



Experiencia 2: Mediciones AC

Guía previa

1. Objetivos

Esta guía busca preparar al alumno para el trabajo de laboratorio de la experiencia 2, en la que se estudiará el uso de la fuente de potencia, las funcionalidades AC del multímetro y el uso básico del osciloscopio.

En el trabajo previo, el alumno deberá investigar ciertas características del multímetro y realizar simulaciones que le serán de utilidad durante el desarrollo de la experiencia.

2. Material de estudio

2.1. Conexiones a tierra

Al usar más de un instrumento de laboratorio se debe tener especial cuidado al realizar conexiones entre ellos. Considere la situación que se muestra en la Fig. 1, donde se quiere medir la salida del generador de funciones con un osciloscopio. Se puede ver que en cada instrumento el terminal negativo está conectado a la tierra interna y al chasis.

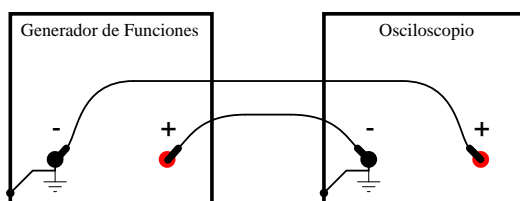


Figura 1: Conexión entre instrumentos.

A primera vista podría parecer que las conexiones están bien. Sin embargo hay un grave problema: el terminal de tierra de los instrumentos no solo está conectado al chasis de ellos, sino que también a la de tierra del enchufe a través del cable de alimentación. Al agregar explícitamente estas conexiones, se obtiene el diagrama de la Fig. 2a.

Ahora se ve claramente que el terminal negativo del osciloscopio produce un cortocircuito en la salida del generador de funciones. Esto producirá la circulación de una alta corriente por ambos instrumentos, lo que puede causar daños significativos. Este problema se soluciona modificando la conexión de manera que la tierra de un instrumento se conecte siempre al terminal de tierra del otro, como se muestra en la figura 2b.

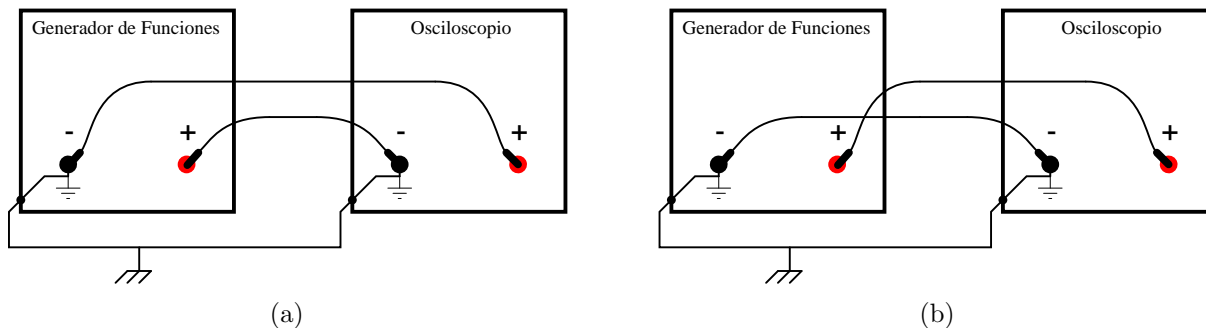


Figura 2: Conexión entre instrumentos y a tierra.

En conclusión, cada vez que realice una conexión entre diferentes instrumentos debe preocuparse de hacerlo con la polaridad correcta. Recuerde que en caso de dañar un instrumento por mal uso, deberá responder por la reparación o reemplazo de éste.

Ante lo anterior surge la duda si es realmente necesario conectar los terminales de tierra entre los instrumentos, dado que están conectados entre ellos a través de los cables de alimentación y la instalación eléctrica. Sin embargo, el terminal de tierra de la instalación eléctrica puede no siempre ser confiable, e incluso podría no haber uno. Además, los cables de alimentación suelen ser bastante largos y podrían actuar como antenas, captando interferencia. Por lo anterior, es recomendable realizar directamente la conexión de los terminales de tierra, asegurando así que todos los instrumentos estén referidos al mismo potencial.

Es relevante mencionar que como el chasis de los equipos está conectado a tierra internamente, se debe tener especial cuidado de que no entre en contacto con otros cables o dispositivos, ya que producirían una descarga eléctrica que puede generar daños considerables.

