendencia*, se abre una ventana con dos pestañas. En la pestaña *Tipo* se puede elegir el tipo de línea de tendencia (lineal, exponencial, logarítmica,

etc..) así como la posibilidad de presentar su ecuación y el coeficiente de correlación en el gráfico.

1.10. Normas del Laboratorio

1. Leer el guión de prácticas antes de entrar en el laboratorio. El profesor preguntará a cada alumno y pondrá una nota que contará en la nota final de prácticas. En ningún caso se permitirá a un alumno realizar una práctica sin haberse leído el guión.
2. El alumno ha de completar la parte correspondiente al trabajo de pre-laboratorio y entregarlo al profesor antes de realizar la práctica correspondiente.
3. El puesto de trabajo ha de estar ordenado y con todo apagado antes de abandonar el laboratorio. Antes de irse, cada pareja avisará al profesor para que juntos revisen si todo está en orden y en buen estado.
4. Los dispositivos experimentales no deben tocarse o cambiarse de configuración a menos que lo indique explícitamente el guión.
5. El uso inapropiado del material implicará la expulsión del laboratorio y un cero en la sesión de prácticas.
6. Tras la realización de cada práctica, los alumnos deben de entregar la parte de trabajo de laboratorio al profesor.
7. No se permite faltar injustificadamente al laboratorio. Para aquellas faltas que hayan sido debidamente justificadas, se organizará una única sesión especial de recuperación.
8. Las memorias de prácticas se entregarán al profesor dentro de la fecha indicada: no se aceptarán memorias fuera del plazo fijado.
9. Las memorias de prácticas se entregarán al profesor de forma individual o por parejas.
10. Las prácticas cuentan hasta un 30 % de la nota global de la signatura.

1.11. Redacción de una memoria de prácticas

En esta sección se presenta una guía para la redacción de memorias de prácticas. Una memoria de prácticas es un documento en el que hay que especificar:

- el objetivo de la práctica
- la teoría en la que se basa la práctica
- el material que se ha utilizado
- el método que se ha seguido
- los resultados obtenidos
- la comparación de los resultados obtenidos con la teoría
- las conclusiones que se pueden extraer de la comparación entre los datos experimentales y la teoría.

1.11.1. Partes de la memoria de prácticas

Para cubrir cada una de las especificaciones anteriores, la memoria de prácticas debe de tener los siguientes apartados:

1. Objetivos: donde se presentarán los objetivos más importantes de la práctica de laboratorio realizada.
2. Fundamento teórico: donde se explicarán de forma **breve** los fundamentos teóricos en los que se basa la práctica de laboratorio realizada.
3. Material: donde se enumerará el material que se ha usado para realizar la práctica.
4. Desarrollo y resultados: donde se explicará qué se ha hecho en el laboratorio y se presentarán las tablas o las representaciones gráficas con los datos tomados en el laboratorio.
5. Discusión: donde se compararán los datos tomados en el laboratorio, su comportamiento o su representación gráfica con el comportamiento o la representación gráfica que dice la teoría que cabría esperar. En este apartado hay que comentar las semejanzas o diferencias que se encuentran entre lo medido experimentalmente y lo que nos dice la teoría.

6. Conclusión: donde se presentan las principales conclusiones que puedan extraerse tanto de la práctica realizada como de la comparación entre los datos experimentales y lo que dice la teoría.

1.11.2. Presentación de datos

Los datos tomados en el laboratorio hay que presentarlos en tablas. En las entradas de cada tabla hay que especificar la magnitud física que se está midiendo así como sus unidades entre paréntesis. Por ejemplo:

I(A)	V(V)	R(Ω)
1	1	1
1	2	2

Para representar los datos gráficamente podemos usar cualquier herramienta pero hay que cuidar ciertos detalles como:

- poner la magnitud física que se representa en cada eje con sus unidades. O sea que cada eje tiene que llevar una etiqueta diciendo lo que estoy representando y en qué unidades lo estoy haciendo.
- las parejas de valores (x,y) deben de estar representadas por puntos y es conveniente no unir unos puntos con otros.
- cada gráfica tiene que llevar un título donde se especifique qué se está representando.
- si en una misma gráfica se representan varias funciones, hay que añadir obligatoriamente una leyenda donde se especifiquen los símbolos (o el color o el tipo de trazo) que se han utilizado para representar cada función.

1.11.3. Presentación general del documento

La presentación de la memoria es importante. Es conveniente que el documento sea claro, que queden diferenciadas las distintas partes del mismo. Es importante que las tablas y las gráficas puedan leerse cómodamente y sean claras. Por supuesto, hay que revisar la ortografía.

1.11.4. Bibliografía y referencias

Si en la elaboración de una memoria se ha utilizado algún tipo de material, hay que especificarlo añadiendo a la estructura un aparatado que llamaremos bibliografía o referencias. **Aunque puede costar entenderlo, copiar una práctica de otros compañeros o de otros años no es usar una referencia. Esto está totalmente prohibido. Si se detecta alguna práctica copiada automáticamente se le asignará un cero.**

2

PRÁCTICA 1: MEDIDAS EN CORRIENTE CONTINUA.

2.1. Objetivo

La primera práctica de este curso está orientada al conocimiento de los instrumentos disponibles en el laboratorio para realizar experiencias con corriente continua. Se realizarán medidas de asociaciones de resistencias y la comprobación experimental de la ley de Ohm.

2.2. Manejo de la fuente de alimentación y el polímetro. Descripción.

2.2.1. Fuente de alimentación FAC-363B

El modelo FAC-363B contiene tres fuentes de alimentación estabilizadas totalmente independientes. La primera suministra una tensión ajustable entre 0 y 30 V, con limitación de corriente ajustable entre 0 y 2 A. La segunda

es una fuente doble fija: -15 V, 0, +15 V, con una corriente máxima de 0.5 A. La tercera, también fija, suministra 5 V, con una corriente de hasta 1 A. La fuente de 30 V/2 A dispone de dos displays que indican simultáneamente la tensión y la corriente de salida. Las otras dos fuentes indican, por medio de un punto luminoso, el momento en que la corriente de salida sobrepasa el límite especificado, a partir del cual no se garantiza el valor de la tensión y la fuente está sobrecargada, por lo que será necesario disminuir el consumo de potencia para evitar un calentamiento excesivo.

Normas de uso

- Fuente de alimentación ajustable: Girar el botón de limitación de corriente de la fuente ajustable (3 en la figura 2.1) a la derecha hasta el máximo. Con el botón de control 2 de la figura ajustar la tensión de salida al valor deseado indicado en el display I.
- Fuentes fijas: Conectar la carga a los bornes correspondientes. Si se enciende uno de los indicadores (5 en la figura 2.1), la salida correspondiente está sobrecargada y hay que reducir el consumo.

2.2.2. El polímetro digital

El polímetro digital es un instrumento que permite la medida de tensiones, corrientes, resistencias, capacidades de condensadores, frecuencias, prueba de diodos, β en transistores bipolares y continuidad. Antes de proceder a la medida con el polímetro hay que comprobar que el conmutador de márgenes (3 en la figura 2.2) esté en su posición apropiada. Cuando se cambia de escala o de función, hay que retirar las puntas de prueba.

Medida de tensiones:

Para la medida de tensiones hay que seguir las siguientes indicaciones:

- Situar los conmutadores de margen (3 en la figura 2.2) y DC/AC en la posición adecuada.
- Conectar el cable de prueba negro al terminal “COM” (9 en la figura 2.2) y el cable de prueba rojo al terminal de entrada “V-Hz” del polímetro.
- Conectar los cables de prueba entre los dos puntos del circuito entre los que se quiere medir la caída de tensión y tomar la lectura en el display

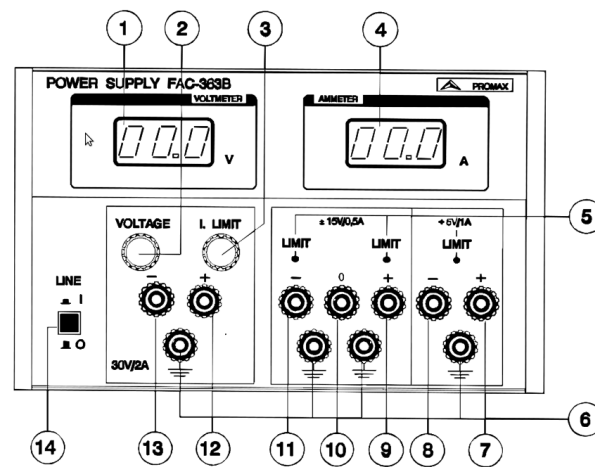


Figura 2.1: Fuente de alimentación FAC-363B. (1) Voltímetro digital 3 dígitos. (2) Ajuste de la tensión de salida (0-30 V). Potenciómetro multivuelta. (3) Ajuste del límite de corriente. Potenciómetro de una vuelta. (4) Amperímetro digital 3 dígitos. (5) Indicadores de exceso de carga en las fuentes de salida fija. (6) Bornes de conexión a tierra. (7) Borne positivo salida 5 V. (8) Borne negativo salida 5 V. (9) Borne salida +15 V. (10) Borne 0 V de la fuente de ± 15 V. (11) Borne salida -15 V. (12) Borne positivo salida 0-30 V. (13) Borne negativo salida 0-30 V. (14) Interruptor de puesta en marcha.

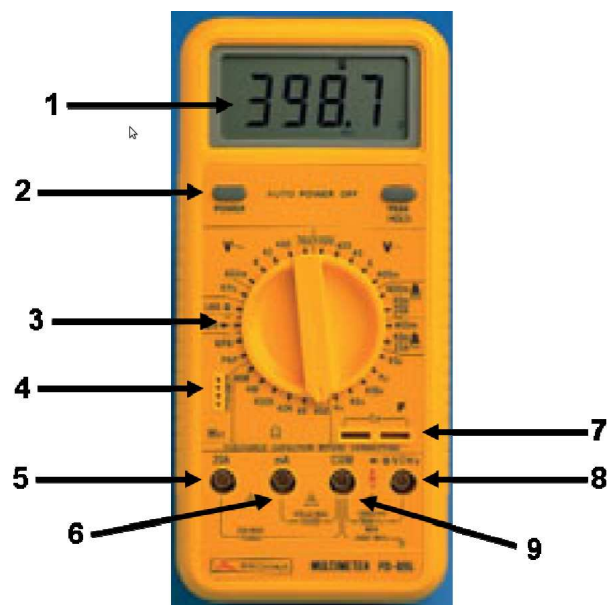


Figura 2.2: Polímetro digital.(1) Display LCD.(2) Interruptor de puesta en marcha. (3) Conmutador de funciones y escalas. (4) Zócalo hFE. (5) 20 A entrada de corriente hasta 20 A. (6) mA entrada de corriente hasta 200 mA. (7) Zócalo Cx. (8) V- -Hz entrada de tensión, resistencia y frecuencia. (9) COM entrada común para conexión del cable de prueba negro.

(1 en la figura 2.2). Puesto que el voltímetro presenta una resistencia interna R , al colocar éste en paralelo para efectuar la medida, la medida se puede ver afectada. Las especificaciones del fabricante indican que esta resistencia es de $10\text{ M}\Omega$.

Medida de resistencias:

Para la medida de resistencias hay que seguir las siguientes indicaciones:

- Situar el conmutador de margen (3 en la figura 2.2) en Ω con el fondo de escala adecuado.
- Conectar el cable de prueba negro al terminal “COM” (9 en la figura 2.2) y el cable de prueba rojo al terminal de entrada “V- Ω -Hz” del multímetro.
- Conectar los cables de prueba en los dos puntos entre los que se quiere medir la resistencia y tomar la lectura en el display (1 en la figura 2.2). En el caso de una única resistencia, se colocan las puntas entre los bornes de la misma.

EN NINGUN CASO DEBE EFECTUARSE LA MEDIDA DE RESISTENCIAS CONECTADAS DENTRO DEL CIRCUITO. PARA ELLO, EXTRAERLAS DEL CIRCUITO Y REALIZAR LA MEDIDA DE LA RESISTENCIA AISLADA. DE LO CONTRARIO, EL EQUIPO PUEDE VERSE SERIAMENTE DAÑADO.

