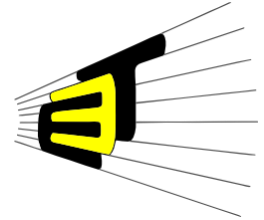


Guía teórica, funcional y estructural para el laboratorio de circuitos eléctricos

Universidad Industrial de Santander
Escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y de
telecomunicaciones



Contenido

INDICACIONES PREVIAS PARA UNA BUENA PRACTICA DE LABORATORIO.....	5
COMPONENTES ELECTRICOS Y/O ELECTRONICOS PRESENTES EN LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	6
COSENOFÍMETRO	9
VATÍMETRO	19
PINZA AMPERIMÉTRICA.....	24
MULTÍMETRO	35
OSCILOSCOPIO	47
GENERADOR DE FUNCIONES.....	52
FUENTE DC	61

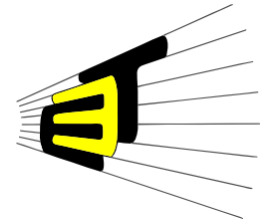


TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Bobina	6
Figura 2. Resistencia	6
Figura 3. Capacitor.....	6
Figura 4. Diodo.....	7
Figura 5. Transistor	7
Figura 6. Amplificador operacional	7
Figura 7. Transformador	8
Figura 8. Convertidor análogo a digital	8
Figura 9. Microcontrolador	8
Figura 10. Cosenofímetro	9
Figura 11. Elementos internos del cosenofímetro	10
Figura 12. Campo magnético en una bobina	12
Figura 13. Aguja indicadora del cosenofímetro	15
Figura 14. Vatímetro	19
Figura 15. Conexión del vatímetro a una carga monofásica.....	20
Figura 16. Elementos internos del vatímetro.....	21
Figura 17. Aguja indicadora del vatímetro	23
Figura 18. Pinza amperimétrica	24
Figura 19. Elementos internos de la pinza amperimétrica.....	26
Figura 20. Campo magnético en una bobina	27
Figura 21. Ley de inducción de Faraday	28
Figura 22. Selector de escala	29
Figura 23. Multímetro.....	35
Figura 24. Elementos internos del multímetro.....	37
Figura 25. Osciloscopio	47
Figura 26. Elementos internos del osciloscopio	49
Figura 27. Generador de funciones.....	52
Figura 28. Elementos internos del generador de funciones	54
Figura 29. Amplificador operacional como oscilador de onda cuadrada.....	55
Figura 30. $V_a < V_b$	56
Figura 31. $V_a > V_b$	56
Figura 32. Onda cuadrada a la salida del generador	57
Figura 33. Amplificador operacional como oscilador de onda triangular.....	58
Figura 34. Onda triangular a la salida del generador	59
Figura 35. Amplificador operacional como oscilador de onda senoidal	59
Figura 36. Señal de salida del conformador de onda en el semiciclo positivo	60
Figura 37. Onda senoidal a la salida del generador	61

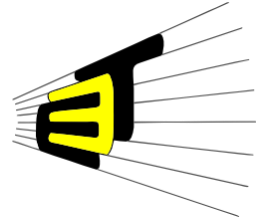
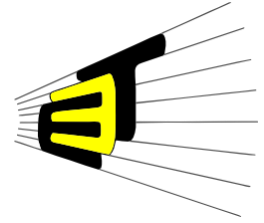


Figura 38. Fuente DC	61
Figura 39. Elementos internos de la fuente DC.....	63
Figura 40. Etapa de transformación	65
Figura 41. Onda senoidal a la salida del transformador	65
Figura 42. Circuito rectificador	66
Figura 43. Señal rectificada	66
Figura 44. Acondicionamiento de la señal.....	67
Figura 45. Señal acondicionada.....	67



INDICACIONES PREVIAS PARA UNA BUENA PRÁCTICA DE LABORATORIO

Las prácticas desarrolladas en el laboratorio de circuitos eléctricos de la E3T deben realizarse bajo la supervisión directa del laboratorista encargado. Además, todos los participantes deben cumplir sin excepción las medidas de seguridad y cuidado personal establecidas para garantizar un entorno de trabajo seguro:

- **Vestimenta adecuada**

No se permitirá el ingreso al laboratorio a ninguna persona que no cumpla con la vestimenta adecuada. Todos los usuarios deben llevar camisa cerrada, pantalón largo y zapatos cerrados. No está permitido el uso de bermudas, pantalonetas, faldas, shorts ni accesorios metálicos.

- **No energizar sin permiso**

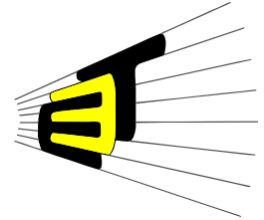
Está prohibido que el personal que realiza la práctica energice los equipos de medición o los circuitos sin una revisión previa por parte del laboratorista. Esta medida busca garantizar la correcta conexión de los elementos y proteger los equipos de medición, evitando posibles fallas o cortocircuitos.

- **Prohibida la entrada de alimentos**

Está prohibido el ingreso de alimentos al laboratorio ya que pueden provocar accidentes que comprometan el correcto funcionamiento de los equipos de medición.

- **Notificar equipos en mal estado**

Está prohibido usar equipos donde se evidencie que su integridad física ha sido comprometida (carcasas dañadas). Esta recomendación busca evitar accidentes por contacto directo con equipos energizados.



COMPONENTES PRESENTES EN LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN

- **Bobina:** Componente eléctrico que almacena energía en forma de campos magnéticos cuando una corriente eléctrica circula a través de ella.



Figura 1. Bobina

- **Resistencia:** Componente eléctrico que se opone a la circulación de corriente en un circuito o conductor eléctrico.

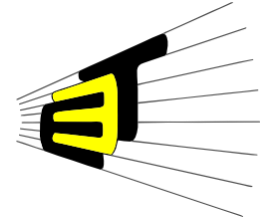


Figura 2. Resistencia

- **Capacitor:** Dispositivo electrónico que almacena energía en un campo eléctrico, actuando como una batería que libera esa energía.



Figura 3. Capacitor



- **Diodo:** Dispositivo semiconductor que actúa como un interruptor unidireccional para la corriente.



Figura 4. Diodo

- **Transistor:** Componente electrónico semiconductor que permite controlar el flujo de corriente, funcionando como un interruptor electrónico.

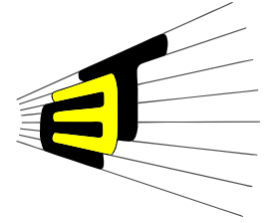


Figura 5. Transistor

- **Amplificador operacional (OpAmp):** Un amplificador operacional es un circuito integrado que amplifica la diferencia de voltaje entre dos entradas, y que puede configurarse mediante retroalimentación para realizar diversas funciones de procesamiento de señales en sistemas electrónicos.



Figura 6. Amplificador operacional



- **Transformador:** Elemento eléctrico que permite subir o bajar el nivel de voltaje o corriente en un circuito.



Figura 7. Transformador

- **Convertidor análogo a digital (ADC):** Circuito electrónico que transforma una señal continua en el tiempo y amplitud en otra señal discreta en el tiempo y cuya amplitud esta cuantificada y codificada, generalmente mediante código binario.

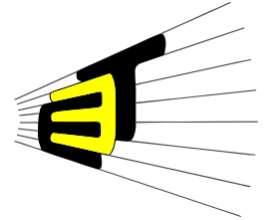


Figura 8. Convertidor análogo a digital

- **Microcontrolador:** Circuito integrado que funciona como una pequeña computadora en un solo chip, optimizado para ejecutar una tarea de control específica dentro de un sistema electrónico, como medir, procesar y actuar automáticamente.



Figura 9. Microcontrolador



COSENOFÍMETRO



Figura 10. Cosenofímetro

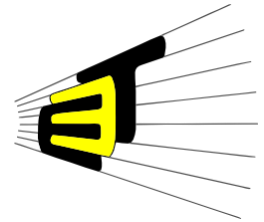
Introducción

El cosenofímetro analógico es un instrumento de medición utilizado para determinar el factor de potencia en un circuito de corriente alterna (AC). Su función principal es medir el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente, indicando si la carga es inductiva o capacitiva.

Configuración de Terminales

El cosenofímetro presenta tres terminales principales identificadas como:

- **Terminal U (Voltaje):** Punto de entrada para la señal de referencia de voltaje. Se conecta en paralelo con la fuente de alimentación, permitiendo que la bobina interna reciba la señal proporcional al voltaje aplicado al circuito.



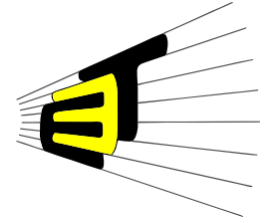
- **Terminal I (Corriente):** Punto de entrada para la señal de corriente. Se conecta en serie con la carga, garantizando que toda la corriente consumida pase a través de la bobina interna.
- **Terminal O (Común):** Terminal de referencia común que completa el circuito eléctrico para ambas bobinas, proporcionando el retorno necesario para el correcto funcionamiento del instrumento.

Elementos internos del equipo de medición



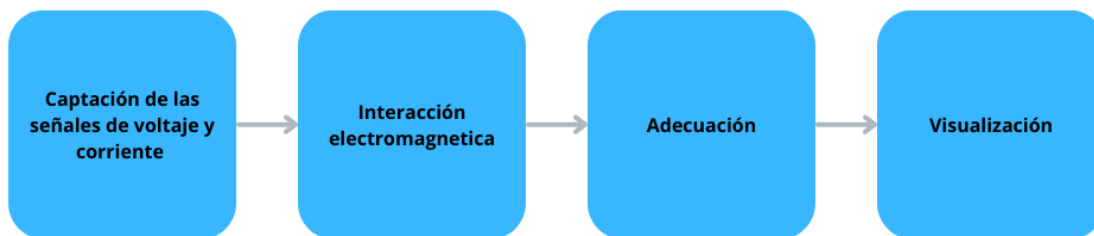
Figura 11. Elementos internos del cosenofímetro

- Dos bobinas, una de corriente y una de voltaje, ambas se encuentran en la zona señalizada con el círculo verde.



- Un circuito integrado señalizado con el rectángulo naranja.
- Un transformador señalizado con el rectángulo rojo.
- Una aguja indicadora señalizada con el rectángulo amarillo.
- Un mecanismo de amortiguación señalizado con el círculo verde.

Etapas del proceso de medición



Captación de las señales de voltaje y corriente

El cosenofímetro mide el factor de potencia utilizando la interacción entre dos bobinas.

- Una bobina de voltaje, conectada en paralelo con el circuito de prueba.
- Una bobina de corriente, conectada en serie con el circuito de prueba.

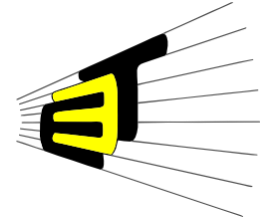
Interacción electromagnética

La bobina de corriente se conecta en serie con la carga por lo que experimenta su misma corriente I_C . Según la ley de Ampère, la circulación de un campo magnético a lo largo de una trayectoria cerrada es proporcional a la corriente total que atraviesa dicha trayectoria

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

Donde,

- \vec{B} es el campo magnético.