Es posible eliminar la conexión a tierra de un instrumento usando un cable de alimentación sin el terminal del medio (tierra). Esto puede ser útil, por ejemplo, si se requiere conectar el generador de funciones entre dos nodos que están a un potencial distinto de cero respecto a tierra. A veces se usa el osciloscopio levantado de tierra para poder medir voltajes entre dos nodos cualquiera, y no necesariamente entre un nodo y tierra. Sin embargo, es recomendable evitar estas prácticas, ya que la conexión a tierra es importante por razones de seguridad. Además, algunas sondas de osciloscopio no están diseñadas para funcionar con voltajes flotantes y pueden sufrir daños.

2.2. Generador de funciones

El generador de funciones es un instrumento que produce señales variantes en el tiempo, las que pueden tener forma de onda sinusoidal, cuadrada o triangular. Los controles más importantes que debe conocer de este instrumento son los siguientes:

- **Amplitud:** normalmente se regula de dos maneras, a saber, una perilla que tiene un barrido continuo de valores, y botones discretos de atenuación. En el caso del genera-

dor de funciones disponible en el laboratorio, existe una perilla que regula la amplitud de manera continua. Ésta se puede tirar hacia afuera, generando una atenuación en la amplitud de salida. Además, hay un botón que produce una atenuación de 20 dB. Estos controles permiten alcanzar un amplio rango de valores con sus diferentes combinaciones, las que serán estudiadas en el laboratorio. El generador de funciones no posee regulación interna de amplitud, por lo que al modificar la carga seguramente variará la amplitud de la señal medida.

- **Frecuencia:** también se ajusta de manera continua a través de una perilla, y de forma discreta seleccionando diferentes rangos.
- **Offset:** para agregar un valor DC a la señal generada, se debe tirar la perilla de offset hacia afuera y ajustar el valor deseado, que puede ser positivo o negativo. Es necesario medir el *offset* con algún instrumento, ya que el generador de funciones no muestra su valor.
- **Ciclo de trabajo:** por defecto está ajustado a un 50 %. Para modificar este valor, se debe tirar la perilla correspondiente hacia afuera y ajustar el ciclo de trabajo deseado¹.

Puede investigar sobre otros controles y prestaciones en el manual de uso del generador de señales. En el laboratorio se estudiará la modalidad de VCF (*Voltage Controlled Frequency*), por lo que se recomienda estudiar su funcionamiento previamente.

2.3. Osciloscopio

El osciloscopio es uno de los instrumentos de medición más importantes en circuitos eléctricos. Permite medir voltajes variantes en el tiempo y visualizarlos en una pantalla. Antes de utilizar el osciloscopio, revise el resumen de seguridad del manual de instrucciones del equipo.

Para empezar a usar un osciloscopio, es necesario entender los siguientes conceptos básicos.

Disparo

El disparo determina el momento en el que el osciloscopio empieza a adquirir datos y muestra una forma de onda. Cuando el disparo se configura adecuadamente, puede convertir representaciones inestables o pantallas vacías en formas de onda con significado.

En la Fig. 3a se muestra un ejemplo de la pantalla del osciloscopio cuando se ha producido el disparo correctamente y la onda se despliega de manera estable. En la Fig. 3b se presentan casos en el que el disparo no se produce correctamente. En esta situación, es posible que la señal se despliegue de manera inestable o que simplemente no se vea.

En el momento en que un osciloscopio empieza a adquirir una forma de onda, recoge suficientes datos como para dibujar la forma de onda a la izquierda del punto de disparo.

¹Estudie por su cuenta qué es el ciclo de trabajo de una señal periódica.