2.2.3. Placa de montaje

Las distintas prácticas a realizar en el laboratorio se montarán sobre las placas que se muestran en la figura 2.3. Para realizar las experiencias que se propongan correctamente, hay que tener en cuenta que cada una de las celdas de las placas se encuentran conectadas entre sí por columnas y de cinco en cinco. Esto es, cada celda se encuentra conectada con las 4 celdas restantes de su misma columna.

2.2.4. Valor nominal de resistencias

El valor nominal de las resistencias viene indicado en las mismas usando un código de colores. En las resistencias del laboratorio se usa un código de cuatro bandas: la dos primeras bandas codifican un número de dos dígitos; la tercera banda codifica el exponente de una potencia de diez que se multiplica

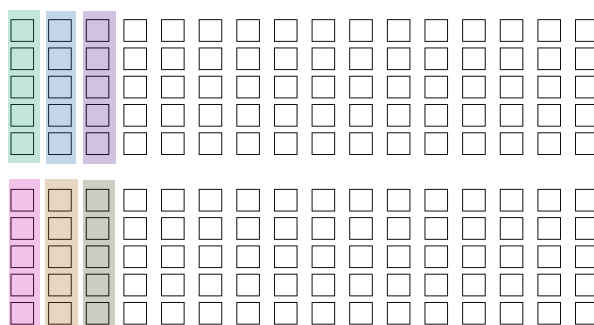


Figura 2.3: Placa de montaje. Se ha usado el mismo color para las celdas conectadas entre sí.

al anterior número; finalmente la cuarta banda indica el error relativo del valor nominal. Este código de colores se muestra en la figura 2.4.

2.3. Fundamento Teórico

2.3.1. Asociación de resistencias

Asociación en serie

En la figura 2.5 se muestra un ejemplo de asociación de las resistencias R_1 y R_2 en serie. Este tipo de asociación se caracteriza porque la corriente eléctrica que circula por cada resistencia de la asociación es la misma.

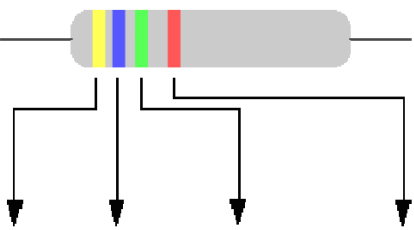
Asociación en paralelo

En la figura 2.6 se muestra un ejemplo de asociación de las resistencias R_1 y R_2 en paralelo. Este tipo de asociación se caracteriza porque la tensión entre los extremos de cada una de las resistencias de la asociación es la misma.

2.3.2. Ley de Ohm

La ley de Ohm establece la siguiente relación entre la corriente (I) que circula a través de una resistencia, el valor de dicha resistencia (R) y la caída de tensión (diferencia de potencial ΔV) en la misma:

$$\Delta V = IR \quad (2.1)$$



COLOR	1ª CIFRA	2ª CIFRA	Nº DE CEROS	TOLERANCIA (+/-%)
PLATA	-	-	0,01	10%
ORO	-	-	0,1	5%
NEGRO	-	0	-	-
MARRÓN	1	1	0	1%
ROJO	2	2	00	2%
NARANJA	3	3	000	-
AMARILLO	4	4	0000	-
VERDE	5	5	00000	-
AZUL	6	6	000000	-
VIOLETA	7	7	-	-
GRIS	8	8	-	-
BLANCO	9	9	-	-

Tolerancia: sin indicación +/- 20%

Figura 2.4: Código de colores en resistencias

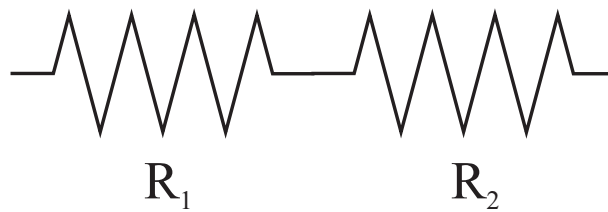


Figura 2.5: Resistencias en serie.

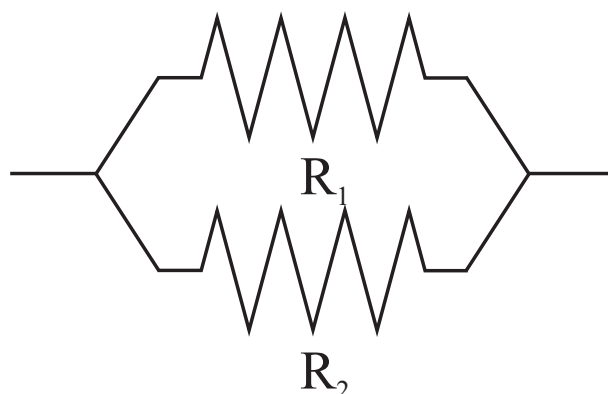


Figura 2.6: Resistencias en paralelo.

2.4. Procedimiento Experimental

El procedimiento experimental en esta práctica se divide en dos partes. En la primera parte se comenzará poniendo en práctica lo aprendido en el Capítulo 1 sobre la toma de datos y medidas directas. Para ello, se elegirán dos resistencias que llamaremos R_1 y R_2 . Se utilizará el polímetro para determinar el valor de dichas resistencias y sus errores de forma directa. A continuación, se montarán asociaciones de esas resistencias en serie y en paralelo y se volverá a usar el método presentado en el Capítulo 1 sobre medidas directas para determinar los valores de las resistencias equivalentes de cada asociación así como sus errores. Finalmente, compararemos los valores experimentales con los calculados usando las expresiones teóricas para cada asociación. Para calcular estos valores teóricos y sus errores usaremos un método indirecto, esto es, usaremos las ecuaciones. Esto permitirá estudiar la validez de dichas ecuaciones comparando con los valores medidos experimentalmente.

En la segunda parte se estudiará experimentalmente la ley de Ohm a través del montaje que se muestra en la figura 2.7. En este montaje, las resistencias están conectadas en serie, por lo que la corriente I que atraviesa R_1 y R_2 es la misma. Por ello, podemos deducir que en el anterior montaje, la caída de tensión o diferencia de potencial entre los extremos de cada resistencia será proporcional al valor de dicha resistencia (Ley de Ohm). Y al estar en serie, la constante de proporcionalidad (I) será la misma para ambas resistencias. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. en primer lugar se selecciona un valor de tensión en la fuente de alimentación y se procede a medir dicho valor con el polímetro
2. se miden el valor V_{AB} que es la diferencia de potencial entre los extre-

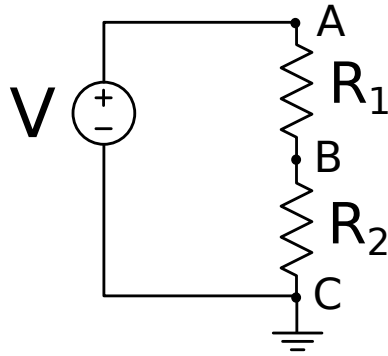


Figura 2.7: Montaje para el estudio de la Ley de Ohm.

mos R_1

3. se miden el valor V_{BC} que es la diferencia de potencial entre los extremos R_2
4. se calcula el valor $\frac{V_{BC}}{V_{AC}}$ con la calculadora
5. se calcula usando la Ley de Ohm aplicada R_1 el valor de I_1 , la intensidad que pasa por R_1
6. se calcula usando la Ley de Ohm aplicada R_2 el valor de I_2 , la intensidad que pasa por R_1

Este procedimiento se vuelve a repetir para dos valores más diferentes de tensión en la fuente.

2.5. Trabajo de prelaboratorio

El trabajo de prelaboratorio consistirá en completar un cuestionario que se encuentra en la plataforma PRADO.

2.6. Trabajo de laboratorio

Nombre de los alumnos:

Turno de la sesión de prácticas:

En esta parte estudiaremos dos montajes experimentales. En primer lugar realizaremos las asociaciones en serie y paralelo que se muestran en las figuras 2.5 y 2.6. Para ello usaremos dos resistencias que llamaremos R_1 y R_2 .

1. Escribe el código de colores de cada resistencia y utilízalo para determinar el valor nominal dado por el fabricante.

- Código colores R_1
- Código colores R_2

R_1^{nom}	ΔR_1^{nom}	R_2^{nom}	ΔR_2^{nom}

2. A continuación usaremos la teoría de errores presentada en el Capítulo 1 para calcular el valor experimental y el error de cada una de las resistencias. Expresa adecuadamente dichos valores en la tabla.

R	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Media
R_1				
R_2				

$D_{R_1} =$

$T_{R_1} =$

$D_{R_2} =$

$T_{R_2} =$

R_1^{exp}	ΔR_1^{exp}	R_2^{exp}	ΔR_2^{exp}

3. ¿Concuerda el valor experimental con el valor nominal dado por el fabricante, esto es, está el resultado experimental dentro del intervalo de error?
4. A continuación, siguiendo con el cálculo de errores explicado en el Capítulo 1 calcularemos los valores experimentales de las asocio-

nes de resistencias. ¿Cuál es el valor experimental de las asociaciones de R_1 y R_2 en serie (R_S) y en paralelo (R_P)?

R	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Media
R_S				
R_P				

$D_{R_S} =$

$T_{R_P} =$

$D_{R_P} =$

$T_{R_S} =$

R_s^{exp}	ΔR_s^{exp}	R_p^{exp}	ΔR_p^{exp}

5. Calcula ahora, usando los valores experimentales de R_1 y R_2 , el valor teórico (de acuerdo con las expresiones presentadas en la teoría) de la resistencia equivalente de las asociaciones en serie R_S y en paralelo R_P así como sus errores. Recuerda que ahora el cálculo de errores se realiza de forma indirecta, es decir, con una fórmula.

Valores sin redondear

R_S^{teo}	ΔR_S^{teo}	R_P^{teo}	ΔR_P^{teo}

Valores redondeados

R_S^{teo}	ΔR_S^{teo}	R_P^{teo}	ΔR_P^{teo}

¿Concuerdan con los valores medidos experimentalmente?

6. Realice el montaje experimental de la figura 2.7. Seleccione tres valores diferentes de la tensión de la fuente. Para cada uno de ellos complete la siguiente tabla incluyendo las unidades en cada una de las medidas. En este apartado **no** vamos a hacer cálculo de errores.

	V (Tensión de la fuente)	V_{AB} (Caída de tensión en R_1)	V_{BC} (Caída de tensión en R_2)	V_{BC}/V_{AB}	I_1	I_2
1						
2						
3						

7. ¿En qué resistencia se observa la mayor diferencia de potencial entre sus extremos? Justifica la respuesta.

8. Calcula el cociente de las resistencias R_2/R_1 y compáralo con los resultados de la columna V_{BC}/V_{AB} . ¿Existe alguna relación entre los mismos? ¿Cuál es la justificación teórica de este hecho?

3

PRÁCTICA 2: DIVISOR DE TENSIÓN Y EQUIVALENTE THEVENIN DE UN CIRCUITO. PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN.

3.1. Objetivo

En la segunda práctica vamos a realizar un divisor de tensión y comprobaremos qué condiciones ha de satisfacer el mismo para comportarse como una fuente de un circuito. Además, calcularemos el equivalente de Thevenin de un circuito. Finalmente, estudiaremos experimentalmente el Principio de Superposición.

3.2. Fundamento Teórico

3.2.1. Divisor de Tensión

Un divisor de tensión es un circuito eléctrico que puede usarse para proporcionar una tensión distinta a la de alimentación a un circuito dado. El

divisor de tensión más simple consiste en el montaje de la figura 3.1. En este montaje, los valores de las resistencias R_1 y R_2 determinan la caída de tensión entre los extremos de cada una de las resistencias (V_{AB} y V_{BC} respectivamente). Estas tensiones pueden ser usadas como nuevas fuentes de tensión en otro circuito. En esta práctica nos vamos a centrar en la caída de tensión entre los extremos de la resistencia R_2 (V_{BC} en la figura 3.1) y estudiaremos en qué casos puede usarse esta caída de tensión como fuente para otro circuito. Una **buena fuente de tensión** debe mantener constante

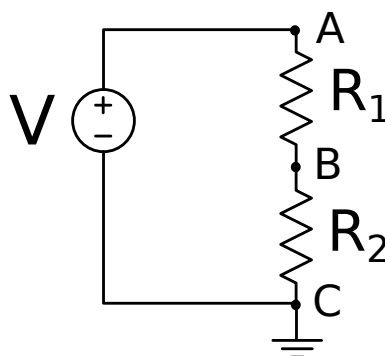


Figura 3.1: Montaje del divisor de tensión.

la tensión que proporciona independientemente del circuito que se conecte a la misma. Por ello, si queremos usar el circuito de la figura 3.1 entre los puntos B y C como una nueva fuente de tensión y que esta nueva fuente de tensión sea buena, es deseable que el valor V_{BC} no varíe cuando se conecte un circuito entre dichos puntos.