- $d\vec{l}$ es el elemento diferencial de la trayectoria cerrada.
- μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío.
- I es la corriente eléctrica que pasa por la trayectoria cerrada.

En términos prácticos: Cuando una corriente fluye por un conductor o bobina, genera un campo magnético a su alrededor proporcional a dicha corriente

$$I_C \propto B_C$$

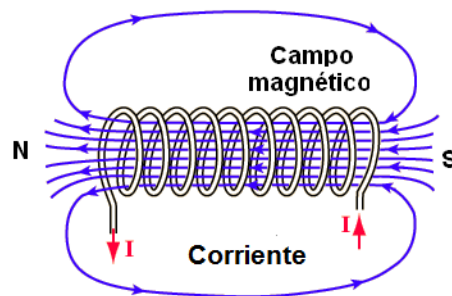
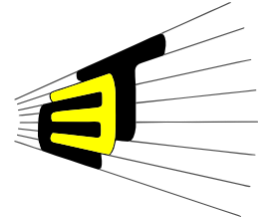


Figura 12. Campo magnético en una bobina

La bobina de voltaje está en paralelo con la carga por lo que experimenta su mismo voltaje V_V . La bobina cuenta con una alta resistencia R_V por lo que se genera en ella una pequeña corriente I_V y como ya vimos anteriormente, una corriente que circula por una bobina genera un campo magnético

$$I_V = \frac{V_V}{R_V}$$

El campo magnético B_V generado por la bobina de voltaje es proporcional a la corriente I_V , por lo tanto, también es proporcional al voltaje de la carga V_V



$$B_V \propto I_V \propto V_v$$

Cuando los dos campos magnéticos B_C y B_V interactúan en el espacio alrededor de las bobinas, se suman vectorialmente. Es decir, la fuerza experimentada por una carga que se mueve en este espacio depende de la dirección y magnitud combinada de ambos campos magnéticos

$$B_{total} = \vec{B}_C + \vec{B}_V$$

En este punto entra a actuar la ley de Lorentz que establece que la fuerza F sobre una carga q en movimiento con velocidad V en un campo magnético B es

$$F = q(v \times B)$$

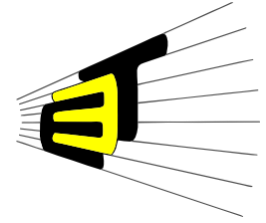
Con la interacción entre las bobinas del cosenofímetro tenemos que

$$F_{total} = q(v \times B_{total})$$

Cuando el disco conductor se encuentra en estos campos magnéticos variables, se inducen corrientes de Foucault circulares en el material del disco. Estas corrientes de Foucault, que representan cargas en movimiento ($q \times v$), experimentan la fuerza de Lorentz

$$F = I(L \times B_{total})$$

Donde I son las corrientes inducidas, L es el vector longitud de las trayectorias conductoras en el disco, y B_{total} es el campo magnético resultante entre las dos bobinas. Como los campos magnéticos rotan vectorialmente según el desfase ϕ entre voltaje y corriente del



circuito medido, las fuerzas de Lorentz resultantes sobre las corrientes de Foucault crean el torque electromagnético τ que orienta el disco hacia la dirección del campo magnético resultante. La posición de equilibrio corresponde directamente al factor de potencia $\cos(\varphi)$, siendo las propias corrientes de Foucault las que proporcionan tanto el torque motor como el frenado electromagnético del sistema indicador. El torque τ producido por la interacción entre los campos magnéticos de las bobinas de corriente y voltaje es proporcional al producto de las corrientes I_C e I_V

$$\tau \propto I_C \times I_V$$

Y como I_V es proporcional a la tensión V_V , el torque también se puede expresar como

$$\tau \propto I_C \times V_V$$

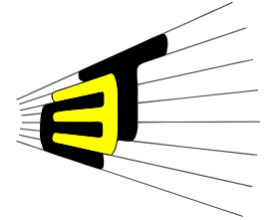
El torque τ que se genera en la aguja del cosenofímetro se traduce en un ángulo de desplazamiento en la escala del medidor. El ángulo θ que se muestra en la escala del cosenofímetro está relacionado con el torque mediante una constante de deflexión mecánica K , que depende de las características del mecanismo de medición

$$\theta = K * \tau$$

Adecuación

El cosenofímetro cuenta con una etapa de adecuación compuesta por

- Sistema de amortiguación: se encarga de estabilizar la aguja para evitar oscilaciones bruscas.
- Mecanismo de ajuste de fase: Se encarga de desplazar la señal de tensión para referencia, esto se implementa ya que en ocasiones hay factores externos que



pueden afectar el ángulo de fase de la tensión por lo que es necesario un sistema que controle estos cambios para una medición precisa del desfase entre la tensión y la corriente.

Visualización con la escala graduada

La fuerza electromagnética generada mueve la aguja indicadora sobre una escala calibrada



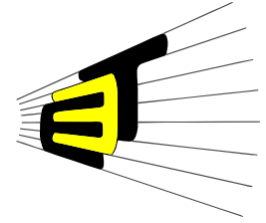
Figura 13. Aguja indicadora del cosenofimetro

Consideraciones Previas sobre Factor de Potencia y Tipo de Carga

El factor de potencia (FP) es una magnitud adimensional que siempre toma valores positivos entre 0 y 1, pero debe especificarse su naturaleza según el tipo de carga. Las cargas inductivas (motores, transformadores) presentan ángulos de fase positivos debido a que la corriente se retrasa respecto al voltaje, mientras que las cargas capacitivas (bancos de capacitores) exhiben ángulos de fase negativos porque la corriente se adelanta al voltaje.

¿Cómo distingue el cosenofimetro entre inductivo y capacitivo?

El cosenofimetro no solo mide $\cos(\varphi)$, sino que detecta el sentido del desfase mediante la interacción vectorial de campos magnéticos, el producto vectorial determina la dirección



- **Centro (0):** Factor de potencia = 0 (carga puramente resistiva).
- **Derecha:** Cargas inductivas (corriente retrasada). Produce torque en sentido horario.
- **Izquierda:** Cargas capacitivas (corriente adelantada). Produce torque en sentido antihorario.

Ejemplo práctico: Se requiere determinar el factor de potencia de un motor eléctrico mediante un cosenofímetro analógico.

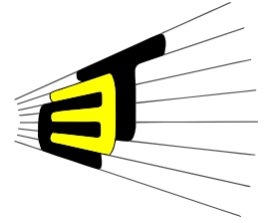
Datos del sistema

- Voltaje de alimentación: 120V AC
- Corriente del motor: 5A
- Frecuencia de operación: 60Hz
- Tipo de carga: Motor eléctrico (inductivo)

Especificaciones del cosenofímetro

- Resistencia interna bobina de voltaje: $R_v = 1000\Omega$
- Constante electromagnética: $K = 0.09 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{A}^2$
- Constante de deflexión mecánica: $k = 1400 \text{ }^\circ/\text{N}\cdot\text{m}$

Para que el cosenofímetro pueda medir el factor de potencia, lo primero que hacemos es conectar la bobina de corriente en serie con la carga (el motor eléctrico) y la bobina de voltaje en paralelo con la fuente. Los campos magnéticos generados por las bobinas empiezan a interactuar entre sí para medir el desfase entre el voltaje y la corriente. Los campos magnéticos generados producen un torque por medio de la fuerza de Lorentz que moverá la aguja en la posición correcta.



Corriente en la bobina de voltaje

$$I_V = \frac{V_V}{R_V} = \frac{120}{1000} = 0.12[A]$$

Corriente en la bobina de corriente

$$I_C = 5[A]$$

Torque electromagnético

El torque generado por la interacción de los campos magnéticos viene dado por

$$\tau = K * I_V * I_C * \text{COS}\phi$$

Para el motor con factor de potencia 0.8 ($\phi = 36.87^\circ$)

$$\tau = 0.09 \times 0.12 \times 5 \times \text{COS}(36.87)$$

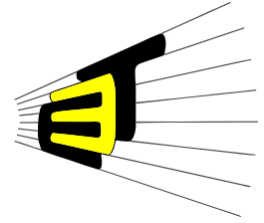
$$\tau = 0.0432 [Nm]$$

Deflexión angular de la aguja

La deflexión angular está relacionada con el torque mediante

$$\theta = \tau * k$$

$$\theta = 1400 * 0.0432 = 60.48^\circ$$



Resultados

- **Ángulo de fase eléctrico:** $\varphi = 36.87^\circ$
- **Factor de potencia:** $\cos(\varphi) = 0.8$
- **Ángulo de deflexión mecánico:** $\theta = 60.48^\circ$
- **Torque electromagnético:** $\tau = 0.0432 \text{ N}\cdot\text{m}$

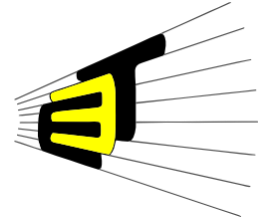
Es fundamental distinguir entre:

1. **Ángulo de fase ($\varphi = +36.87^\circ$):** Desfase eléctrico entre voltaje y corriente en el circuito. El signo positivo indica carga inductiva (corriente retrasada).
2. **Ángulo de deflexión ($\theta = 60.48^\circ$):** Rotación mecánica de la aguja desde su posición de reposo.

La escala del cosenofímetro está calibrada para que independientemente del ángulo de deflexión mecánico, la lectura visual muestre directamente el factor de potencia con su naturaleza correspondiente (0.8 inductivo en este caso). El sentido de rotación horario de la aguja confirma la característica inductiva de la carga.

Aplicaciones de campo

- **Eficiencia energética:** El cosenofímetro permite saber cuánto de la potencia suministrada a un sistema se convierte en potencia útil, se utiliza en auditorías energéticas en la industria.
- **Control y corrección de factores de potencia:** El cosenofímetro por medio de la medición del factor de potencia puede ayudar a determinar si es necesario instalar bancos de capacitores en cargas altamente inductivas, se utiliza en diseño y ajuste de sistemas de compensación reactiva en la industria.



VATÍMETRO



Figura 14. Vatímetro

Introducción

Instrumento de medición utilizado para determinar la potencia activa en un circuito de corriente alterna (AC). Este dispositivo permite medir cuánta energía se está transformando en trabajo útil dentro del sistema eléctrico.

Configuración de terminales

- **Terminales A(Corriente):** El borne rojo funciona como terminal de entrada positivo para la corriente y el borne negro como terminal de retorno para la misma. Se conecta en serie con la carga, permitiendo que toda la corriente del circuito fluya a través de una bobina interna.
- **Terminales V (Voltaje):** El borne rojo funciona como terminal de entrada positivo para el voltaje y el borne negro como terminal de referencia para el mismo. Se conecta en paralelo con la carga o fuente de alimentación, permitiendo que una bobina interna reciba la señal proporcional al voltaje aplicado al circuito bajo medición.