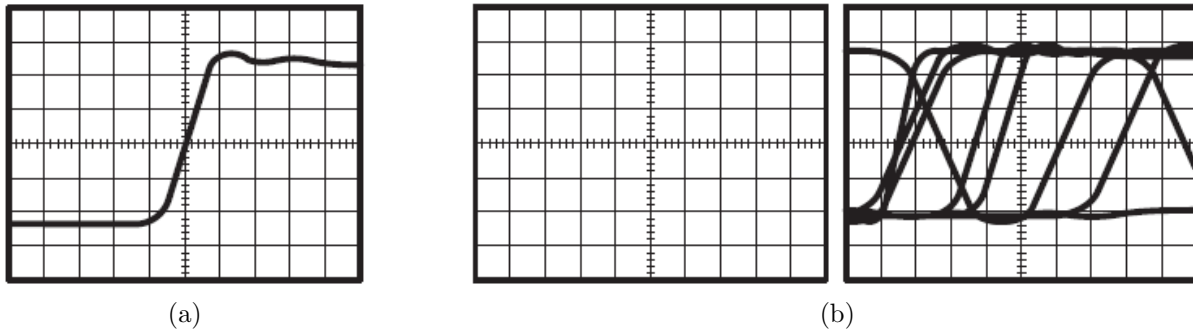


Figura 3: Visualización de señales según disparo [3].

El osciloscopio sigue adquiriendo datos mientras espera a que se produzca la condición de disparo. Una vez que detecta un disparo, sigue adquiriendo los suficientes datos como para dibujar la forma de onda a la derecha del punto de disparo.

El disparo puede estar gatillado por distintas fuentes (entrada del osciloscopio, red eléctrica o fuente externa), y puede ser configurado de diferentes maneras. El uso avanzado de las configuraciones de disparo se verá en el próximo laboratorio.

Adquisición de datos y base de tiempo

Los osciloscopios disponibles en el laboratorio adquieren datos analógicos, los cuales son digitalizados y luego mostrados en pantalla. Este instrumento puede adquirir datos mediante tres modos de adquisición diferentes, los cuales serán estudiados en el próximo laboratorio.

La configuración de base de tiempo afecta a la rapidez con que se adquieren los datos. El osciloscopio digitaliza las formas de onda adquiriendo el valor de una señal de entrada en puntos discretos. La base de tiempo permite controlar con qué frecuencia se digitalizan los valores. Para ajustar la base de tiempo a una escala horizontal deseada, utilice el mando *Sec/Div*. Este aspecto está directamente relacionado con la visualización de la forma de onda en la pantalla del osciloscopio, lo que se explica en el siguiente punto.

Escala y posición de las formas de onda

Se puede cambiar la visualización de las formas de onda ajustando su escala y posición. Al cambiar la escala, la representación de la forma de onda aumenta o reduce su tamaño. Si se cambia la posición, la forma de onda se desplazará hacia arriba o abajo, hacia la derecha o a la izquierda.

El indicador de referencia del canal identifica cada forma de onda de la pantalla. Éste muestra a qué canal pertenece cada señal y apunta al nivel de tierra del mismo.

- **Escala vertical y posición:** Puede cambiar la posición vertical de las formas de onda moviéndolas hacia arriba o hacia abajo en la pantalla. Para esto debe usar la perilla de posición correspondiente al canal que desea modificar. Para cambiar la escala vertical

de una forma de onda, use el mando *Volts/Div*. La representación de la forma de onda se contraerá o ampliará en torno al nivel de tierra. El valor en Volts de cada división de la cuadrícula se encuentra indicado en la parte inferior de la pantalla y se puede ajustar de forma independiente para cada canal.

- **Escala horizontal y posición:** Puede ajustar el control posición horizontal para ver los datos de la forma de onda antes del disparo, después del disparo, o un poco de cada una. Cuando cambia la posición horizontal de una forma de onda, en realidad está cambiando el tiempo entre el disparo y el centro de la pantalla: pareciera como si la forma de onda se desplazara hacia la derecha o hacia la izquierda. Para cambiar la escala horizontal, debe utilizar el mando *Sec/Div*. El valor en tiempo de cada división de la grilla se encuentra indicado en la parte inferior de la pantalla y es común para todos los canales.

Mediciones

El osciloscopio muestra gráficas de voltaje respecto al tiempo, y puede ayudarle a medir la forma de onda mostrada². Hay varias maneras de realizar mediciones. Puede utilizar la grilla, los cursores o una medición automática.