3.2.2. Equivalente Thevenin

El **teorema de Thevenin** establece que si una parte de un circuito eléctrico lineal está comprendida entre dos terminales X y Y, esta parte en cuestión puede sustituirse por un circuito equivalente que esté constituido únicamente por una fuente de tensión (de valor V_{th}) en serie con una resistencia (de valor R_{th}). De esta forma, al conectar un elemento entre los dos terminales X y Y (resistencia en la figura 3.2), la tensión que cae entre sus extremos y la intensidad que lo atraviesa son las mismas tanto en el circuito real como en el equivalente (ver figura 3.2).

3.2.3. Principio de Superposición

El Principio de Superposición establece el efecto de dos o más fuentes sobre cualquier elemento de un circuito lineal es igual a la suma de los efectos

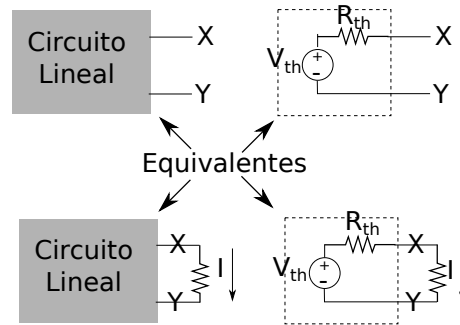


Figura 3.2: Equivalente Thevenin. En los dos circuitos inferiores la diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia (V_{XY}) y la intensidad que la atraviesa (I) son iguales.

de cada fuente por separado. Esto es, considerando que sólo esa fuente está activa y el resto están anuladas. Para anular una fuente de tensión hay que sustituirla por un cortocircuito y para anular una fuente de corriente hay que sustituirla por un circuito abierto. En la figura 3.3 se muestra un ejemplo del Principio de Superposición. La intensidad que circula por la resistencia puede calcularse como la suma de las intensidades calculadas en los circuitos de la derecha ($I = I_1 + I_2$). I_1 se ha calculado anulando todas las fuente menos V_1 . De igual manera, I_2 se ha calculado anulando todas las fuente menos V_2 .

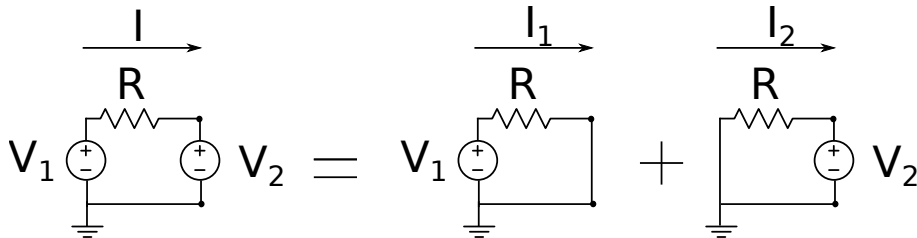


Figura 3.3: Ejemplo gráfico del Principio de Superposición.

3.3. Procedimiento Experimental

3.3.1. Divisor de Tensión

Para realizar nuestro estudio comenzaremos montando el divisor de tensión de la figura 3.1. La idea es utilizar los puntos B y C del divisor como una nueva fuente de tensión (de valor V_{BC}). Esto es, usamos el circuito de la figura 3.1 para dividir la tensión V y obtener una nueva tensión V_{BC} (la

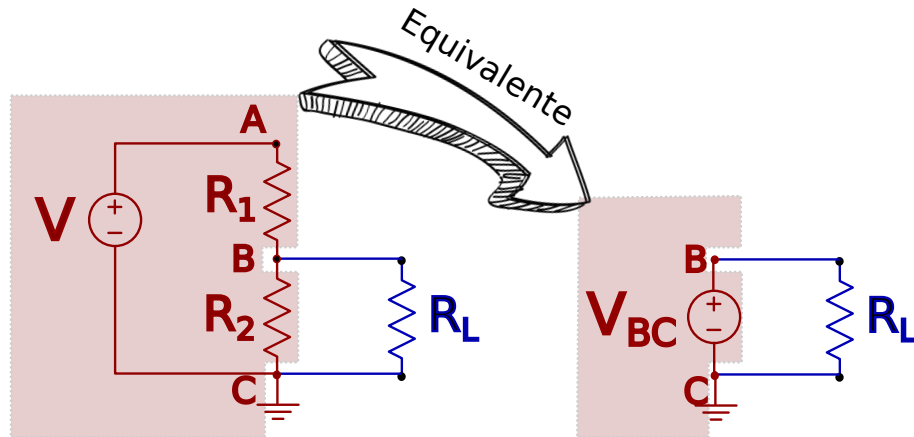


Figura 3.4: Divisor de tensión al que se ha cargado una resistencia R_L (izquierda) y circuito equivalente considerando al divisor como una fuente de tensión V_{BC} cargado con la resistencia R_L (derecha).

que cae entre los extremos de R_2) que utilizaremos como una nueva fuente (ver figura 3.4). Para estudiar la bondad de esta nueva fuente de valor V_{BC} que hemos creado entre los puntos B y C, conectaremos a esos dos puntos distintas resistencias que llamaremos resistencia de carga R_L . Por tanto, colocaremos cada resistencia R_L entre los puntos B y C del divisor, en paralelo con R_2 como se muestra en la figura 3.4. En concreto, se utilizarán valores de R_L del mismo orden magnitud, de valor mucho menor y de valor mucho mayor que R_1 y R_2 . La fuente creada con este procedimiento será buena si V_{BC} se mantiene constante y es independiente del valor de la R_L que usemos.

3.3.2. Equivalente Thevenin

Para realizar el estudio experimental del Teorema de Thevenin usaremos el montaje que aparece en la figura 3.1. Para ello mediremos la resistencia Thevenin entre los puntos B y C. Como hemos visto en teoría, para realizar esta medida hay que anular todas las fuentes presentes en el circuito. En segundo lugar se medirá la tensión Thevenin entre los puntos B y C.

Nota: Se recomienda que las resistencias utilizadas en este montaje no tengan valores que difieran en muchos órdenes de magnitud.

3.3.3. Principio de Superposición

Para estudiar experimentalmente el Principio de Superposición utilizaremos el montaje de la figura 3.6. En este circuito, con las dos fuente activas,

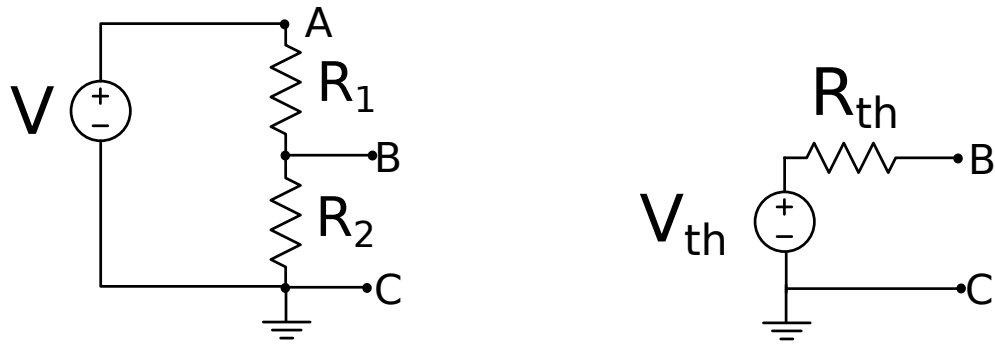


Figura 3.5: Equivalente Thevenin (derecha) del circuito divisor de tensión (izquierda).

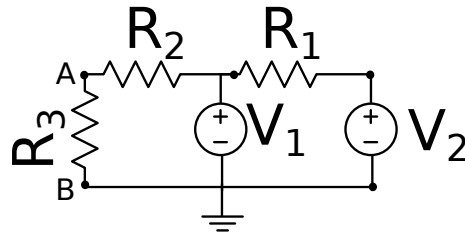


Figura 3.6: Equivalente Thevenin (derecha) del circuito divisor de tensión (izquierda).

mediremos la diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia R_3 (V_{AB}). A continuación anularemos la fuente V_1 y realizaremos de nuevo la medida de la diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia R_3 (que llamaremos V_{AB}^2). Finalmente, anularemos la fuente V_2 y mediremos de la diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia R_3 (que llamaremos V_{AB}^1). Con las medidas anteriores comprobaremos si se cumple experimentalmente el Principio de Superposición.

3.4. Trabajo de prelaboratorio

El trabajo de prelaboratorio consistirá en completar un cuestionario que se encuentra en la plataforma moodle.

3.5. Trabajo de laboratorio

Nombre de los alumnos:

Turno de la sesión de prácticas:

Divisor de tensión.

1. Realiza el montaje de la figura 3.1, para ello utiliza dos resistencias cuyo valor sea del mismo orden de magnitud. Mide los siguientes valores:

$R_1 =$

$R_2 =$

$V =$

$V_{BC} =$

2. A continuación, escoge tres resistencias que utilizará como resistencias de carga (R_L) en el circuito de la izquierda de la figura 3.4. Una cuyo valor sea del mismo orden de magnitud de R_2 , otra cuyo valor sea mucho mayor y otra cuyo valor sea mucho menor que el de R_2 . Con cada una de las resistencias anteriores, monta el circuito de la izquierda de la figura 3.4, mide V_{BC} y completa la siguiente tabla:

R_L	V_{BC}

3. A la vista de los resultados experimentales de la tabla anterior, ¿qué relación debe existir entre los valores de R_1 , R_2 y R_L para que el divisor de tensión se comporte como un buen divisor? Justifica tu respuesta. Recuerda que un buen divisor es aquel en el que la división de la tensión realizada (valores V_{AB} y V_{BC}) es constante y no se ve alterada al conectarle R_L .

4. Teniendo en cuenta la respuesta a la pregunta anterior, imagina ahora que dentro de una fuente de tensión real lo que se tiene es un divisor de tensión y que los dos bornes de dicha fuente son los puntos B y C del divisor, por tanto, la resistencia R_2 puede considerarse como la resistencia interna de la fuente. Entonces, ¿cómo ha de ser el valor de la resistencia interna de una fuente de tensión real para que la tensión que proporciona no dependa de lo que se conecte a la misma? Justifica la respuesta.

Equivalente Thevenin

1. Monte el circuito de la derecha de la figura 3.5 y mida experimentalmente los valores de V_{th} y R_{th} del circuito equivalente visto desde los puntos B y C.

$$V_{th} =$$

$$R_{th} =$$

Principio de Superposición

1. Monte el circuito de figura 3.6 y mida experimentalmente el valor de la diferencia de potencial entre los extremos de R_3 .

$$V_{AB} =$$

2. Anule la fuente de tensión V_1 en el circuito de figura 3.6 y mida experimentalmente el valor de la diferencia de potencial entre los extremos de R_3 .

$$V_{AB}^2 =$$

3. Anule la fuente de tensión V_2 en el circuito de figura 3.6 y mida experimentalmente el valor de la diferencia de potencial entre los extremos de R_3 .

$$V_{AB}^1 =$$

4. A la vista de los resultados de las medidas experimentales, ¿se cumple el Principio de Superposición? Justifique su respuesta.

4

PRÁCTICA 3: MEDIDAS EN CORRIENTE ALTERNA

4.1. Objetivo

En la tercera práctica vamos a aprender el manejo del osciloscopio y estudiaremos un circuito RC en el dominio de la frecuencia a través de la medida de los cambios en la tensión de la señal de salida debidos a las variaciones de la frecuencia de la señal de entrada. Con estas medidas, se realizará el diagrama de Bode en amplitud de la función de transferencia que se obtiene al tomar la salida en el condensador del circuito RC.