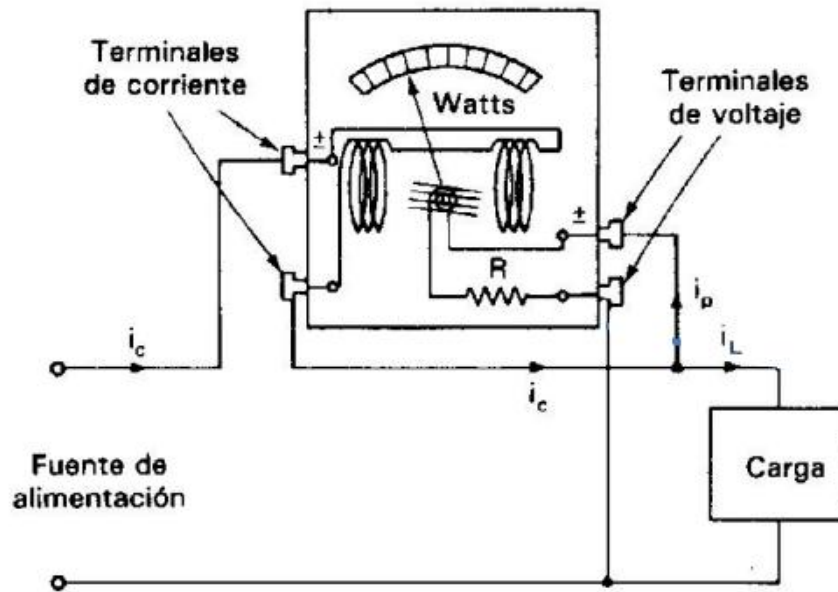
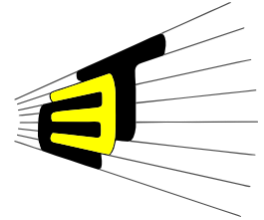
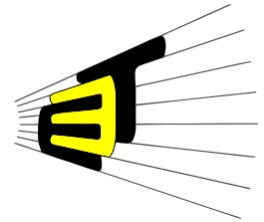


Figura 15. Conexión del vatímetro a una carga monofásica

Selectores de rango

El instrumento incorpora dos selectores rotativos que optimizan la precisión de las mediciones

- **Selector de corriente:** Ubicado en la sección superior, permite seleccionar entre rangos de 1A y 2A, adaptando la sensibilidad del circuito de corriente según las características de la carga conectada.
- **Selector de voltaje:** Posicionado en la parte inferior, ofrece tres opciones de rango (100V, 250V, 500V), permitiendo ajustar la escala de medición de voltaje para maximizar la resolución y precisión de lectura en el medidor analógico.



Elementos internos del equipo de medición

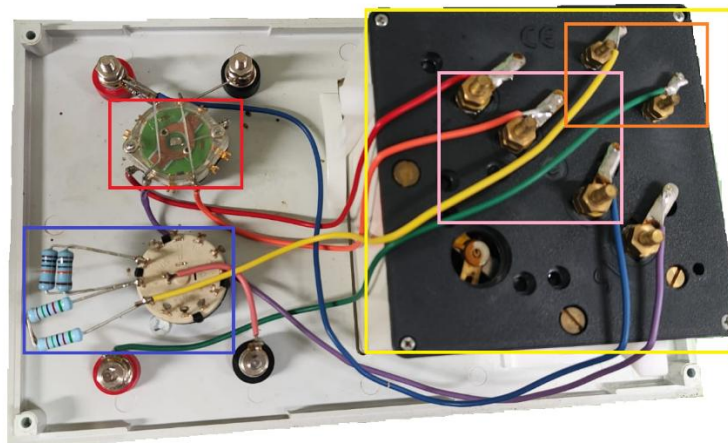
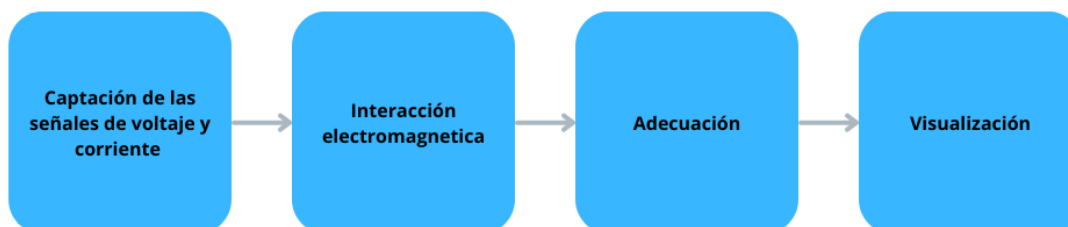
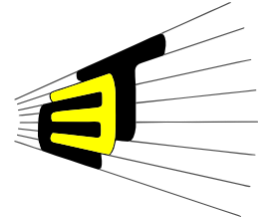


Figura 16. Elementos internos del vatímetro

- Dos bobinas, una de corriente y una de voltaje. Los bornes de la bobina de corriente están señalizados con el rectángulo rosado y los de la bobina de tensión están señalizados con el rectángulo naranja.
- Un selector de corriente señalado con el rectángulo rojo.
- Un selector de voltaje señalado con el rectángulo azul.
- Una aguja indicadora y un sistema de amortiguación dentro de la caja negra delimitada con el rectángulo amarillo.

Etapas del proceso de medición





Captación de las señales de voltaje y corriente

La etapa de captación de las señales de voltaje y corriente es exactamente igual a la del cosenofímetro (Ver página 11).

Interacción electromagnética

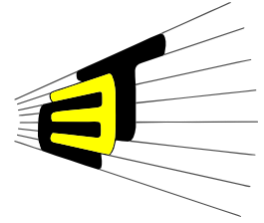
La generación de los campos magnéticos en las dos bobinas y la suma de dichos campos es exactamente igual al del cosenofímetro (Ver página 11). Cuando la corriente proporcional a V_v circula por los conductores de la bobina móvil inmersa en el campo magnético B_C , cada segmento conductor de longitud L experimenta una fuerza de Lorentz

$$F = I_v \times (L \times B_C)$$

Como la corriente en la bobina móvil es proporcional a V_v y el campo magnético es proporcional a I_C , la fuerza instantánea $F \propto V_v \times I_C$. Las fuerzas de Lorentz sobre todos los segmentos L de la bobina móvil crean un torque electromagnético $\tau \propto V_v \times I_C$ que genera el movimiento de rotación. Este es el principio fundamental del vatímetro ya que la aguja se moverá en función de la potencia activa medida

$$P = V_v \times I_C \times \cos(\theta_{V_v} - \theta_{I_C})$$

El vatímetro utiliza un resorte en espiral conectado al eje de rotación de la bobina móvil que proporciona el torque de restitución que se opone al torque motor electromagnético. Cuando el torque motor electromagnético hace girar la bobina, el resorte se tuerce generando un torque de restitución proporcional al ángulo de deflexión. La aguja alcanza su posición de equilibrio cuando el torque motor iguala al torque del resorte



$$\theta_{deflexión} = k * \tau$$

Donde k es una constante de deflexión mecánica propia del equipo de medición

Adecuación

Un mecanismo de amortiguación (generalmente aire o un imán) evita oscilaciones bruscas de la aguja.

Visualización

La fuerza electromagnética generada mueve la aguja indicadora sobre una escala calibrada en watts

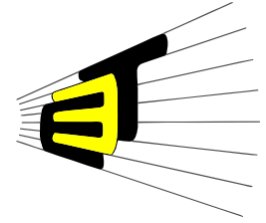
- Si la carga es puramente resistiva, los campos están en fase por lo que el movimiento de la aguja es máximo.
- Si la carga es inductiva o capacitiva, hay un desfase entre el voltaje y la corriente, lo que reduce el torque, ya que la potencia activa es menor debida al factor $\cos\theta$.



Figura 17. Aguja indicadora del vatímetro

Ejemplo práctico: Se quiere medir la potencia eléctrica en un calentador eléctrico

- Voltaje de alimentación: 220 VAC



- Corriente de la carga: 3 A
- Factor de potencia: 0.9 inductivo

Aplicando la formula general para la potencia activa sabemos que

$$P = V_V \times I_C \times FP$$

$$P = 220 * 3 * 0.9 = 594 [W]$$

El resorte interno equilibra el torque y la aguja se posiciona en una escala indicando 594W.

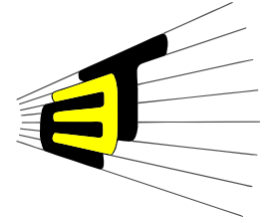
Aplicaciones de campo

- **Medición de potencia en cargas industriales:** El vatímetro es un instrumento clave para saber si un equipo está operando dentro de sus parámetros nominales. Se utiliza comúnmente para medir potencia activa en motores eléctricos y sistemas de iluminación.

PINZA AMPERIMÉTRICA



Figura 18. Pinza amperimétrica



Introducción

Este equipo permite medir la corriente eléctrica que circula por un conductor sin la necesidad de interrumpir el circuito.

Configuración de Terminales

La pinza amperimétrica tiene dos terminales principales identificados como

- **Terminal V (Tensión, continuidad, diodo, resistencia):** Punto de entrada positivo para las señales mencionadas. Se conecta al terminal positivo del elemento en estudio
- **Terminal COM (Común):** Punto de referencia para las señales mencionadas. Se conecta al terminal negativo del elemento en estudio

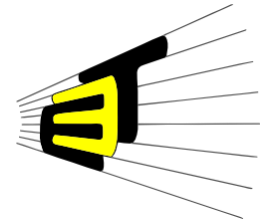
Selector de Rango

El instrumento de medición cuenta con un selector de rango que permite trabajar con diferentes magnitudes de corriente según sea requerido. Adicionalmente, también cuenta con la opción de seleccionar otros tipos de magnitudes como lo son voltaje AC, voltaje DC, diodos, continuidad y resistencia eléctrica.

Configuración de botones

La pinza cuenta con tres botones debajo del selector de rango, estos sirven para

- **POWER:** Es el encargado de encender o apagar el equipo de medición.
- **SOL:** Su función es dar brillo a la pantalla LCD donde se muestran los valores medidos.



- **HOLD:** Oprimir el botón por unos segundos hace que el equipo de medición entre en modo de retención de datos.