- **Grilla:** este método permite realizar una estimación visual rápida. Puede tomar mediciones sencillas contando las divisiones de grilla principales y secundarias implicadas, y multiplicando por el factor de escala. Por ejemplo, si contó cinco divisiones principales verticales de la grilla entre los valores mínimo y máximo de una forma de onda y sabe que está usando un factor de escala de 100 mV/div, entonces podría calcular fácilmente el voltaje de pico a pico como $5 \text{ Div} \times 100 \text{ mV/Div} = 500 \text{ mV}$.
- **Cursores:** este método permite realizar medidas moviendo los cursores, que aparecen siempre de a pares, y leer sus valores numéricos en las lecturas de la pantalla. Puede seleccionar cursores de voltaje, que aparecen como líneas horizontales en la pantalla y miden los parámetros verticales; o cursores de tiempo, que aparecen como líneas verticales en la pantalla, y miden los parámetros horizontales.
- **Automatizadas:** cuando se realizan medidas automatizadas, el osciloscopio realiza todos los cálculos por usted. Debido a que estas medidas usan los puntos de registro de la forma de onda, son más precisas que las medidas realizadas con la grilla o los cursores. Las medidas automáticas usan las lecturas para indicar los resultados de medidas. Estas lecturas se actualizan periódicamente a medida que el osciloscopio adquiere nuevos datos. Para ajustar las medidas automatizadas debe ir al menú de *Medidas* y seleccionar las mediciones que quiere.

²Es importante que tenga en cuenta que lo que usted *no* puede ver en la pantalla, el osciloscopio *no* puede medirlo.

La precisión de las mediciones realizadas con el osciloscopio, tanto visuales como automatizadas, dependen en parte de la escala y posición de la forma de onda. Si se usa una división vertical demasiado grande, con la que la señal se ve pequeña en la pantalla, las mediciones de amplitud serán menos precisas. Por otro lado, si se usa una división horizontal que permite ver solamente un ciclo de la forma de onda, la medición de frecuencia puede no ser confiable.

Configuración automática

La función *autoconfigurar* obtiene por usted una representación estable de una forma de onda. Ajusta automáticamente la escala vertical y horizontal, así como los ajustes de acoplamiento de disparo, posición, pendiente, nivel y modo. Sin embargo, no siempre se obtiene una buena configuración para lo que se requiere medir, por lo que la capacidad de configurar todos los parámetros manualmente es fundamental para el buen uso del osciloscopio. Se recomienda no usar esta función durante el laboratorio, ya que las experiencias están diseñadas para que aprenda a usar cada uno de los controles de manera correcta.

Acoplamiento de canal

Existen diferentes tipos de acoplamiento de la señal de entrada, ajustables en el menú de cada canal.

- **CC:** permite pasar las componentes continua (DC) y alterna (AC) de la señal.
- **AC:** filtra la componente continua de la señal, permitiendo solamente el paso y medición de valores AC.
- **GND:** desconecta la señal de entrada, permitiendo calibrar la referencia del canal para una entrada nula.

Sondas de osciloscopio

Uno de los componentes más críticos de un sistema de medida basado en un osciloscopio es su propia sonda, pues ésta interactúa directamente con la señal que se pretende medir. La precisión de una medición puede estar limitada tanto por la calidad de la sonda como por la del osciloscopio. No sirve de nada tener un osciloscopio muy preciso y de gran ancho de banda si se usa con una sonda de mala calidad.

Existen varios tipos de sonda, y su apropiada elección depende de las características del osciloscopio, de la señal a medir y el circuito bajo prueba. Por ejemplo, hay sondas pasivas de alta y baja impedancia con diferentes niveles de atenuación, sondas activas, sondas de corriente, etc. En el laboratorio podrá encontrar sondas pasivas de tensión con atenuación de x1 y x10, diseñadas para los osciloscopios disponibles. Puede descargar el manual de las sondas desde la página del curso, en el que encontrará todas las especificaciones técnicas necesarias para su correcto uso.

Las sondas pasivas de tensión no son simplemente dos cables, como lo son las puntas de un multímetro. De hecho, son bastante más complicadas: con tal de lograr inmunidad al entorno electromagnético, se utiliza un conector BNC con un cable coaxial cuyo conductor exterior debe estar conectado a tierra (otra razón para no usar el osciloscopio levantado de tierra), y para minimizar la carga del sistema de medida sobre el circuito bajo prueba se utilizan circuitos de atenuación. Se llaman pasivas porque, en efecto, usan solamente elementos pasivos (resistores, inductores y capacitores). El factor de atenuación de una sonda determina la razón entre las amplitudes de la señal de entrada y salida de la misma cuando se conecta al osciloscopio. Algunos valores típicos de factores de atenuación son $\times 1$, $\times 10$, $\times 100$, $\times 1000$.