4.2. Manejo del osciloscopio

El osciloscopio es un instrumento análogo al multímetro o polímetro. Es decir, sirve para medir voltajes entre los polos de sus terminales llamados sondas. Se diferencia del polímetro en varios aspectos:

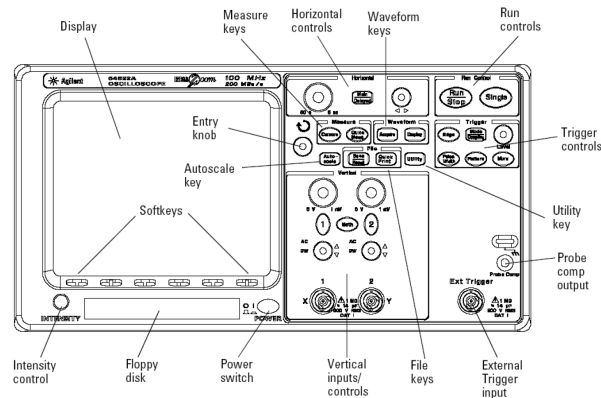


Figura 4.1: Frontal del osciloscopio 54622A de Agilent.

- Posee una pantalla para visualizar el voltaje medido en función del tiempo. En la pantalla, el eje vertical corresponde a voltajes y el horizontal a tiempo (salvo en un caso particular de discutiremos más adelante). Es decir, si mide una tensión continua aparece una línea de altura constante en toda la pantalla, mientras que si la tensión es alterna o transitoria, su altura varía con el tiempo respecto del eje horizontal.
- Por otro lado, este osciloscopio que usaremos posee dos canales de entrada X e Y, ó 1 y 2 en la figura 2.1) con sus respectivas sondas; es decir, podemos visualizar y medir dos señales a la vez, así como visualizar algunas operaciones aritméticas sencillas entre ellas (por ejemplo, la suma y resta de ambos canales).

Vista esta introducción, iniciemos el manejo del osciloscopio 54622A de Agilent, cuyo panel frontal se muestra en la figura 4.1. A continuación se describen los controles fundamentales y los procedimientos de operación para las operaciones más comunes a lo largo del desarrollo de las prácticas. En cualquier caso, siempre habremos de tener en cuenta las siguientes consideraciones iniciales:

1. Encendido del aparato: El botón de encendido POWER se encuentra en la parte inferior derecha de la pantalla. Al otro lado de la parte inferior de la pantalla tenemos el control de intensidad de la misma (INTENSITY).
2. Sondas: El aparato debe tener dos sondas, figura 2, o terminales insertados cada una en los bornes X-1 e Y-2. Cada sonda se compone a su vez de dos polos: el polo positivo es el gancho oculto en el extremo de

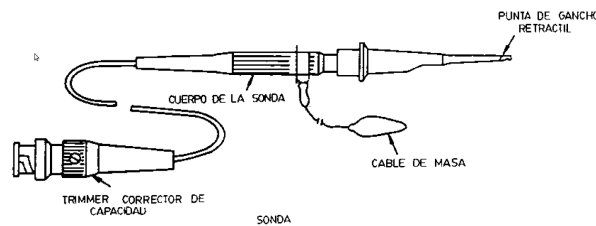


Figura 4.2: Sonda.

la sonda que aparece retrayendo la punta, y el polo negativo o cable de masa, el cocodrilo. La sonda medirá la diferencia de potencial entre ambos polos. La sonda se muestra en la figura .

3. Ajustes iniciales: El osciloscopio 54622A es un instrumento digital, con lo que se accede a la mayor parte de sus funciones a través de menús de configuración directamente en la pantalla; dichos menús se activan con los controles del panel frontal (figura 4.1) y se navega a través de ellos con las teclas (Softkeys) situadas bajo la misma. Además, el instrumento es capaz de ajustar los parámetros principales de la medida automáticamente con la tecla Autoscale (figura 4.1). Por tanto, para iniciar una medida, habremos de asegurarnos de que la tecla Run/Stop está en verde y presionar Autoscale para que el instrumento ajuste los parámetros principales.

4.2.1. Manejo de los controles

Ajuste Vertical (Voltajes)

Cada canal cuenta con tres controles (ver figura 4.3) situados en el panel frontal encima de la conexión de la sonda correspondiente; comenzando por la parte superior, corresponden a:

- Control de amplitud de la señal: este control giratorio permite variar la escala vertical (tensión) con la que se representa la señal correspondiente.
- Selector de canal: este botón permite seleccionar cada uno de los canales de entrada analógicos para que sea representado en pantalla. Cuando dicho canal está seleccionado, la tecla correspondiente está iluminada. Por tanto, se pueden seleccionar y representar ambos canales simultáneamente o cada uno por separado.

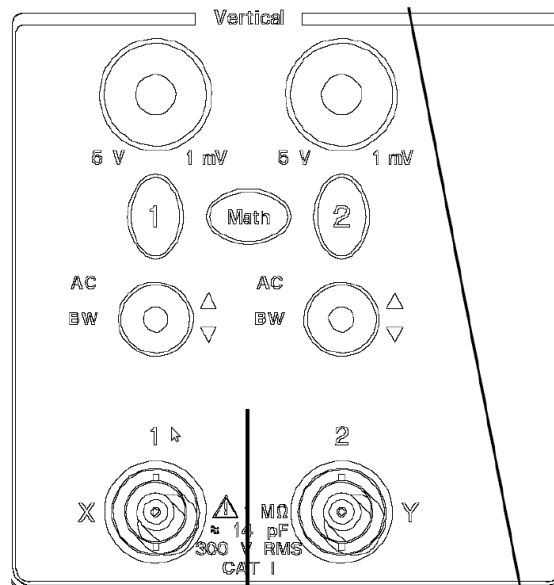


Figura 4.3: Controles verticales.

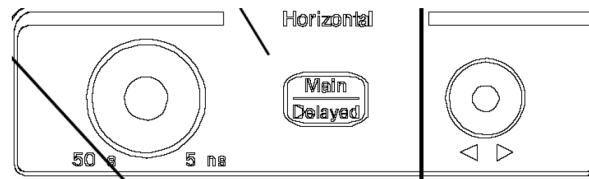


Figura 4.4: Controles horizontales.

- Ajuste vertical: este control giratorio permite desplazar verticalmente en la pantalla cada una de las señales, a fin de que el usuario pueda representarlas en la manera más conveniente.
- Además, el botón Math despliega el menú de funciones matemáticas con las entradas; este menú permite sumar, restar y multiplicar las dos señales de entrada, mostrando el resultado más complejas con las mismas.

Ajuste Horizontal (Tiempo)

Permite controlar la escala de tiempos (eje horizontal) de la representación en la pantalla del instrumento (ver figura 4.4). Esto se logra mediante dos controles básico:

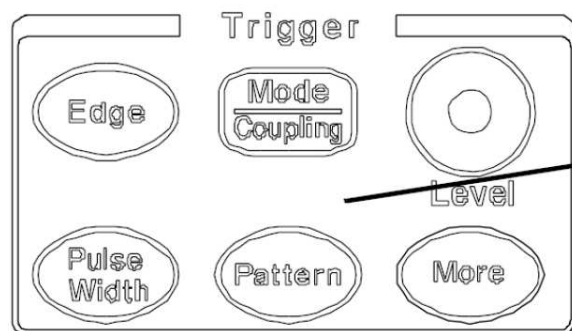


Figura 4.5: Controles de Trigger.



Figura 4.6: Menú de Mode/Coupling del Trigger.

- Control de base de tiempos: corresponde al control giratorio de la izquierda de la figura 4.4 y permite fijar la escala horizontal de la representación, desde 50 s/DIV hasta 5 ns/DIV.
- Control de posición horizontal: es el control giratorio de la derecha y permite desplazar la representación en pantalla a izquierda o derecha.
- Además, el botón Main/Delayed despliega el menú de adquisición. Dado que no haremos uso en profundidad de esta característica, tendremos que asegurarnos de que en dicho menú siempre está seleccionado Main, lo que podemos hacer utilizando los botones (softkeys) situados bajo la pantalla.

Parada de Imagen

Cuando el osciloscopio está funcionando normalmente, es posible presionar el botón Run/Stop (que se iluminará en rojo) para detener o congelar la imagen. Con esta función, en la pantalla queda representado el último ciclo de adquisición del aparato y es posible realizar diferentes medidas sobre esta imagen congelada.

Controles de Trigger

La función de trigger o disparo es la que permite al osciloscopio representar correctamente señales periódicas en la pantalla. Se puede acceder a la

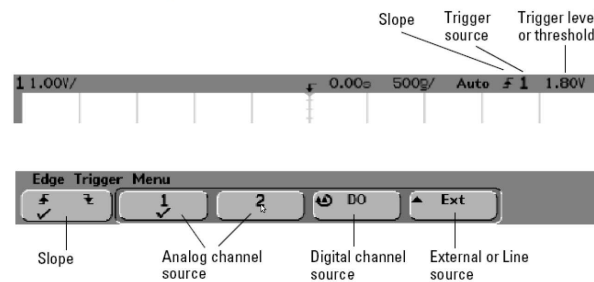


Figura 4.7: Menú de Edge de Trigger.

configuración del disparo con los controles correspondientes (figura 4.5). El botón **Mode/Coupling** despliega el menú correspondiente, en el que podremos navegar utilizando las softkeys (figura 4.6). En dicho menú podemos seleccionar el modo de disparo, el acoplamiento y otras características:

- Modo: podemos seleccionar entre Normal, Auto y Auto Level, aunque siempre deberemos situarlo en Auto.
- Acoplamiento: las opciones posibles son DC, AC y LF Reject. Normalmente deberemos seleccionar el modo DC, ya que en el modo AC se filtran las componentes DC de las entradas y, por tanto, podemos perder parte de las mismas. El modo LF Reject está indicado sólo cuando las entradas son de baja frecuencia y no pueden mostrarse correctamente, ya que elimina las componentes de 50 Hz.

Con la tecla **Edge** podemos desplegar un menú (figura 4.7) que permite afinar las características del trigger:

- Pendiente: selecciona si el disparo se producirá en la pendiente positiva o negativa de la señal fuente.
- Fuente: permite seleccionar la señal que actuará como fuente del disparo, bien entre las entradas analógicas o una señal externa (nuestro osciloscopio no posee entradas digitales). En caso de representación incorrecta de la señal tendremos que asegurarnos que en la señal de fuente hay una entrada válida.
- Nivel de disparo: el control giratorio Level permite, para una pendiente seleccionada, variar el nivel concreto en el que se produce el disparo. Se puede variar dicho nivel cuando al disminuir la amplitud de la señal de entrada se pierde la visualización de la señal.

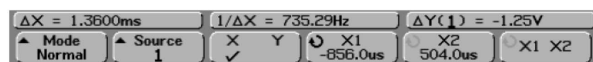


Figura 4.8: Menú de Cursores.

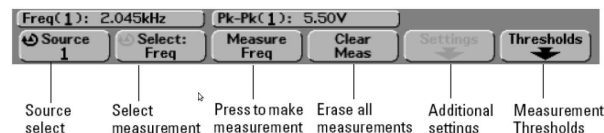


Figura 4.9: Menú de medida automática.

Controles y Medidas

El osciloscopio Agilent 54622A permite realizar medidas sobre las señales representadas en pantalla de dos maneras diferentes: utilizando los cursores y con el menú de medidas. Los cursores se muestran en pantalla presionando el botón **Cursors** que activa también el menú correspondiente y muestra las medidas en pantalla (figura 4.8) Se puede navegar por dicho menú utilizando las softkeys y mover los cursores en la pantalla con el control giratorio Entry knob situado en el panel frontal del osciloscopio. Por otra parte, el botón **Quick Meas** da acceso al menú de medidas rápidas (figura 4.9); entre las medidas automáticas que puede realizar el osciloscopio destacan las medidas de tensión (media, máximo, mínimo, amplitud, pico a pico, RMS, etc.) y de tiempo (frecuencia, periodo, tiempos de subida y bajada, etc.). Una vez que se ha activado el menú de medidas rápidas, se puede navegar en él con las softkeys:

- Fuente: permite seleccionar la señal sobre la que se realiza la medida.
- Selección: permite seleccionar la medida a realizar girando el control giratorio Entry knob tras pulsar esta tecla.
- Medida (Measure) realiza la medida, al tiempo que Clear Meas elimina las medidas realizadas que se muestran en la pantalla.
- Ajustes (Settings): permite fijar diferentes parámetros para algunos tipos de medida que así lo requieren.
- Umbrales (Thresholds): algunas medidas se realizan a partir de ciertos umbrales predefinidos, como los tiempos de subida y bajada que se realizan entre el 10 % y 90 % de variación de la señal. El acceso a esta parte del menú permite modificar los valores por defecto de estos umbrales (ver figura 4.10). Es importante notar que los umbrales por defecto del

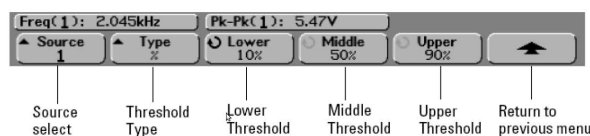


Figura 4.10: Menú de ajuste de umbrales.