Elementos internos del equipo de medición

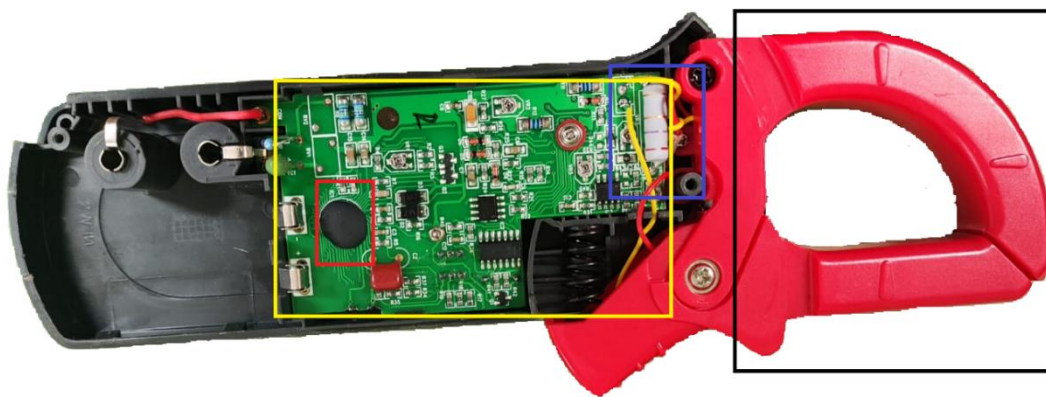
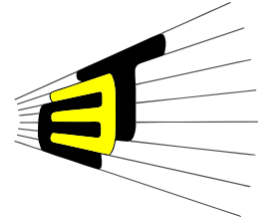


Figura 19. Elementos internos de la pinza amperimétrica

- Una bobina de corriente indicada con el rectángulo de color negro.
- Una resistencia de carga indicada con el rectángulo de color azul.
- Un microcontrolador con ADC integrado indicados con el rectángulo de color rojo.
- Un circuito de acondicionamiento en una PCB indicados con el rectángulo de color amarillo.

Etapas del proceso de medición





Captación de la señal de corriente

Según la ley de Ampère, la circulación de un campo magnético a lo largo de una trayectoria cerrada es proporcional a la corriente total que atraviesa dicha trayectoria

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

Donde,

- \vec{B} es el campo magnético
- $d\vec{l}$ es el elemento diferencial de la trayectoria cerrada
- μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío
- I es la corriente eléctrica que pasa por la trayectoria cerrada

En términos prácticos: Cuando una corriente fluye por un conductor o bobina, genera un campo magnético a su alrededor proporcional a dicha corriente

$$I_C \propto B_C$$

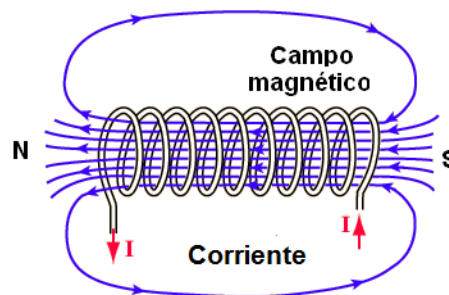
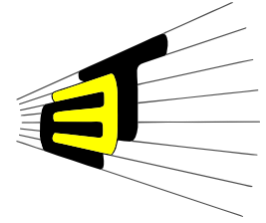


Figura 20. Campo magnético en una bobina



Al colocar la pinza alrededor de un conductor energizado y cerrarla, el flujo magnético en el núcleo induce una corriente en la bobina de la pinza, este principio se explica en la ley de inducción de Faraday la cual establece que la magnitud de la fuerza electromotriz inducida en un circuito es proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético que atraviesa dicho circuito, y dicha corriente inducida tiene una relación proporcional a la corriente del conductor según el número de espiras de las bobinas que interactúan

$$I_S = \frac{N_P}{N_S} * I_P$$

Donde

- I_S es la corriente inducida en la bobina del equipo de medición
- N_P es el número de espiras de la bobina primaria (el conductor energizado)
- N_S es el número de espiras de la bobina secundaria (la pinza)
- I_P es la corriente que circula por el conductor

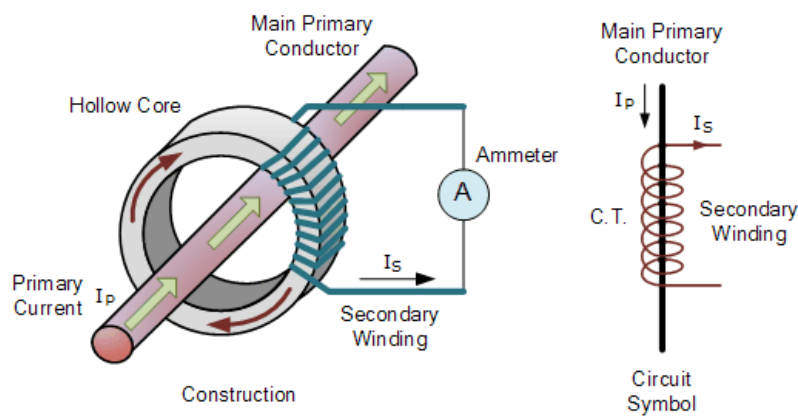
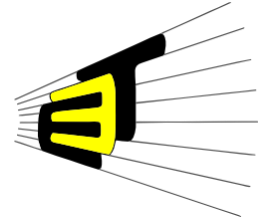


Figura 21. Ley de inducción de Faraday



Adecuación de la señal

La corriente inducida en la bobina de la pinza no se emplea de forma directa. En su lugar, se hace pasar a través de una resistencia de carga, donde se convierte en una señal de voltaje proporcional, ya que los equipos digitales trabajan principalmente con valores de voltaje. El medidor también cuenta con la opción de ajustar la escala de corriente que se está midiendo

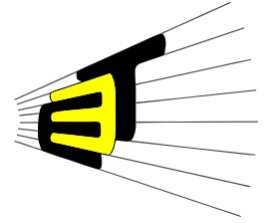


Figura 22. Selector de escala

Cuando se gira el selector de escala, se conmuta entre diferentes valores de resistencia de carga dependiendo del nivel de corriente requerido

- Si la corriente es baja (2A) se conecta una resistencia con un valor grande lo que se traduce en más voltaje por cada mA medido
- Si la corriente es alta (200A) se conecta una resistencia con un valor más pequeño lo que da como resultado menos voltaje por cada mA medido (menos sensibilidad, pero más rango de acción).

Después del escalado, la señal pasa por una **etapa de acondicionamiento** compuesta por amplificación, filtrado y ajuste de offset. La **amplificación** eleva el nivel de la señal, ya que normalmente se encuentra en valores muy bajos (del orden de milivoltios) y los ADC suelen trabajar en rangos de 0 a 5 V; si no se amplificara, se perdería resolución en la digitalización.



El **filtrado** se encarga de suprimir ruidos o interferencias externas que puedan distorsionar la medida. Finalmente, el **ajuste de offset** desplaza la señal de manera que quede únicamente en el rango positivo, evitando que el ADC reciba valores negativos, los cuales no puede procesar. La amplificación y ajuste de offset comúnmente se da por medio de amplificadores operacionales en distintas configuraciones mientras que el filtrado se da por medio de resistencias y capacitores.

Conversión análoga a digital

Una vez acondicionada la señal de entrada, empieza el proceso de conversión por el cual se pasará de una señal de voltaje análoga a digital. Existen dos pasos importantes que se dan durante esta etapa: El muestreo y la cuantificación.

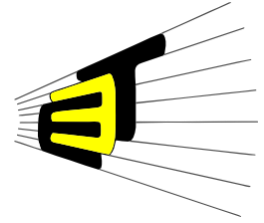
El **muestreo** es la cantidad de datos que se toman de una señal en un ciclo, determinado por la frecuencia de muestreo del medidor.

$$NMPC = \frac{F_S}{F_0}$$

Donde,

- $NMPC$ es el número de muestras que tomara el medidor en un ciclo de la señal
- F_S es la frecuencia de muestreo del equipo de medición
- F_0 es la frecuencia fundamental de la señal de entrada

El teorema de Nyquist establece que para que una señal quede bien muestreada, la frecuencia de muestreo del medidor debe ser al menos el doble de la frecuencia máxima de la señal que quiero muestrear



$$F_S \geq 2F_{max}$$

Donde,

- F_S es la frecuencia de muestreo del medidor
- F_{max} es la frecuencia máxima de la señal de entrada

De no ser bien muestreada la señal se podría producir un efecto *aliasing* (señales falsas) donde aparecen componentes de frecuencia en el espectro digital que no pertenecen a la señal de entrada, dando como resultado cálculos erróneos. La **cuantificación** es la aproximación de cada muestra tomada al nivel más cercano que puede representar el ADC y se determina según la cantidad de bits que posea el equipo de medición

$$\text{Niveles de cuantificación} = 2^N$$

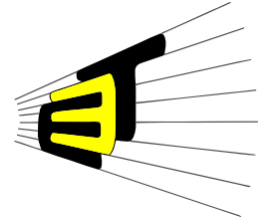
Donde,

- N es la cantidad de bits que posee el equipo de medición

Cada nivel representa un número binario de N dígitos por lo que entre más bits tenga el medidor menor será el error a la hora de cuantificar cada muestra. Una vez cuantificadas todas las muestras se completa el proceso de la conversión análoga a digital.

Etapas de procesamiento digital de la señal

El microcontrolador recibe una serie de valores digitales que representan la forma de onda de la señal de voltaje, pero los valores de dicha señal están modificados por los cambios efectuados durante la etapa de acondicionamiento por lo que se le aplican constantes de corrección a la señal (el valor de la constante viene calibrado desde fábrica y tiene en cuenta



los cambios producidos en la etapa de adecuación). Posteriormente, realiza el cálculo de la tensión eficaz aplicando la siguiente formula

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N v[k]^2}$$

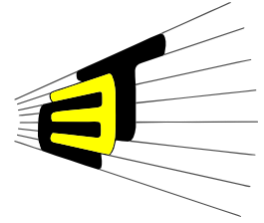
Donde

- N es el número de muestras tomadas en un ciclo de la señal
- Donde $v[k]$ es el valor digital de cada muestra

Con el cálculo del voltaje eficaz, el microcontrolador convierte dicho valor de voltaje digital en uno de corriente mediante una constante de calibración (la constante de calibración viene ajustada desde fabrica y tiene en cuenta el valor de la resistencia de carga y la relación del número de espiras entre las dos bobinas de entrada) permitiendo obtener el valor real de la corriente en el conductor y posteriormente se hace la conversión del valor que está en sistema binario a sistema decimal.

Etapa de visualización

El microcontrolador manda los códigos ASCII (sistema decimal) a través de un bus o interfaz serial a la pantalla LCD donde finalmente se puede ver el valor real de la corriente que está circulando por el conductor.