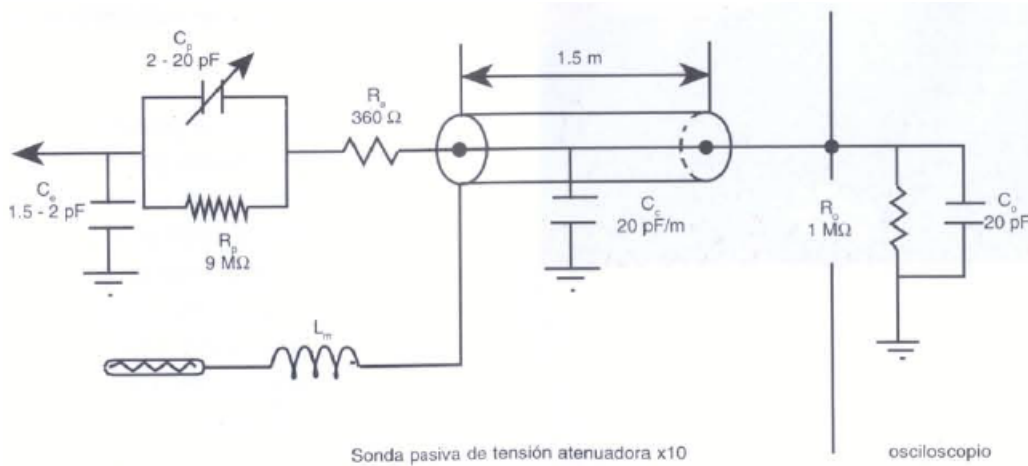


Figura 4: Circuito equivalente sonda de tensión atenuadora $\times 10$ [2].

La principal razón por la que se usa el factor de atenuación (típicamente $\times 10$) es la de reducir la carga eléctrica del sistema de medición sobre el circuito a medir. En la Fig. 4 se puede ver que la carga que ofrece un osciloscopio a un circuito bajo prueba es de $1\text{ M}\Omega$ en paralelo con un capacitor de 20 pF . Cuando se conecta la sonda pasiva $\times 10$ al osciloscopio, se forma un divisor de tensión resistivo-capacitivo, que despreciando algunas resistencias e inductancias menores, se puede aproximar como se muestra en la Fig. 5.

Si la sonda está debidamente compensada, lo que se logra con la cancelación de un polo y un cero, se obtiene una impedancia de entrada equivalente de $10\text{ M}\Omega$ y 5 pF . Por lo anterior, es necesario regular la capacitancia C_p de la sonda para lograr que $R_p C_p = R_o (C_c + C_o)$. Si no se realiza la compensación debida, la respuesta transiente de la sonda alterará la medición del osciloscopio. En el laboratorio experimentará cómo compensar la sonda.

2.4. Multímetro

Tal como se usó el multímetro para medir valores DC en la experiencia anterior, es posible medir voltajes y corrientes AC. Para esto es importante entender algunos aspectos técnicos y limitaciones del instrumento. Ya se estudió que al medir voltajes DC el multímetro tiene una

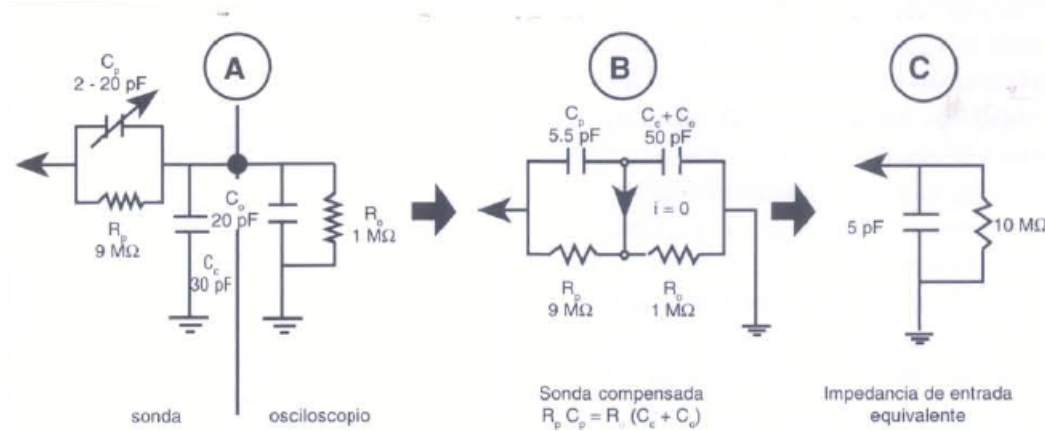


Figura 5: Circuito equivalente de sonda compensada [2].

impedancia de entrada de $10\text{ M}\Omega$. En el caso de voltajes AC, esta resistencia se encuentra en paralelo con un capacitor.