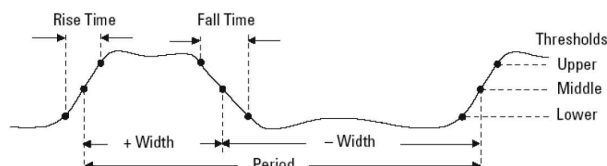


Figura 4.11: Definición de tiempo de subida (rise time) y tiempo de bajada (fall time).

aparato son 10 %, 50 % y 100 % para el inferior (Lower), medio (Middle) y superior (Upper), respectivamente con lo que será preciso modificar el umbral superior al 90 % para la medida de los tiempos de subida y bajada tal y como están definidos en la figura 4.11.

4.2.2. Modos de funcionamiento

Modo en tiempo real con uno y/o dos canales

Este es el modo usual, donde los voltajes aparecen verticales frente al eje temporal horizontal. Después de los ajustes iniciales, y una vez introducidas las señales en los canales correspondientes, para una mejor medida, es necesario realizar las siguientes operaciones:

1. Asegurarnos de que el acoplamiento es DC.
2. Accionar el botón Autoscale para que el aparato trate de fijar automáticamente la base de tiempos y las escalas de tensión.
3. Si el osciloscopio no es capaz de proporcionar una imagen estática, acceder al los menús de disparo y modificar el nivel del mismo como se ha descrito anteriormente.
4. Manipular la base de tiempos, las escalas de tensión y el desplazamiento vertical de las señales para conseguir la representación deseada en pantalla.

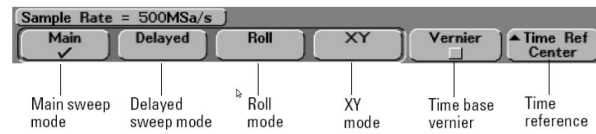
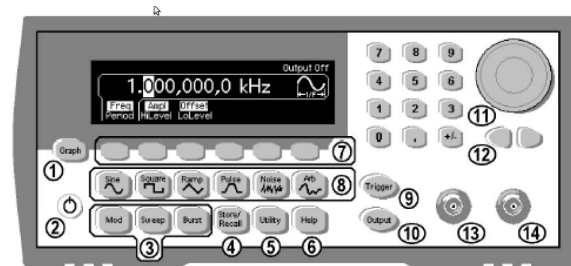


Figura 4.12: Menú del modo XY.



- | | |
|-------------------------------|--|
| 1 Graph Mode/Local Key | 9 Manual Trigger Key (used for Sweep and Burst only) |
| 2 On/Off Switch | 10 Output Enable/Disable Key |
| 3 Modulation/Sweep/Burst Keys | 11 Knob |
| 4 State Storage Menu Key | 12 Cursor Keys |
| 5 Utility Menu Key | 13 Sync Connector |
| 6 Help Menu Key | 14 Output Connector |
| 7 Menu Operation Softkeys | |
| 8 Waveform Selection Keys | |

Figura 4.13: Generador de señales Agilent 33220A.

5. Tendremos que tener siempre en cuenta que el nivel de referencia para cada canal (0V, tierra, GND) está marcado en el lateral izquierdo de la pantalla con el símbolo con una flecha apuntando a la derecha y el símbolo de tierra.

Modo XY

En este modo el voltaje de la señal en el canal 2-Y se representa en el eje vertical frente al voltaje en el canal 1-X. Se usa para obtener las características de transferencia (V_o frente a V_i) de los circuitos a medir. Para su uso, simplemente hay que accionar el botón Main/Delayed y seleccionar en el menú dicho modo (ver figura 4.12).

4.3. Manejo del generador de señales

El generador de señales Agilent 33220A (ver figura 4.13) es una fuente de tensión variable en el tiempo que proporciona señales de diferentes tipos (sinusoidales, triangulares, cuadradas, simétricas o asimétricas) en el margen

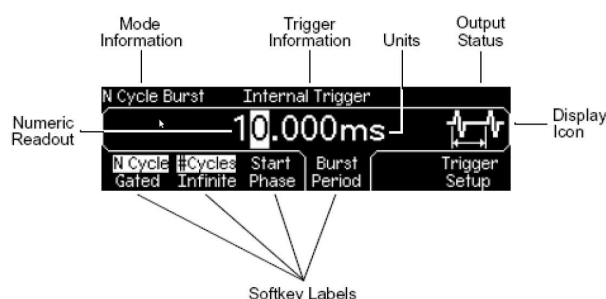


Figura 4.14: Pantalla del generador de señales en el modo numérico.

de frecuencias de 1 Hz a 20 MHz y con tensiones máximas de pico a pico de 20 V en circuito abierto. Además permite sumar a la señal variable una tensión continua o tensión “offset” positiva o negativa. La impedancia de salida del generador es de $50\ \Omega$.

4.3.1. Manejo del generador

En el terminal (14) el generador viene con un cable con dos terminales. Como cualquier fuente de tensión, este generador tiene la salida con dos polos, el rojo el positivo y el negro la referencia o negativo.

TÉNGASE CUIDADO DE NO CORTOCIRCUITAR ACCIDENTALMENTE AMBOS POLOS, SE PUEDE DAÑAR EL EQUIPO.

PARA QUE LA SEÑAL DE SALIDA SELECCIONADA SE APLIQUE EN LA SONDA DE SALIDA DEBE PULSARSE EL BOTÓN OUTPUT (10).

4.3.2. Pantalla de presentación de datos

La información acerca de la señal generada se puede observar en una pantalla LCD. Existen dos modos de funcionamiento que se pueden alternar pulsando la tecla GRAPH (1). Una vista de la pantalla en el modo numérico puede verse en la figura 4.14 y la del modo gráfico puede verse en la figura 4.15.

Para seleccionar los distintos parámetros de la señal se debe pulsar la tecla correspondiente (7) situada debajo del indicador que aparece en la pantalla. Para cambiar el valor del parámetro seleccionado (amplitud, frecuencia, offset...) se puede utilizar la rueda (11) junto con los botones (12) o el teclado

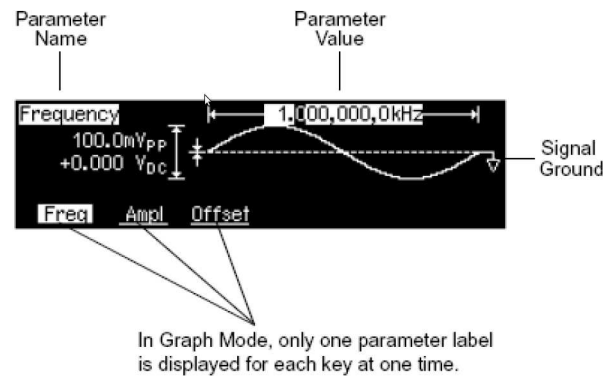


Figura 4.15: Pantalla del generador de señales en el modo gráfico.

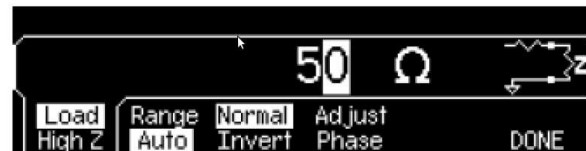


Figura 4.16: Pantalla del generador de señales para seleccionar la impedancia.

numérico y el grupo de teclas (7) para elegir valor y unidades respectivamente.

ANTES DE SELECCIONAR LOS PARÁMETROS DE LA SEÑAL DESEADA SE DEBE HABILITAR EL MODO DE ALTA IMPEDANCIA (HIGH Z) PULSANDO LA TECLA UTILITY (5) Y A CONTINUACIÓN LA MARCADA CON LOAD. Ver figura 4.16.

La forma de la señal generada se puede seleccionar utilizando el grupo de botones (8) de forma que es posible obtener señales sinusoidales, cuadradas, rampas o de tipo ruido blanco entre otras. En la figura 4.17 se muestra un detalle de esta parte del generador de señales.

MIDE LA AMPLITUD Y FRECUENCIA DE ALGUNAS SEÑALES PROCEDENTES DEL GENERADOR Y DEL TERMINAL DE CALIBRACIÓN DEL OSCILOSCOPIO.

4.4. Fundamento Teórico

Filtro paso bajo

En la figura 4.18 se representa un filtro paso bajo de primer orden.

Si analizamos detenidamente el circuito, podemos ver que la resistencia

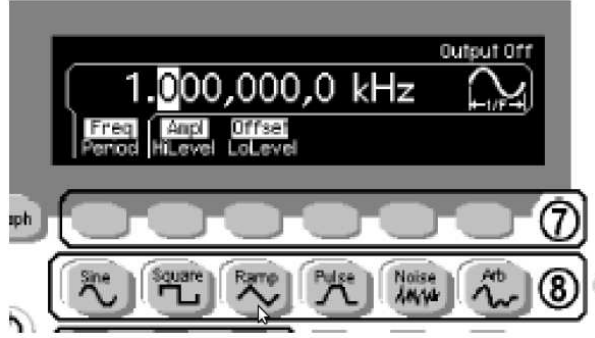


Figura 4.17: Selección de la forma de onda en el generador de señales.

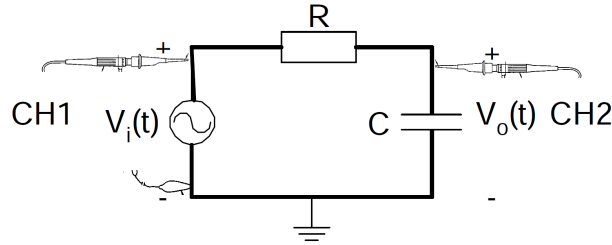


Figura 4.18: Filtro paso bajo de primer orden.

y el condensador están en serie. Por tanto, la impedancia equivalente de esta asociación es:

$$Z_{eq} = Z_R + Z_C = R + \frac{1}{j\omega C} = \frac{j\omega RC + 1}{j\omega C} = \frac{1 + j\omega RC}{j\omega C} \quad (4.1)$$

De esta forma, el fasor que representa a la corriente que circula por el circuito es:

$$i(\omega) = \frac{v_i(\omega)}{Z_{eq}} = v_i(\omega) \frac{j\omega C}{1 + j\omega RC} \quad (4.2)$$

siendo $v_i(\omega)$ el fasor que representa la tensión de la fuente de entrada. Por tanto, el fasor que representa la caída de tensión en el condensador, medido con el canal 2 (CH2) en la figura 4.18, es:

$$v_C(\omega) = i(\omega)Z_C = \frac{v_i(\omega)}{1 + j\omega RC} \quad (4.3)$$

De esta manera, la función de transferencia del circuito es

$$T(\omega) = \frac{v_C(\omega)}{v_i(\omega)} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (4.4)$$

En esta práctica vamos a obtener experimentalmente el diagrama de Bode de amplitud, por lo que es necesario calcular el módulo de la función de transferencia, obteniéndose:

$$|T(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}} \quad (4.5)$$

siendo $\omega_0 = 1/(RC)$ la frecuencia de corte del circuito. La función de transferencia en el diagrama de Bode se representa usando los decibelios, obteniéndose por consiguiente:

$$|T(\omega)|_{dB} = 20 \log \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}} \right] \quad (4.6)$$

Las características de este diagrama de filtro paso bajo son:

- Para bajas frecuencias no se atenúa la amplitud de salida (se mantiene muy parecida a la de entrada) y el diagrama de Bode vale en torno a 0 dB.
- Para una frecuencia igual a la de corte, la atenuación es de -3 dB.
- Para frecuencias superiores a la de corte la amplitud de salida se atenúa cada vez más (amplitud de salida más y más pequeña al aumentar la frecuencia), con una pendiente de 20 dB/década.