Ejemplo práctico

Supongamos que se quiere medir la corriente que pasa por un conductor que transporta

$$I_{Conductor} = 10[A] \text{ en AC, } 60\text{Hz}$$

Al ser un conductor, el número de espiras de su bobina es 1 y la pinza amperimétrica por datos de diseño sabemos que tiene 1000 espiras en su bobina, por lo tanto

$$I_S = \frac{N_P}{N_S} * I_P$$

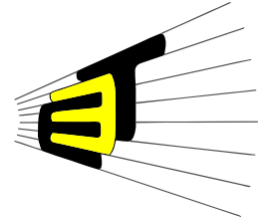
$$I_S = \frac{1}{1000} * 10 = 0.01[A]$$

Por datos de diseño se sabe que la resistencia de carga es de 100Ω por lo que

$$V_{Proporcional} = I_S * R_C$$

$$V_{Proporcional} = 0.01 * 100 = 1[V]$$

El medidor cuenta con una frecuencia de muestreo de 3600Hz por lo que el número de muestras que tomará el medidor en un ciclo de la señal serán



$$NMPC = \frac{F_s}{F_0}$$

$$NMPC = \frac{3600}{60} = 60 \text{ muestras por ciclo}$$

El ADC trabaja con 10 bits

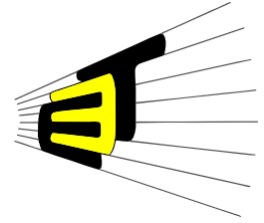
$$\text{Niveles de cuantificación} = 2^{10} = 1024$$

Las 60 muestras que se toman de un ciclo de la señal serán digitalizadas por medio de los 1024 niveles de cuantificación. Luego de aplicar la constante de corrección, el microcontrolador calcula el voltaje eficaz con la formula general

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N v[k]^2}$$

$$V_{rms} = 11001101_2$$

Aplicando el factor de corrección para convertir el voltaje eficaz en un valor de corriente y convirtiendo el valor en binario en decimal, tenemos como resultado final que



$$I_{Conductor} = 10[A]$$

Aplicaciones de campo

- **Medición de corriente sin interrupción:** El principal atributo de la pinza amperimétrica es poder medir la corriente que atraviesa un conductor sin la necesidad de cortar o interrumpir el circuito. Se utiliza comúnmente en líneas energizadas, tableros eléctricos en operación y sistemas industriales en producción.
- **Mantenimiento industrial:** Muy utilizada para verificar el consumo de corriente en motores ya que permite detectar sobrecargas y desbalances de cargas.

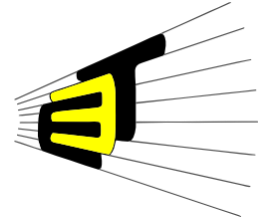
MULTÍMETRO



Figura 23. Multímetro

Introducción

El multímetro digital es un instrumento electrónico de medición que permite verificar magnitudes como voltaje, corriente y resistencia. Además, algunos incluyen funciones adicionales como prueba de continuidad y diodos.



Configuración de Terminales

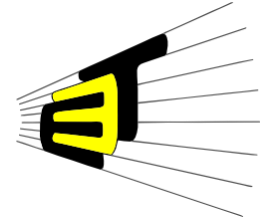
- **Terminal V (Tensión, continuidad, diodo, resistencia):** Punto de entrada positivo para las señales mencionadas. Se conecta al terminal positivo del elemento o circuito en estudio.
- **Terminal A (Corriente):** Punto de entrada positivo para la medición de corriente. Un conductor energizado se conecta al terminal del multímetro.
- **Terminal COM (Común):** Punto de referencia para las señales mencionadas en el terminal V, se conecta al terminal negativo del elemento o circuito en estudio. Punto de salida negativo para la medición de corriente en el terminal A, se conecta un conductor de tal forma que la corriente tenga un camino que seguir a modo de cerrar el circuito.

Selector de magnitud

El multímetro cuenta con la opción de seleccionar entre distintos tipos de magnitudes como lo son voltaje AC, voltaje DC, diodos, continuidad, resistencia eléctrica, corriente AC y corriente DC.

Botones

- **HOLD:** Congela el valor que se está mostrando en pantalla en ese preciso momento.
- **MIN/MAX:** Muestra el valor mínimo, máximo y promedio de la magnitud medida.
- **RANGE:** Cambia el rango de medición manualmente.
- **BOTÓN AMARILLO:** Activa las funciones secundarias del medidor (las marcadas de color naranja en el selector de magnitud).



Elementos internos del equipo de medición

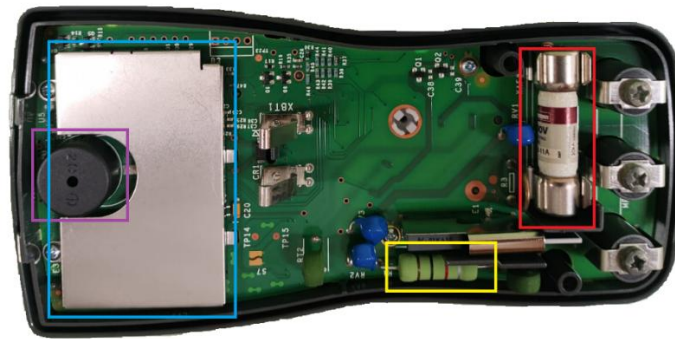
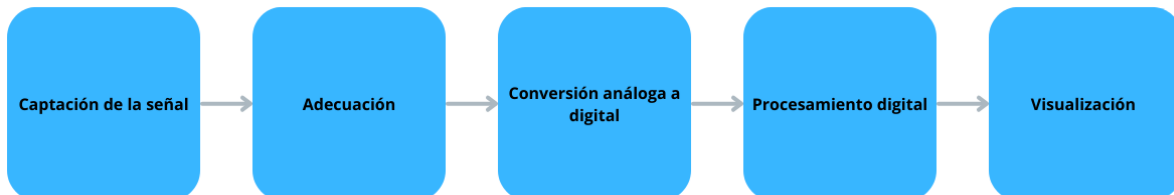


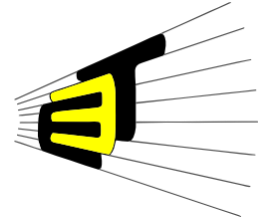
Figura 24. Elementos internos del multímetro

- Un fusible de protección señalado con el rectángulo de color rojo.
- Una resistencia de carga señalada con el rectángulo de color amarillo.
- Un zumbador señalado con el cuadrado de color morado.
- Componentes del sistema de acondicionamiento, ADC y microcontrolador, protegidos por una placa metálica señalada con el rectángulo de color azul.

Para medir voltaje en AC y DC

Etapas del proceso de medición





Captación de la señal

El multímetro cuenta con dos puntas de prueba, una de color rojo para la entrada positiva y otra de color negro para el común, que tienen en uno de sus extremos un conector que se inserta en los terminales del equipo de medición y, en el otro, una punta metálica que se coloca en la fuente de la señal eléctrica. Las puntas se colocan en paralelo con la fuente o carga que se está midiendo, entre dichas puntas aparece una diferencia de potencial (voltaje) que se replica a la entrada del multímetro.

Adecuación de la señal

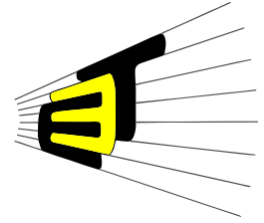
En la entrada del multímetro, la señal captada pasa por un divisor resistivo de precisión que se encarga de adecuar el valor de voltaje a uno seguro para el ADC. La señal escalada se pasa por un proceso de acondicionamiento, de ser necesario, idéntico al de la pinza amperimétrica (Ver página 29).

Conversión análoga a digital

La conversión análoga a digital se realiza de la misma forma que se realiza en la pinza amperimétrica (Ver página 30).

Procesamiento digital

El cálculo del voltaje eficaz se realiza de la misma forma que se realiza en la pinza amperimétrica (ver página 31). Con el valor del voltaje eficaz, el microcontrolador aplica una constante de calibración para ajustar los cambios con respecto al divisor resistivo de precisión y obtiene el valor real del voltaje en las puntas del multímetro, finalmente convierte el valor de sistema binario a su equivalente en sistema decimal.



Visualización

La visualización se realiza de la misma forma que se realiza en la pinza amperimétrica (ver página 32).

Ejemplo práctico

Se quiere medir el nivel de voltaje que está entregando una fuente

$$V_{in} = 12 [VAC]$$

El multímetro no puede enviar 12 voltios directamente al ADC (que trabaja en 0–5 V), así que pasa por un divisor de voltaje de precisión

$$V_{div} = V_{in} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

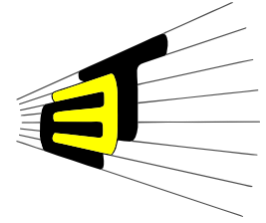
Donde $R_1=15\Omega$ y $R_2=5\Omega$

$$V_{div} = 12 * \frac{5}{15 + 5} = 3 [VAC]$$

El medidor cuenta con una frecuencia de muestreo de 9000Hz por lo que el número de muestras que tomara el medidor en un ciclo de la señal serán

$$NMPC = \frac{F_s}{F_0}$$

$$NMPC = \frac{9000}{60} = 150 \text{ muestras por ciclo}$$



El ADC trabaja con 10 bits

$$\text{Niveles de cuantificación} = 2^{10} = 1024$$

Las 150 muestras que se toman de un ciclo de la señal serán digitalizadas por medio de los 1024 niveles de cuantificación. Luego de aplicar la constante de corrección, el microcontrolador calcula el voltaje eficaz con la formula general

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N v[k]^2}$$

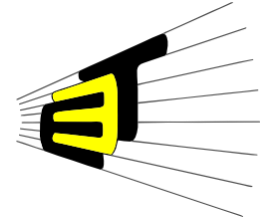
$$V_{rms} = 0000000011_2$$

Aplicando el factor de corrección con respecto al divisor de precisión y convirtiendo el valor de binario a decimal, tenemos como resultado final que

$$V_{in} = 12[VAC]$$

Para medir resistencia





Sensado de la señal

Las puntas del multímetro se conectan a los extremos de la resistencia que se desea medir. Luego, el propio multímetro aplica una pequeña fuente interna de voltaje en corriente continua que, a través de una resistencia de precisión, genera una corriente controlada. La corriente generada se envía por medio de las puntas del multímetro hacia la resistencia y se mide la caída de voltaje que se presenta en ella.

Adecuación de la señal

Para este caso no hace falta que se utilice un divisor resistivo de precisión ya que el microcontrolador se encarga de enviar una corriente adecuada a la resistencia de tal forma que la caída de voltaje se encuentre en los rangos de operación del ADC.

Conversión análoga a digital

La conversión análoga a digital se realiza de la misma forma que se realiza en la pinza amperimétrica (Ver página 30).

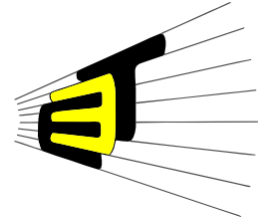
Procesamiento digital de la señal

Con el valor digital de la caída de voltaje y conociendo el valor de la corriente que se inyecta a la resistencia, el microcontrolador calcula el valor de la resistencia aplicando la ley de ohm

$$R = \frac{V}{I}$$

Donde,

- V es la caída de voltaje en la resistencia



- I es la corriente que se inyectó en la resistencia
- R es el valor de la resistencia

Realizado el cálculo, el microcontrolador convierte el valor binario calculado en su equivalente decimal para su posterior visualización.

Etapas de visualización

La visualización se realiza de la misma forma que se realiza en la pinza amperimétrica (Ver página 32).