Algunos multímetros pueden medir valores RMS, tanto de voltaje como corriente. Es importante que sepa qué tipo de medición realiza su multímetro antes de usarlo, ya que si no es *True RMS*, simplemente toma el valor pico de la señal y lo divide por $\sqrt{2}$. Teniendo una señal AC con componente continua, hay equipos que solamente consideran el valor RMS de la señal AC, otros calculan el valor RMS de la señal AC y DC en conjunto, y algunos permiten elegir entre ambos modos. Revise el manual de su multímetro para determinar qué tipo de mediciones AC es capaz de realizar, y si incluye en ella la componente DC o no. Si su multímetro no incluye la componente DC en el valor *RMS*, puede calcularla según (1), que es válida tanto para voltajes como corrientes.

$$V_{RMS} = \sqrt{V_{AC,RMS}^2 + V_{CC}^2} \quad (1)$$

El valor RMS de la componente DC es equivalente al valor medio de la señal, y se mide de la misma forma que se midieron los voltajes y corrientes DC en el primer laboratorio. Por último, tenga en mente que el multímetro tiene un ancho de banda limitado, por lo que no es posible medir señales de frecuencia demasiado alta.

3. Trabajo previo

3.1. Investigación

1. Investigue los principios básicos de funcionamiento de los osciloscopios digitales y analógicos.
2. Investigue sobre los códigos de valores de capacitores e inductores. Es importante que sepa como utilizarlo antes de empezar la experiencia.

3. Revise el manual de su multímetro para determinar su impedancia de entrada para mediciones de voltajes AC. Es importante que tenga presente este valor al medir ciertos circuitos que se pueden ver perturbados por esta no idealidad.
4. Revise el manual de su multímetro para determinar su ancho de banda para mediciones AC.

3.2. Simulación

1. Usando LTSpice, simule el circuito de la Fig. 6.

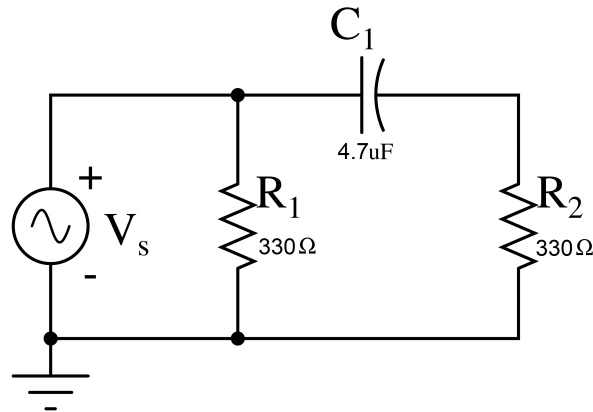


Figura 6: Valores RMS.

2. Mida el voltaje medio y RMS en los resistores R_1 y R_2 para entradas sinusoidales de $2 V_{RMS}$ y frecuencias de 100 Hz, 100 kHz y 300 kHz, con un *offset* de 3 V respecto a tierra.
3. Repita el punto anterior para una onda cuadrada de amplitud arbitraria con ciclo de trabajo de 1/3 y frecuencias de 100 Hz y 100 kHz.
4. Ajuste una entrada sinusoidal de $2 V_{RMS}$ y 100 Hz. Calcule la potencia aparente, activa y reactiva consumida por cada una de las ramas del circuito (R_1 y $C_1 - R_2$).

Deberá adjuntar los gráficos de sus simulaciones y los resultados obtenidos en el cuadernillo de trabajo en laboratorio. Se revisará que el desarrollo del trabajo previo esté completo al inicio de la primera sesión.

Referencias

- [1] TSIVIDIS, YANNIS, *A First Lab in Circuits and Electronics*, John Wiley and Sons, 2002.
- [2] USUNÁRIZ, IGNACIO, *Una aproximación al mundo de las sondas*.
- [3] TEXKTRONIX, *Manual de usuario Osciloscopio TDS200*.