4.5. Procedimiento Experimental

Filtro paso bajo:

1. Dados una resistencia y un condensador, medir sus valores con el polímetro y anotarlos. Con ellos, calcula teóricamente la frecuencia de corte del filtro ω_0 .
2. Montar en el zócalo el circuito de la fig. 4.18. La fuente $v_i(t)$ será el generador de señal con forma de onda sinusoidal sin “offset” con amplitud pico a pico de 10 V.
3. Medir las amplitudes pico a pico de la entrada $v_i(t)$ (V_{ipp}) y de la señal de salida $v_o(t)$ (V_{opp}) y la frecuencia de la señal de entrada. Para ello poner la sonda del canal 1 del osciloscopio a medir la entrada y la del canal 2 la salida. No olvides poner al menos una de las masas

de la sondas al polo negativo del generador. Como vamos a obtener experimentalmente el diagrama de Bode en amplitud, debemos realizar esta operación repetidamente cambiando la frecuencia de la señal de entrada, construyendo una tabla. El rango de frecuencias que vamos a estudiar comprende entre los 100 Hz y los 500 KHz, con los factores 1, 2, 3, 5 y 8 en cada década. Para hacer más sencillo el procedimiento, comienza con el valor de la frecuencia más bajo, donde no se observa la atenuación de la señal de entrada. Esto es, comienza seleccionando en el generador una señal de entrada de amplitud 10V pico a pico, sin *offset* y de frecuencia 100Hz. Mide en el osciloscopio la amplitud de la señal de entrada, la de salida y la frecuencia de la señal de entrada. Repite esta operación aumentando la frecuencia a valores de 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz, 1000Hz, 2000Hz,...y sigue esta progresión hasta llegar a 500000Hz.

4. Buscar experimentalmente la frecuencia de corte (teóricamente es $f_c = 1/(2\pi RC)$, donde se cumple que $V_{opp}=0.7V_{ipp}$ y anotarla en la tabla. Compárala con la teórica.
5. Representar el diagrama de Bode en amplitud con ayuda de Excel (o similar) o papel milimetrado, donde en le eje X tendremos ω en escala logarítmica, y en el eje Y el módulo de la función de transferencia en decibelios, es decir, $20\log(V_{opp}/V_{ipp})$ correspondiente a cada frecuencia.
6. Sobre este diagrama, marcar la frecuencia de corte experimental y hallar la pendiente en la zona de bajada.

4.6. Trabajo de prelaboratorio

El trabajo de prelaboratorio consistirá en completar un cuestionario que se encuentra en la plataforma moodle.

4.7. Trabajo de laboratorio

Nombre de los alumnos:

Turno de la sesión de prácticas:

NOTA: Esta práctica lleva asociada la elaboración y entrega de una memoria de prácticas por lo que las cuestiones planteadas en el trabajo de laboratorio deben de contestarse en esa memoria.

1. Mida los valores de los elementos usados en el circuito:
 $R =$
 $C =$
2. Calcule la frecuencia de corte teórica usando los valores anteriores:
 $f_0 =$
 $\omega_0 =$
3. Realice una tabla con los datos necesarios para realizar el diagrama de Bode. Esta tabla debe de contar con los datos medidos de las frecuencias lineal (f) y angular (ω), la amplitud de la señal de salida y la amplitud de la señal de entrada.

$f^{teo}(\text{Hz})$	$f^{exp}(\text{Hz})$	$\omega^{exp}(\text{rad/s})$	$ V_{opp} (\text{V})$	$ V_{ipp} (\text{V})$	$\frac{ V_{opp} }{ V_{ipp} }$	$20 \cdot \log \frac{ V_{opp} }{ V_{ipp} }(\text{dB})$
100						
200						
300						
500						
800						
1000						
2000						
\vdots						
\vdots						
10^6						

5

PRÁCTICA 4. CARACTERIZACIÓN DE CIRCUITOS CON DIODOS.

5.1. Objetivo

En esta práctica vamos a obtener la relación entre la caída de tensión y la corriente en un diodo. Además, veremos cómo se comporta el diodo en un circuito sencillo. En concreto, utilizaremos en los montajes diodos rectificadores y diodos LEDs. En la figura 5.1 puede verse la correspondencia entre los símbolos de los diodos y los dispositivos que usaremos en el laboratorio.

5.2. Circuitos con diodos. Fundamento Teórico

El diodo es un dispositivo electrónico cuya relación I-V es la siguiente:

$$I = I_s(e^{\frac{qV_d}{nkT}} - 1) \quad (5.1)$$

siendo:

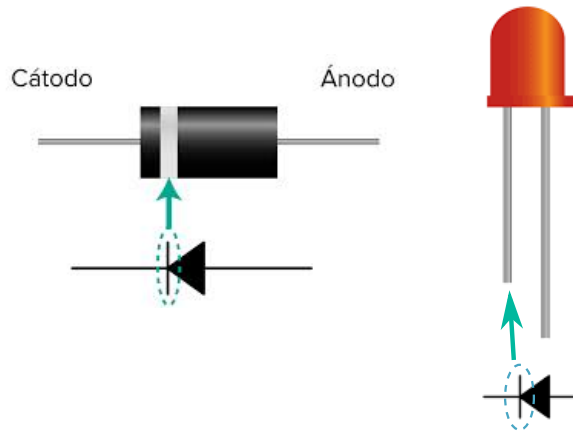


Figura 5.1: Diodos.

- I : La intensidad de la corriente que atraviesa el diodo y V_d la diferencia de tensión entre sus extremos.
- I_s : La corriente de saturación inversa.
- q : La carga del electrón (1.6×10^{-19} C).
- T : La temperatura de la unión (expresada en grados Kelvin).
- k : La constante de Boltzmann ($k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K).
- n : El índice de idealidad, que suele adoptar valores entre 1 (para el germanio) y del orden de 2 (para el silicio).

Dicha relación, al ser de tipo exponencial, hace más complicado la resolución de los circuitos. Por consiguiente, con el propósito de simplificar el cálculo, se usan modelos sencillos que dan una idea aproximada del funcionamiento del diodo pero sin usar la relación exponencial. Uno de estos modelos es el siguiente:

$$I_d = \begin{cases} 0 & \text{si } V_d < V_\gamma \\ \frac{V_d}{r_d} & \text{si } V_d > V_\gamma \end{cases} \quad (5.2)$$

Según este modelo, el diodo no conduce mientras la caída de tensión entre sus extremos sea menor o igual que un cierto valor V_γ (tensión umbral), que depende del tipo de diodo. Superado ese valor, el diodo conduce, presentando una resistencia interna r_d .

Un modelo aún más sencillo es el siguiente:

$$I_d = \begin{cases} 0 & \text{si } V_d < V_\gamma \\ \text{Conduce} & \text{si } V_d > V_\gamma \end{cases} \quad (5.3)$$

En este modelo se desprecia la resistencia del diodo, y se supone que puede circular cualquier valor de la corriente por el mismo si $V_d > V_\gamma$.

5.3. Circuitos con diodos. Procedimiento Experimental.

Realizaremos el montaje experimental mostrado en la figura 5.2 usando una resistencia de entre 1 k Ω y 10 k Ω , un diodo y una fuente de tensión variable. Usando el montaje anterior vamos a aplicar tensiones entre 0 y

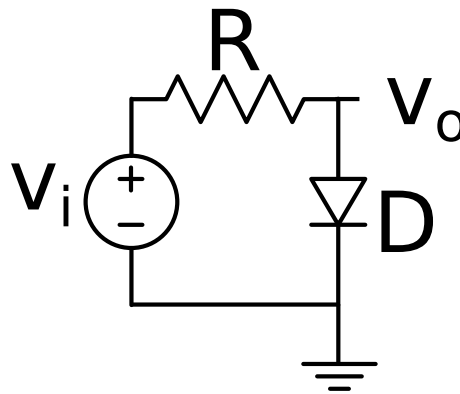


Figura 5.2: Montaje experimental.

4 Voltios en saltos de 0.2 Voltios. En cada paso anotaremos el valor de la diferencia de potencial entre los extremos del diodo, así como el valor de la diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia. Utilizaremos este último valor para calcular la intensidad de corriente que circula por el circuito (y, por tanto, por el diodo) usando la ley de Ohm aplicada a la resistencia.

Anotaremos en una tabla de Excel los siguientes datos:

- Primera columna: los valores de tensión mostrados en el display de la fuente (en V)
- Segunda columna: Los valores experimentales de tensión aplicada. Esto es, los valores medidos de diferencia de potencial entre los extremos de la fuente (en V)

- Tercera columna: Los valores experimentales medidos de caída de tensión en el diodo (en V)
- Cuarta columna: Los valores experimentales medidos de caída de tensión en la resistencia (en V)
- Quinta columna: La corriente calculada que circula por el circuito (en A)

$V_i(V)$	$V_i^{exp}(V)$	$V_d^{exp}(V)$	$V_R^{exp}(V)$	$I^{calculada}(A)$

5.3.1. Relación I-V en un diodo.

Para estudiar la relación entre intensidad y diferencia de potencial entre los extremos del diodo utilizaremos una gráfica. En ella, representaremos los datos de la tercera columna (en el eje x) y la quinta columna (en el eje y). Ajustaremos la relación entre ambos datos usando una línea de tendencia exponencial ($y = Ae^{Bx}$) e intentaremos deducir de los mismos los valores de la corriente de saturación inversa y del producto q/nkT . Para ello, despreciamos el -1 de la expresión de la corriente de la ecuación 5.2 e identificaremos cada uno de los términos de esta ecuación con los valores numéricos resultantes del ajuste por mínimos cuadrados (A será I_s y B será $\frac{q}{nKT}$).

5.3.2. Característica de transferencia.

La característica de transferencia de un circuito muestra cómo la salida varía en función de la entrada. Para ello, se representa la salida del circuito en el eje x de una gráfica y la entrada en el eje y. En esta parte de la práctica, representaremos la característica de transferencia del circuito anterior para tensiones de entrada positivas. En este caso usaremos como salida la diferencia de potencial medida experimentalmente entre los extremos del diodo (V_d) y como entrada la diferencia de potencial medida experimentalmente en la fuente de alimentación (V_i). Crearemos así un nuevo gráfico en el que se muestre el comportamiento del circuito y donde podremos ver experimentalmente el momento en el que el diodo comienza a conducir.

5.4. Trabajo de Prelaboratorio

El trabajo de prelaboratorio consistirá en completar un cuestionario en la plataforma moodle antes de asistir al laboratorio.

5.5. Trabajo de Laboratorio

Nombre de los alumnos:

Turno de la sesión de prácticas:

NOTA: Esta práctica lleva asociada la elaboración y entrega de una memoria de prácticas por lo que las cuestiones planteadas en el trabajo de laboratorio deben de contestarse en esa memoria.

1. Mida el valor de la resistencia utilizada.
 $R =$
2. En la representación de la relación $I - V$, realice el ajuste exponencial propuesto a partir de los datos tomados en el laboratorio. Usando dicho ajuste calcule:

Curva exponencial de ajuste	I_s	q/nkT	$n(T = 19C)$

3. En la característica de transferencia pueden apreciarse dos tramos correspondientes a dos comportamientos del diodo (diodo OFF y diodo ON). Usando esta representación gráfica, realice el ajuste lineal de cada uno de los tramos de la gráfica de la tensión aplicada frente a la tensión del diodo. A partir de dicho ajuste calcule:
 - Pendiente del primer tramo:
 - Coeficiente de correlación del primer tramo:
 - Pendiente del segundo tramo:
 - Coeficiente de correlación del segundo tramo:
 - Tensión de cambio de tramo (punto en el que se ve el cambio de comportamiento de la curva) :
4. ¿Coinciden los valores experimentales con los teóricos? Justifique su respuesta.