Ejemplo práctico

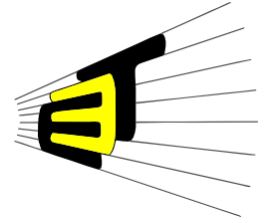
Se quiere medir el valor de una resistencia

$$R = 1000 [\Omega]$$

El multímetro por medio de la fuente de corriente continua envía 3mA por las sondas y esta pasa por la resistencia, dando como resultado una caída de voltaje

$$V_R = R * I$$

$$V_R = 1000 * 0.003 = 3[VDC]$$



Al ser un valor constante por su naturaleza continua, el ADC digitaliza el valor del voltaje y lo envía al microcontrolador para calcular el valor de la resistencia

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = 1111101000_2$$

Convirtiendo el valor de binario a decimal, tenemos como resultado final que

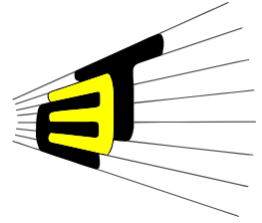
$$R = 1000[\Omega]$$

Para medir continuidad



Captación de la señal

Las puntas del multímetro se conectan a los extremos del componente donde se desea medir continuidad y realiza el mismo proceso de captación que se realizó para medir resistencia (Ver página 41).



Adecuación

La señal pasa por un proceso de adecuación idéntico a la medición de resistencia (Ver página 41).

Conversión análoga a digital

La conversión análoga a digital se realiza de la misma forma que se realiza en la pinza amperimétrica (Ver página 30).

Procesamiento digital

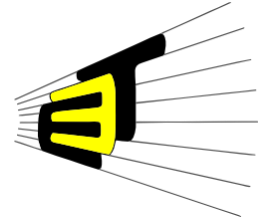
El microcontrolador realiza el mismo proceso que para el cálculo de la resistencia (ver página 41) y una vez obtenido su valor se aplica un criterio de umbral

- Si la resistencia es muy baja, el multímetro interpreta que hay continuidad
- Si la resistencia es muy alta, lo interpreta como “circuito abierto” o sin continuidad

Adicionalmente, se realiza la conversión del valor de la resistencia de valor binario a decimal para la posterior etapa de visualización.

Visualización y aviso acústico

Si se interpreta que hay continuidad, el microcontrolador activará un buzzer que dará una respuesta sonora rápida a la persona que esté operando el multímetro y mostrará el valor de la resistencia en la pantalla LCD. Si se interpreta que no hay continuidad, no se activará el buzzer y en la pantalla LCD se mostrará un aviso con las letras “OL” que se refiere a un circuito abierto.



Ejemplo práctico

Siguiendo el ejemplo de la medición de resistencia, teniendo en cuenta que el valor calculado fue de 1000Ω entonces el multímetro lo marcará como que no existe continuidad (OL) por su elevado valor y no activará el buzzer para dar una señal acústica.

Para medir diodos



Captación de la señal

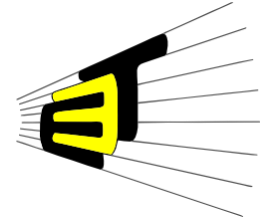
Las puntas del multímetro se conectan a los extremos del diodo y se realiza el mismo proceso de captación que se realizó para medir resistencia (ver página 41).

Adecuación de la señal

La caída de voltaje en un diodo por lo general está dentro de un rango entre 0.6-4V por lo que se envía directamente al convertidor.

Conversión análoga a digital

La conversión análoga a digital se realiza de la misma forma que se realiza en la pinza amperimétrica (ver página 30).



Procesamiento digital

Con el valor digital de la caída de voltaje, el microcontrolador convierte su valor de sistema binario a su equivalente en sistema decimal para su posterior visualización.

Visualización

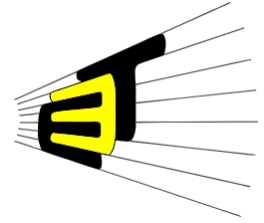
Si el diodo está en polarización directa, habrá una caída de voltaje típica dependiendo del material de fabricación

- Si el diodo es de silicio la pantalla LCD mostrara su caída de voltaje típica entre 0.6-0.7V
- Si el diodo es de germanio la pantalla LCD mostrara su caída de voltaje típica entre 0.2-0.3V
- Si es un diodo LED la pantalla LCD mostrara su caída de voltaje típica entre 1.8-3.3V

Por otro lado, si el diodo se encuentra en polarización inversa, no circulara corriente por él y la pantalla LCD mostrara las letras “OL” que se refiere a un circuito abierto.

Aplicaciones de campo

- **Medición de tensión (AC/DC):** Se utiliza para verificar niveles de alimentación y diagnósticos de caídas de tensión en cualquier equipo eléctrico, en instalaciones residenciales se utiliza para verificar los niveles de tensión en los tomacorrientes.
- **Medición de resistencia:** Se utiliza para evaluar el estado de componentes como los bobinados de los motores o los bobinados de los transformadores.
- **Diagnóstico de fallas:** Permite aislar problemas rápidamente, si en un sistema se hace la medición de tensión, pero da nula puede significar problemas con la fuente de alimentación, pero si la medición da un valor y aun así no funciona el sistema puede significar una falla interna.



- **Prueba de componentes electrónicos:** En la industria de la electrónica son muy usados los multímetros digitales para verificar que los componentes como los diodos, capacitores y transistores funcionen correctamente.

OSCILOSCOPIO



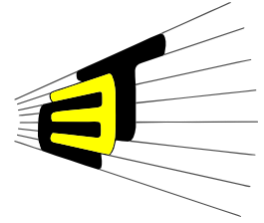
Figura 25. Osciloscopio

Introducción

Es un instrumento que permite visualizar gráficamente señales eléctricas en función del tiempo.

Configuración de Terminales

- **CH1 y CH2:** Son entradas de canal donde se conectan las puntas del osciloscopio para medir señales eléctricas. Cada canal es independiente por lo que se pueden comparar dos señales al mismo tiempo.
- **EXIT TRIG:** Es la entrada para una señal de disparo externo. Sirve para sincronizar la visualización del osciloscopio con una señal distinta de la que se está midiendo.



Sección VERTICAL

- **Botones CH1 y CH2:** Activan o desactivan los canales de entrada.
- **Perillas VOLTS/DIV:** Se encargan de ajustar cuantos voltios representan cada división vertical de la pantalla.
- **Botón MATH:** Activa funciones matemáticas para las funciones de entrada.

Sección HORIZONTAL

- **Perilla TIME/DIV:** Se encarga de ajustar cuantos segundos o milisegundos representa cada división horizontal de la pantalla.
- **Botón MENU:** Abre un menú de opciones para el eje horizontal

Sección TRIGGER

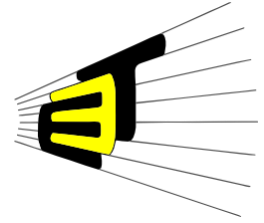
- **Perilla LEVEL:** Ajusta el nivel de voltaje al cual el osciloscopio dispara para sincronizar la forma de onda.
- **Botón MENU:** Abre un menú de opciones para el disparo.
- **Botón SINGLE:** Captura una sola forma de onda cuando ocurre el disparo.
- **Botón FORCE:** Fuerza un disparo inmediato, aunque no se cumplan las condiciones, mostrando la señal de inmediato.

Botón Autoset

Ajusta automáticamente los parámetros (volt/div, time/div, trigger) para mostrar una señal estable en pantalla.

Botón Run/Stop

Si se oprime una vez el osciloscopio congela la señal actual en pantalla, si se oprime nuevamente el osciloscopio sigue capturando y actualizando la señal en tiempo real.



Botón Acquire

Configura el modo de muestreo de la señal

Botón Display

Ajusta como se muestra la señal

Botón Utility

Muestra las opciones generales del osciloscopio

Botón Help

Muestra ayuda en la pantalla del osciloscopio

Botón Cursor

Activa los cursores verticales y horizontales para medir voltaje y tiempo

Botón Measure

Muestra medidas automáticas: Frecuencia, voltaje pico a pico, voltaje eficaz, etc.

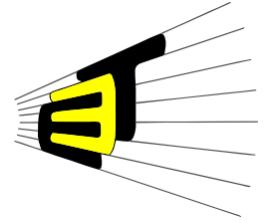
Botón Save/Recall

Permite guardar formas de onda en la memoria interna del equipo

Elementos internos del equipo de medición



Figura 26. Elementos internos del osciloscopio



- Un chip FPGA (Field Programmable Gate Array) señalizado con el rectángulo de color rojo, este es el cerebro del osciloscopio.
- Memorias de almacenamiento señalizadas con el rectángulo de color azul
- Un sistema de adecuación compuesto por atenuadores, amplificadores y filtros, señalizado con el rectángulo de color amarillo
- Un sistema de ventilación señalizado con el rectángulo de color morado

Etapas del proceso de medición

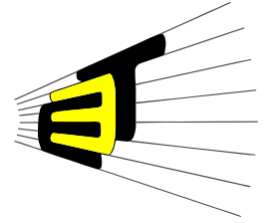


Captación de la señal

La sonda del osciloscopio se conecta a la fuente o circuito donde se desea observar el comportamiento de la señal eléctrica. Al igual que el multímetro, la sonda lo que hace es replicar la señal de voltaje medida en las puntas a la entrada del osciloscopio. Para todo el proceso de medición el oscilador maestro se ve directamente implicado ya que provee el tiempo de referencia con el que muestrea el ADC y con el que procesa las muestras digitales el FPGA, sin este las muestras no tendrían una relación temporal coherente y la gráfica en pantalla no representaría correctamente la señal real.

Adecuación

Inicialmente la señal se pasa por un conjunto de resistencias/interruptores que ajustan la amplitud de la onda de voltaje con el fin de adecuarla a un rango operable para el ADC y



tener múltiples rangos en la escala de VOLTS/DIV. Posteriormente, se pasa por un proceso de acondicionamiento que incluye amplificación (si la señal es muy baja), filtrado (filtros anti-aliasing) y ajuste de offset si es necesario.

Etapa de conversión análoga a digital

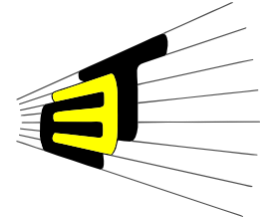
La conversión análoga a digital se realiza de la misma forma que se realiza en la pinza amperimétrica (ver página 30).

Etapa de procesamiento digital

Las muestras digitales obtenidas del ADC se almacenan en bloques dentro de la memoria del osciloscopio. Posteriormente, el FPGA procesa este bloque de datos, asignando a cada valor digital su correspondiente valor en voltaje real. En este proceso, el número de muestra se interpreta como la coordenada en el eje **X** (tiempo), mientras que el valor digital convertido a voltaje se interpreta como la coordenada en el eje **Y** (amplitud). De esta manera, cada muestra se traduce en un punto dentro del plano cartesiano de la pantalla. A continuación, el FPGA determina el píxel que corresponde a cada punto y, mediante un algoritmo de trazado que conecta cada coordenada con la siguiente, genera una curva continua que representa la señal de entrada.

Etapa de visualización de la señal

El FPGA envía las coordenadas al controlador de la pantalla LCD y este se encarga de mostrar la representación de la señal. En la pantalla se muestra la cuadrícula, la escala en la que está la señal y la curva trazada.



Aplicaciones de campo

- **Diagnóstico de calidad de la energía:** Es muy útil en sistemas eléctricos industriales para detectar armónicos, picos de tensión y distorsión de la señal.
- **Medición de frecuencia y muestreo:** A partir de una señal visualizada se puede comprobar la frecuencia de una red permitiendo por ejemplo aplicar un control a un variador de velocidad.
- **Mantenimiento de inversores y convertidores:** Instrumento clave en la electrónica de potencia ya que permite visualizar las señales de salida de los inversores y convertidores.

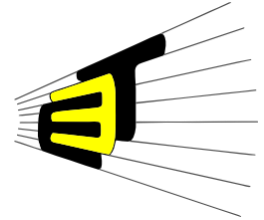
GENERADOR DE FUNCIONES



Figura 27. Generador de funciones

Introducción

Es un equipo electrónico que produce señales eléctricas periódicas de diferentes tipos de ondas (senoidal, triangular, cuadrada) y permite variar parámetros como la frecuencia, la amplitud, etc.



Configuración de terminales

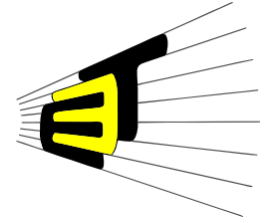
- **COUNT IN:** Sirve para conectar una señal externa. Se usa para medir la frecuencia de otra fuente de señal.
- **SYNC OUT:** Proporciona una señal cuadrada sincronizada con la onda generada en la salida. Se puede usar para sincronizar otros equipos de medida con el generador de funciones.
- **OUT PUT:** Es el punto de salida donde se obtiene la señal generada (cuadrada, triangular o senoidal).

Configuración de perillas

- **Perilla grande debajo de la pantalla:** Ajusta la frecuencia de salida. Después de seleccionar un rango de frecuencia en el instrumento, con esta perilla se puede variar el valor de la frecuencia dentro del rango elegido.
- **SWEEP:** Controla el barrido de la frecuencia. Dependiendo de la posición en la que se encuentre: Si está en RATE ajusta la velocidad del barrido (que tan rápido cambia la frecuencia) y si está en WIDTH ajusta el ancho del barrido (cuanto varia hacia arriba o hacia abajo dependiendo de la frecuencia central).
- **SYM:** Ajusta la simetría de la onda triangular.
- **DC OFFSET:** Desplaza la señal hacia arriba o hacia abajo en el voltaje.
- **AMPLITUDE:** Ajusta la amplitud de la señal de salida. Controla directamente el voltaje pico a pico que entrega en OUT PUT.

Configuración de botones

- **RANGE:** Definen el rango base de la frecuencia.
- **FUNCTION:** Eligen el tipo de señal que aparecerá en el terminal OUT PUT. La señal puede ser de tipo cuadrada, triangular o senoidal.



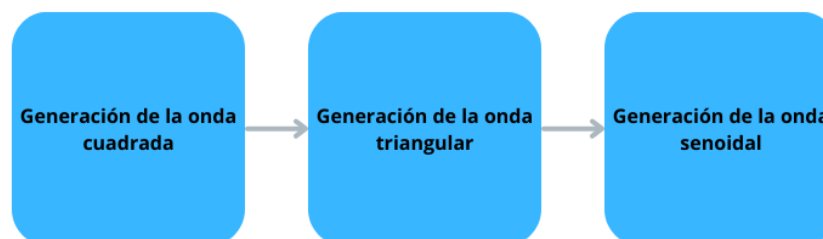
Elementos internos del equipo de medición

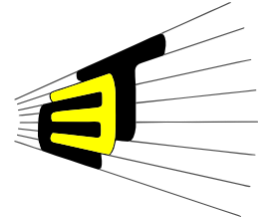


Figura 28. Elementos internos del generador de funciones

El equipo trabaja con muchos componentes en conjunto para poder generar todos los tipos de onda que se requieren: Amplificadores operacionales que forman parte de la etapa de generación y acondicionamiento, resistencias que forman parte de los divisores de voltaje y el control de amplitud, capacitores que forman parte de la oscilación y formación de las ondas, potenciómetros usados para la calibración interna, entre otros.

Etapas del proceso de medición





Generación de la onda cuadrada

El generador de funciones trabaja con amplificadores operacionales en distintas configuraciones que se encargan de dar la forma a las señales según se requiera, para la generación de una onda cuadrada se usa la siguiente configuración

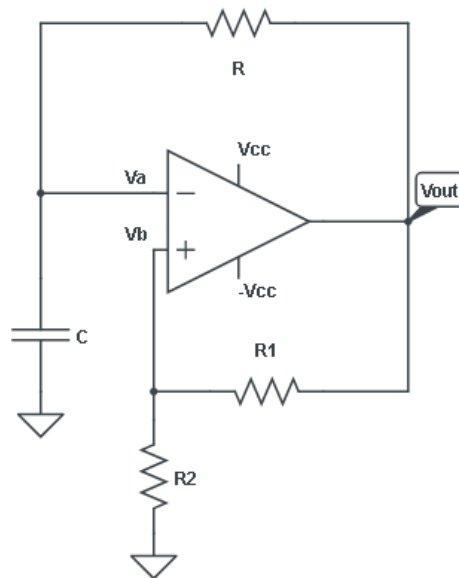


Figura 29. Amplificador operacional como oscilador de onda cuadrada

El amplificador operacional satura entre dos niveles de voltaje (V_{CC} y $-V_{CC}$) y trabaja con una gran ganancia por lo que si se produce una diferencia entre los valores de voltaje en V_a y V_b , se puede obtener los dos niveles de saturación en V_{out}

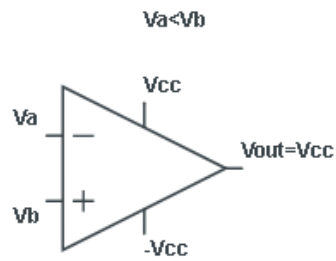
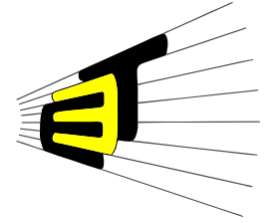


Figura 30. $V_a < V_b$

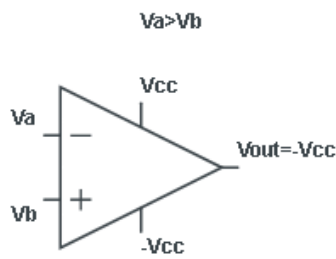


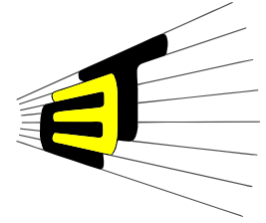
Figura 31. $V_a > V_b$

Realizando un primer análisis para cuando el capacitor esta descargado, tenemos que

$$V_a = 0; V_b = \frac{V_{cc} * R2}{R1 + R2}$$

En este punto se cumple la condición de la figura 20 por lo que

$$V_{out} = V_{cc}$$



En esas condiciones el capacitor comienza a cargarse por medio de la resistencia R. Cuando el voltaje en el capacitor supera el voltaje en el punto V_b se cumple la condición de la figura 21 por lo que ahora

$$V_{out} = -V_{cc}$$

Dando como resultado un voltaje en el punto V_b negativo

$$V_b = \frac{-V_{cc} * R2}{R1 + R2}$$

Como ahora el voltaje en V_{out} es negativo, el capacitor comienza a descargarse hasta llegar al punto inicial de $V_a = 0$ y sigue descargándose con un voltaje negativo hasta llegar al umbral donde V_b vuelva a ser mayor a V_a y se repite el mismo ciclo constantemente dando como resultado una señal de onda cuadrada a la salida del amplificador operacional.

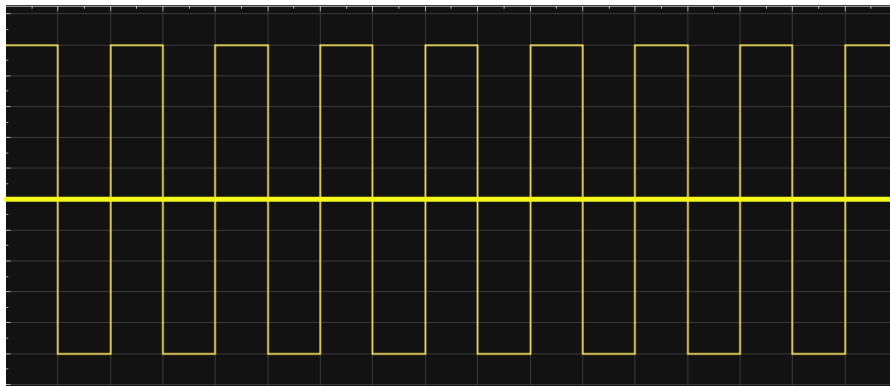
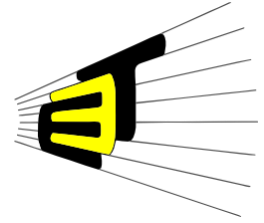


Figura 32. Onda cuadrada a la salida del generador



Donde el límite superior hace referencia a $V_{out} = V_{cc}$ y la amplitud del pulso es el tiempo de carga del capacitor, mientras que el límite inferior hace referencia a $V_{out} = -V_{cc}$ y la amplitud del pulso es el tiempo de descarga del capacitor.

Generación de la señal triangular

Para la generación de una onda triangular se usa la siguiente configuración

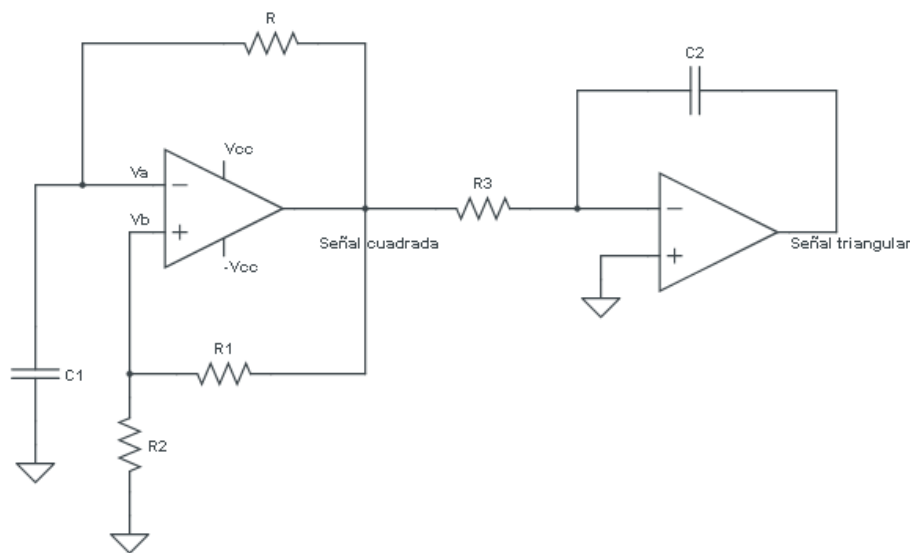
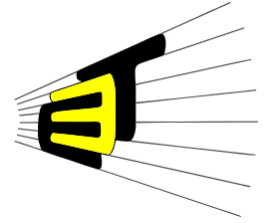


Figura 33. Amplificador operacional como oscilador de onda triangular

En la parte izquierda tenemos la misma configuración que se usó para la generación de onda cuadrada, si tomamos esa onda cuadrada y la pasamos por un amplificador operacional en configuración integradora podemos obtener una señal triangular a la salida de este. Un integrador ideal cumple que

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in}(t) dt$$



Se sabe que el V_{in} siempre será una señal constante porque viene de la onda cuadrada (V_{cc} o $-V_{cc}$) por lo que el resultado de la integral será una recta ascendente o descendente cuya pendiente dependerá directamente de los valores de R_3 y C_2 .