6

PRÁCTICA 5. CARACTERIZACIÓN DE CIRCUITOS CON MOSFETS

6.1. Objetivo

Es esta práctica se pretende caracterizar un transistor MOSFET. Para comprender el funcionamiento de este transistor, se medirán las característica I-V, se determinarán los parámetros de un MOSFET de canal N (NMOSFET) y se medirá su característica de transferencia.

6.2. Fundamento Teórico

El transistor MOSFET es un dispositivo de tres terminales llamados puerta (G del inglés *Gate*), drenador (D del inglés *Drain*) y fuente (S del inglés *Source*). La corriente que circula entre los terminales de fuente y drenador se controla a través del terminal de puerta. MOSFET son las siglas de Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor y, como su propio nombre indica, es un transistor de efecto de campo basado en la estructura MOS (Metal Oxido Semiconductor).

Existen dos tipos de MOSFETs dependiendo de la naturaleza del canal: NMOSFETs y PMOSFETs. En cuanto a su funcionamiento, pueden distinguirse tres modos de operación que dependerán de la relación entre los voltajes de los terminales:

- Región de Corte. En este modo, el transistor no funciona, esto es, no hay corriente entre fuente y drenador. En esta región:

$$V_{GS} < V_{th} \quad (6.1)$$

donde V_{th} es la tensión umbral del dispositivo.

- Región Triodo. En este modo, el transistor está encendido y el canal que se crea entre fuente y drenador permite la circulación de corriente entre ambos. Este modo se produce cuando $V_{GS} > V_{th}$ y $V_{DS} < (V_{GS} - V_{th})$. La corriente que circula entre la fuente y el drenador es:

$$I_D = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left((V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right) \quad (6.2)$$

donde μ_n es la movilidad efectiva de los portadores, W es la anchura de la puerta, L es su longitud y C_{ox} es la capacidad del óxido de puerta por unidad de área.

- Región de Saturación. Este modo se produce cuando $V_{GS} > V_{th}$ y $V_{DS} > (V_{GS} - V_{th})$. La corriente que circula entre la fuente y el drenador es:

$$I_D = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2 \quad (6.3)$$

6.3. Procedimiento Experimental

Para realizar esta práctica utilizaremos un circuito integrado, en concreto el 4007 que contiene 6 transistores MOS según indica la figura 6.1 (3 PMOS los tres de arriba y 3 NMOS los tres de abajo). En particular, trabajaremos con uno de los tres transistores NMOS. En la figura se muestra la correspondencia entre los pines del integrado y las fuentes, drenadores y puertas de cada uno de los transistores.

6.3.1. Característica de transferencia

Para calcular la característica de transferencia del transistor NMOS, montaremos el circuito de la figura 6.3, donde V_i es una fuente de alimentación

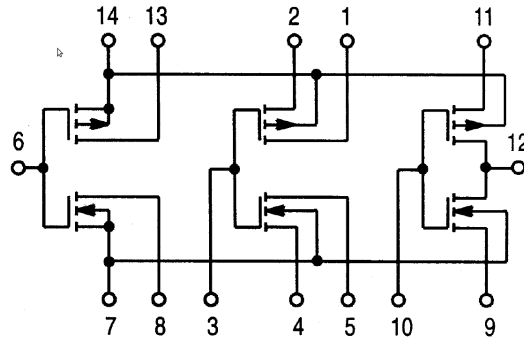


Figura 6.1: Transistores en el circuito integrado 4007.

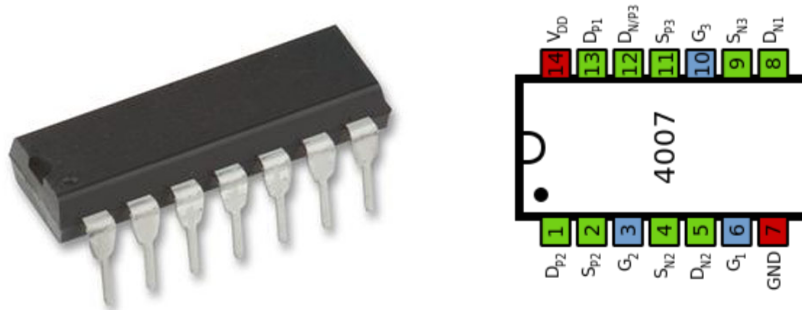


Figura 6.2: Circuito integrado 4007.

variable cuyo valor cambiaremos en el intervalo de 0V a 5V. Para cada uno de los valores de tensión de la fuente variable V_i , mediremos los siguientes valores:

- tensión drenador-fuente (V_{DS})
- tensión puerta-fuente (V_{GS})
- tensión entre los extremos de R_G

Los valores anteriores se anotarán en una tabla que deberá tener al menos **15** entradas. A partir de los datos anteriores, se realizará una representación gráfica de la tensión drenador-fuente (V_{DS}) frente a la tensión de entrada (V_i). Esta gráfica es la característica de transferencia del circuito cuando la entrada se coloca en la fuente que hay en la puerta y la salida en el drenador. Como cualquier característica de transferencia, muestra cómo la salida (V_{DS}) se ve afectada por los cambios en la entrada (V_i).

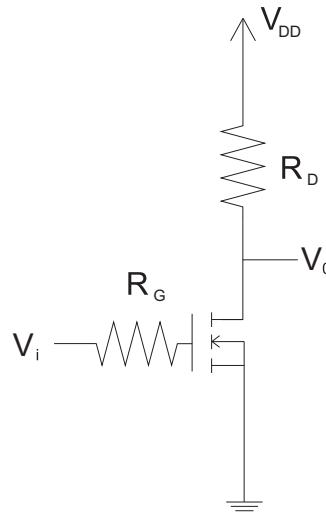


Figura 6.3: Montaje experimental para la medida de la característica de transferencia de un NMOS.

6.3.2. Curva I-V de un MOSFET en saturación

Para calcular la característica I-V en saturación del transistor NMOS, montaremos el circuito de la figura 6.4, en el que puerta y drenador están cortocircuitados y donde V_i es una fuente de alimentación variable cuyo valor cambiaremos en el intervalo de 0V a 5V. Para cada uno de los valores de tensión de la fuente variable V_i , mediremos los siguientes valores:

- tensión entre los extremos de R_D
- tensión puerta-fuente ($V_{GS}=V_{DS}$).

Los valores anteriores se anotarán en una tabla que deberá tener al menos **15** entradas. A partir de los datos anteriores y usando la Ley de Ohm aplicada a la resistencia R_D , se calculará la intensidad que circula por el drenador y la fuente (I_D). Finalmente, se prepresentará en una gráfica la intensidad de drenador (I_D) frente a la tensión puerta-fuente (V_{GS}). Usando esa gráfica, se realizará un ajuste por mínimos cuadrados para estimar la tensión umbral y la constante $\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$ teniendo en cuenta que el transistor está en saturación.

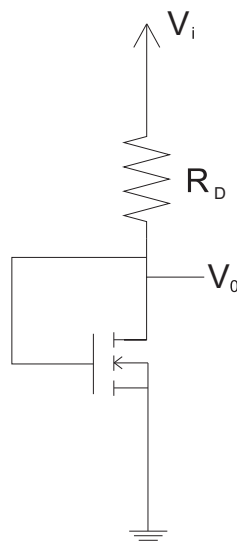


Figura 6.4: Montaje experimental para la medida de la característica I-V de un NMOS.

6.4. Trabajo de Prelaboratorio

El trabajo de prelaboratorio consistirá en completar un cuestionario en la plataforma moodle antes de asistir al laboratorio.

6.5. Trabajo de Laboratorio

Nombre de los alumnos:

Turno de la sesión de prácticas:

NOTA: Esta práctica lleva asociada la elaboración y entrega de una memoria de prácticas por lo que las cuestiones planteadas en el trabajo de laboratorio deben de contestarse en esa memoria.

1. Para el montaje de la figura 6.4, mide los valores de R_G y R_D .
 $R_G =$ $R_D =$
2. Realiza al menos quince medidas diferentes variando el valor de V_i y construye una tabla en la que aparezcan las medidas siguientes:

V_{DS} (V)	V_{GS} (V)	V_{RG} (V)	I_G (A)	V_{RD} (V)	I_D (A)
\vdots					

3. ¿Coinciden los valores calculados de la intensidad de puerta con los esperados teóricamente?
4. Pinta la característica de transferencia ¿Coincide con la esperada teóricamente?
5. Para el montaje de la figura 6.4, mide el valor de R_D .
 $R_D =$
6. Para el montaje de la figura 6.4, realiza al menos quince medidas diferentes variando el valor de V_i y construye una tabla en la que aparezcan las medidas siguientes:

$V_{GS} = V_{DS}$ (V)	V_{RD} (V)	I_D (A)
\vdots		

7. Pinta la característica I-V, esto es I_D frente a (V_{GS}) .
8. Realiza el ajuste por mínimos cuadrados y estima los parámetros de ese ajuste:

V_{th} (V)	$\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$ (A/V ²)	coeficiente de correlación del ajuste

7

PRÁCTICA 6. FAMILIAS LÓGICAS NMOS Y CMOS.

7.1. Objetivo

El objetivo de esta práctica es montar y estudiar algunas puertas lógicas utilizando transistores MOS. Comenzaremos realizando un inversor utilizando un transistor y una resistencia, posteriormente haremos otro usando la lógica CMOS y por último implementaremos una puerta NAND y otra NOR con esta lógica.

7.2. Procedimiento Experimental

Trabajaremos con un circuito integrado, el 4007, que contiene 6 transistores MOS según indica la figura 7.1, (3 PMOS los tres de arriba y 3 NMOS los tres de abajo).

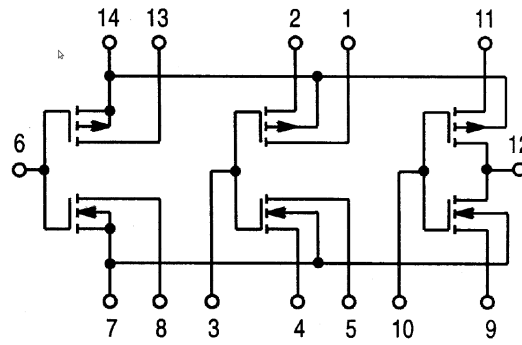


Figura 7.1: Circuito integrado 4007.

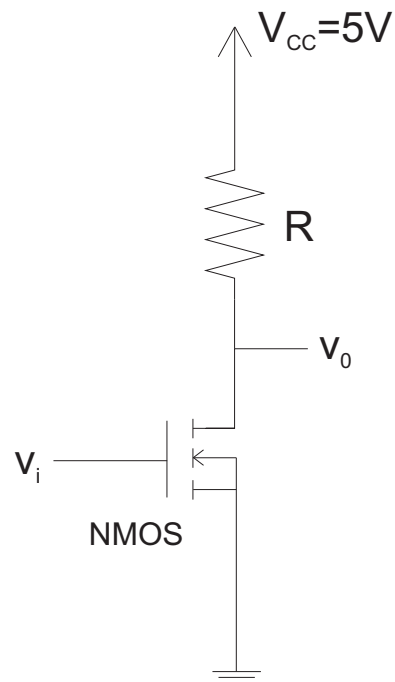


Figura 7.2: Montaje experimental del inversor NMOS.

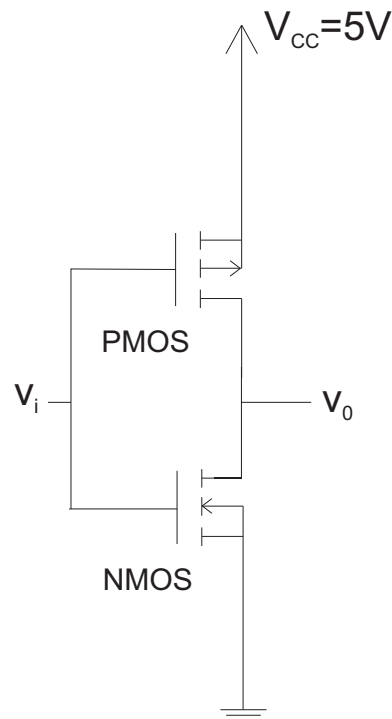


Figura 7.3: Montaje experimental del inversor CMOS.

7.2.1. Inversor NMOS.

Para estudiar el inversor NMOS, utilizaremos el circuito de la figura 7.2. Como entrada utilizaremos una señal cuadrada de amplitud 5V que varíe entre 0 y 5V. Para este circuito se pide:

1. Representar con la mayor fidelidad posible (escalas, retardo, etc.) la figura que aparece en el osciloscopio cuando una de las sondas está midiendo la entrada y la otra la salida.
2. Calcular los tiempos de subida y bajada de la salida y realizar a partir de éstos una estimación del tiempo de retardo de la puerta. Representar igualmente la figura de la pantalla del osciloscopio a partir de la cual realizamos estas mediciones.

7.2.2. Inversor CMOS

Para estudiar el inversor CMOS, utilizaremos el circuito de la figura 7.3. Como entrada utilizaremos una señal cuadrada de amplitud 5V que varíe entre 0 y 5V. Para este circuito se pide:

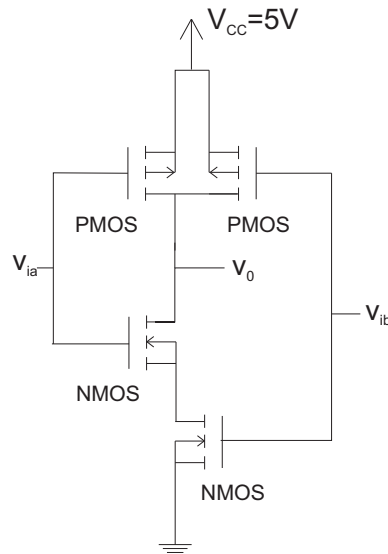


Figura 7.4: Montaje experimental de la puerta NAND.

1. Representar con la mayor fidelidad posible (escalas, retardo, etc.) la figura que aparece en el osciloscopio cuando una de las sondas está midiendo la entrada y la otra la salida.
2. Calcular los tiempos de subida y bajada de la salida y realizar a partir de éstos una estimación del tiempo de retardo de la puerta. Representar igualmente la figura de la pantalla del osciloscopio a partir de la cual realizamos estas mediciones.

7.2.3. Puerta NAND

Para realizar el montaje de la puerta NAND, utilizaremos el circuito de la figura 7.4. Como tensión v_{ia} utilizaremos una señal cuadrada de amplitud 5V que varíe entre 0 y 5V. Para v_{ib} primero introducimos un valor constante de 0V y estudiaremos la señal de salida. Seguidamente cambiaremos el valor de v_{ib} a 5V y estudiaremos de nuevo la señal de salida en el osciloscopio.

7.2.4. Puerta NOR

Para realizar el montaje de la puerta NOR, utilizaremos el circuito de la figura 7.5. Como tensión v_{ia} utilizaremos una señal cuadrada de amplitud 5V que varíe entre 0 y 5V. Para v_{ib} primero introducimos un valor constante de 0V y estudiaremos la señal de salida. Seguidamente cambiaremos el valor de v_{ib} a 5V y estudiaremos de nuevo la señal de salida en el osciloscopio.

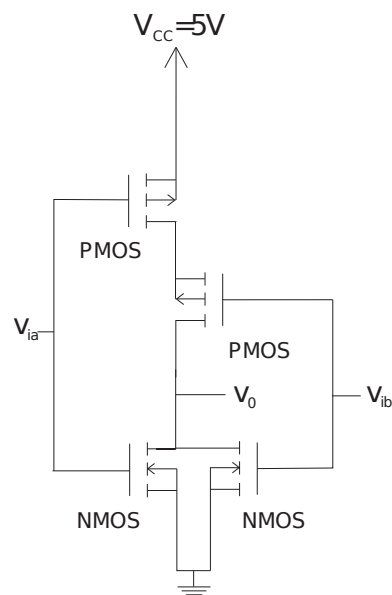


Figura 7.5: Montaje experimental de la puerta NOR.

7.3. Trabajo de Prelaboratorio

El trabajo de prelaboratorio está propuesto en la plataforma moodle a través de la cual debe enviarse antes de asistir al laboratorio.

7.4. Trabajo de Laboratorio

Nombre de los alumnos:

Turno de la sesión de prácticas:

1. Representar con la mayor fidelidad posible (escalas, retardo, etc.) la figura que aparece en el osciloscopio cuando una de las sondas está midiendo la entrada y la otra la salida al alimentar la entrada del circuito de la figura 7.2 con una señal cuadrada de amplitud 5V que varíe entre 0 y 5V.
2. Calcular los tiempos de subida y bajada de la salida en el montaje de la figura 7.2 y realizar a partir de éstos una estimación del tiempo de retardo de la puerta. Representar igualmente la figura de la pantalla del osciloscopio a partir de la cual realizamos estas mediciones.
3. Representar con la mayor fidelidad posible (escalas, retardo, etc.) la figura que aparece en el osciloscopio cuando una de las sondas está midiendo la entrada y la otra la salida al alimentar la entrada del circuito de la figura 7.3 con una señal cuadrada de amplitud 5V que varíe entre 0 y 5V.

4. Calcular los tiempos de subida y bajada de la salida en el montaje de la figura 7.4 y realizar a partir de éstos una estimación del tiempo de retardo de la puerta. Representar igualmente la figura de la pantalla del osciloscopio a partir de la cual realizamos estas mediciones.

5. Calcular los tiempos de subida y bajada de la salida en el montaje de la figura 7.5 y realizar a partir de éstos una estimación del tiempo de retardo de la puerta. Representar igualmente la figura de la pantalla del osciloscopio a partir de la cual realizamos estas mediciones.

6. Razonar a partir de las medidas realizadas en el laboratorio para el montaje de la figura 7.4 si el comportamiento del circuito se corresponde con el de una puerta NAND.

7. Razonar a partir de las medidas realizadas en el laboratorio para el montaje de la figura 7.5 si el comportamiento del circuito se corresponde con el de una puerta NOR.

8

PRÁCTICA 7. EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL.

8.1. Objetivo

El objetivo de esta práctica es el estudio del comportamiento del Amplificador Operacional a través de sus distintas funciones.

8.2. Fundamento Teórico

El amplificador operacional (A.O.) es un circuito integrado monolítico que en primera aproximación proporciona una ganancia infinita, una impedancia de entrada infinita, un ancho de banda también infinito, una impedancia de salida nula, un tiempo de respuesta nulo y ningún ruido. Como la impedancia de entrada es infinita también se dice que las corrientes de entrada son cero. El esquema de su modelo ideal se muestra en la figura 8.1. El comportamiento del A.O. dentro de un circuito dependerá de si hay o no retroalimentación su salida. Si no hay retroalimentación, la salida del A.O. será la diferencia entre sus dos entradas multiplicada por un factor (ganancia). Debido a la limitación

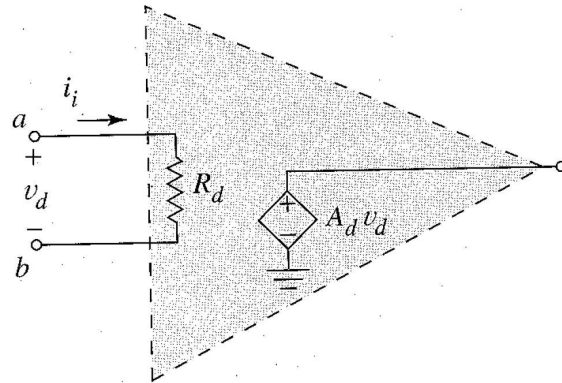
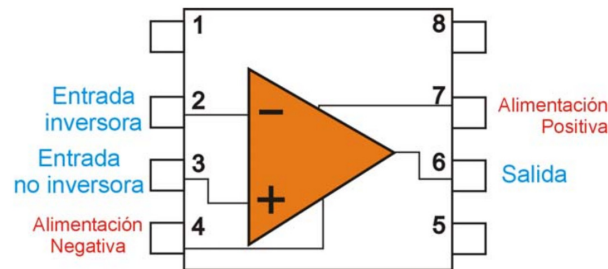


Figura 8.1: Modelo ideal del Amplificador Operacional.

Figura 8.2: Correspondencia de las patillas del AO $\mu A741$.

que supone no poder entregar más tensión de la que se usa para alimentar el A.O., este dispositivo estará saturado si se da este caso. Cuando existe realimentación negativa, el circuito se analiza utilizando dos aproximaciones:

- La tensión en la entrada inversora es igual a la tensión en la entrada no inversora ($V_- = V_+$).
- Las intensidades que circulan por las entradas inversoras y no inversoras son nulas ($I_- = I_+ = 0$).

8.3. Procedimiento Experimental

En el laboratorio trabajaremos con el amplificador operacional $\mu A741$. Este está encapsulado y tiene ocho patillas. Las patillas se numeran como muestra la figura 8.2. En esta práctica alimentamos el amplificador operacional entre +15 V y -15 V para realizar los siguientes montajes experimentales:

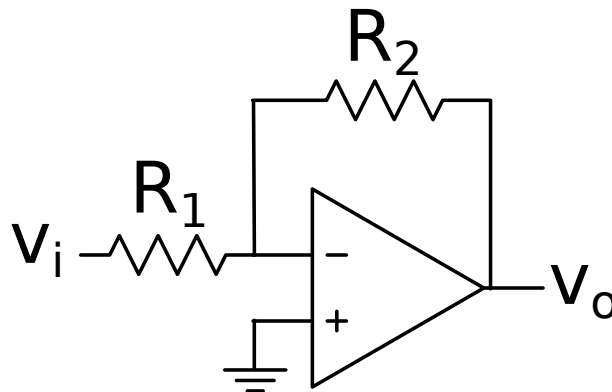


Figura 8.3: Circuito inversor.

8.3.1. Circuito inversor.

En esta parte de la práctica estudiaremos el comportamiento de un circuito inversor, esto es, un circuito en el que la señal de salida es la señal de entrada amplificada e invertida. Para ello utilizaremos el montaje experimental que se muestra en la figura 8.3. En concreto, se pretende diseñar un inversor de ganancia $A_V = V_o/V_i = 10$. Para este circuito:

- Probar que el circuito tiene dicha ganancia. Para ello aplicar varias señales sinusoidales de distinta amplitud de tensión y realizar un ajuste lineal con los valores de entrada y salida.
- Encontrar el valor de la tensión de entrada V_i para el cual la salida deja de aumentar.

8.3.2. Circuito no inversor.

En esta parte de la práctica estudiaremos el comportamiento de un circuito no inversor en el que la salida es simplemente la señal de entrada amplificada. Para ello utilizaremos el montaje experimental que se muestra en la figura 8.4. En concreto, se pretende diseñar un inversor de ganancia $A_V = V_o/V_i = 11$. Para este circuito:

- Probar que el circuito tiene dicha ganancia. Para ello aplicar varias señales sinusoidales de distinta amplitud de tensión y realizar un ajuste lineal con los valores de entrada y salida.
- Encontrar el valor de la tensión de entrada V_i para el cual la salida deja de aumentar.

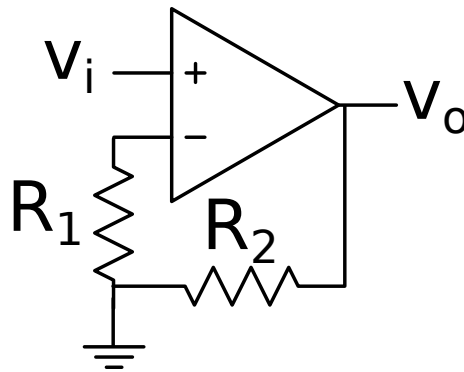


Figura 8.4: Circuito no inversor.

8.4. Trabajo de Prelaboratorio.

El trabajo de prelaboratorio está en la plataforma moodle a través de la cual debe enviarse antes de asistir al laboratorio.

8.5. Trabajo de Laboratorio

Nombre de los alumnos:

Turno de la sesión de prácticas:

1. Para el circuito inversor, ¿qué pendiente se obtiene de la representación de la salida frente a la entrada? ¿Qué coeficiente de correlación se obtiene? ¿Concuerdan los datos teóricos con los experimentales?
2. Para el circuito inversor, ¿para qué valor la salida deja de aumentar? ¿Por qué ocurre esto?
3. Para el circuito no inversor, ¿qué pendiente se obtiene de la representación de la salida frente a la entrada? ¿Qué coeficiente de correlación se obtiene? ¿Concuerdan los datos teóricos con los experimentales?