Figura 34. Onda triangular a la salida del generador

Generación de onda senoidal

Para generar una señal senoidal se utiliza la siguiente configuración

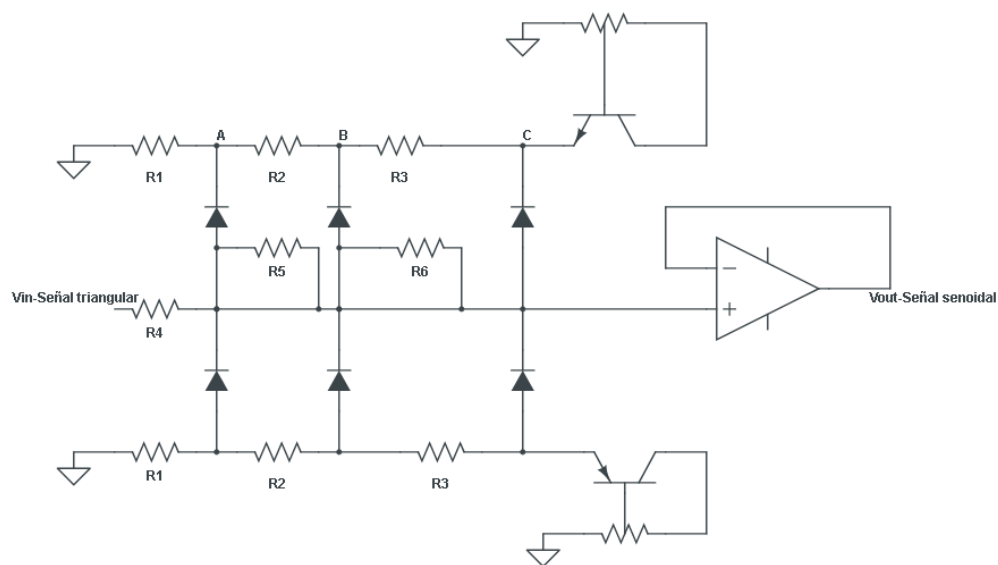
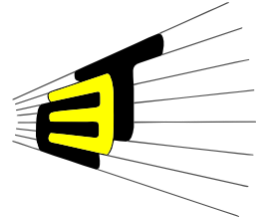


Figura 35. Amplificador operacional como oscilador de onda senoidal



Para obtener una señal senoidal se pasa la señal triangular por un conformador que es una matriz compuesta por diodos y resistencias. Los transistores generan una corriente y gracias a las resistencias R1, R2 y R3 aparece un voltaje en los nodos A, B y C. El primer diodo se polariza directamente cuando la magnitud de la señal de entrada es mayor a la del nodo A y el voltaje de salida aumenta lentamente debido a los divisores resistivos. Este proceso se repite para los siguientes dos diodos con una pequeña diferencia para el diodo del nodo C donde este al no tener una resistencia causa una pendiente nula en la máxima amplitud de la señal de salida.

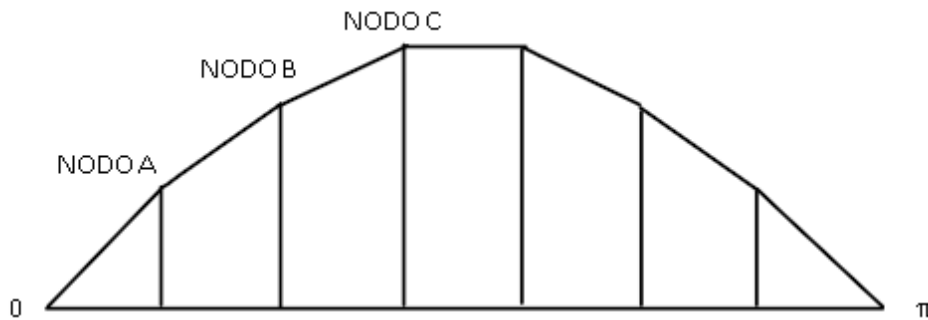


Figura 36. Señal de salida del conformador de onda en el semiciclo positivo

Los diodos en la parte inferior del circuito se encargan de realizar el mismo proceso para el semiciclo negativo de la señal dando como resultado en la salida una onda senoidal como la siguiente

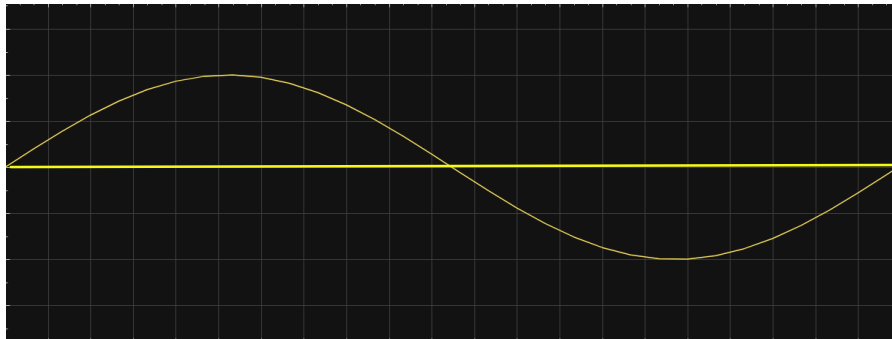
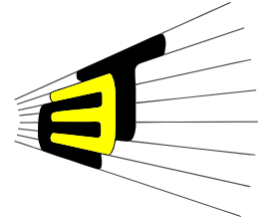


Figura 37. Onda senoidal a la salida del generador

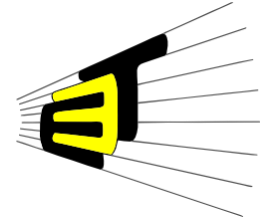
Aplicaciones de campo

- **Pruebas de sistemas de control:** Es muy utilizado en control y automatización industrial ya que al simular señales de entrada a un sistema se puede verificar el comportamiento de controladores.
- **Análisis de respuesta en frecuencia:** Al simular una señal de entrada a un sistema y variar su frecuencia se pueden realizar evaluaciones de filtros y análisis de estabilidad.

FUENTE DC



Figura 38. Fuente DC



Introducción

Una fuente de alimentación de corriente continua es un dispositivo que convierte la energía eléctrica de la red (corriente alterna – AC) en una salida estable de corriente continua – DC, que es la que utilizan la mayoría de los circuitos electrónicos. Su función principal es proporcionar a los equipos un voltaje y una corriente controlados, seguros y constantes, sin importar las variaciones de la red o de la carga conectada.

Configuración de terminales

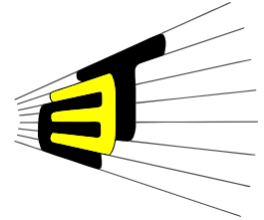
- El terminal rojo es el borne de polaridad positiva en la salida de la fuente
- El terminal negro es el borne de polaridad negativa (retorno) en la salida de la fuente
- El terminal verde está conectado a la carcasa del equipo y a la tierra de seguridad de la red eléctrica.

Configuración de perillas

- **Vadj Coarse y Vadj Fine:** Estas perillas trabajan en conjunto para seleccionar el voltaje de salida. **Coarse** se encarga de mover el voltaje en un rango amplio de manera rápida mientras que **Fine** permite cambios muy pequeños en el voltaje para afinar un valor exacto.
- **Aadj Coarse:** Fija la corriente máxima que la fuente entregará a la carga. Si la carga intenta consumir más corriente que el límite la fuente entra en modo CC (Corriente Constante) y Reduce el voltaje automáticamente para que la corriente no supere el valor ajustado.

Configuración de botones

- **DC OUT:** Activa/desactiva el voltaje/corriente en los bornes de salida de la fuente.



- **CC SET:** Permite ajustar el límite de la corriente entregada por la fuente sin necesidad de conectar la carga.

Elementos internos del equipo de medición

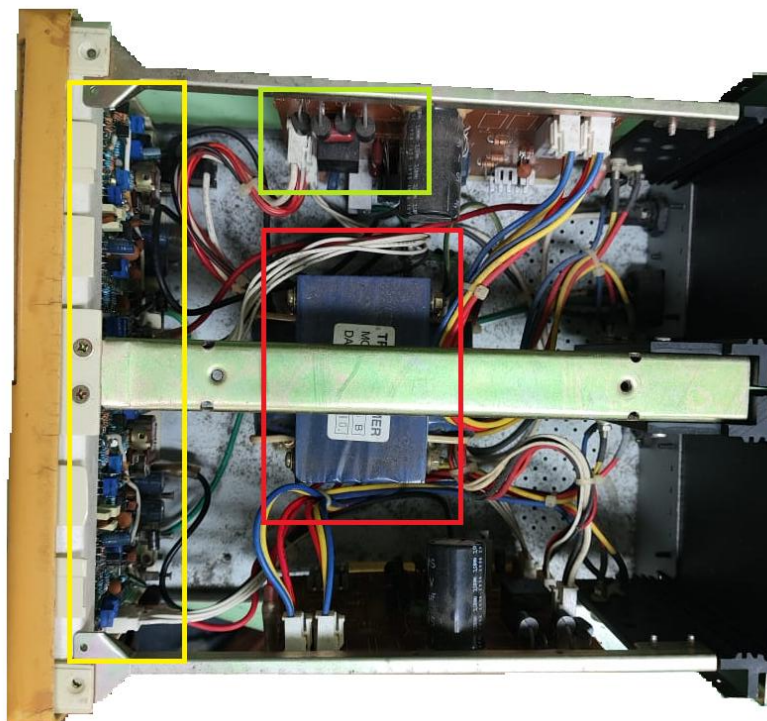
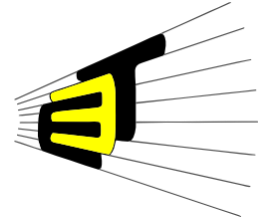


Figura 39. Elementos internos de la fuente DC

- Un transformador reductor señalado con el rectángulo de color rojo
- Una fase de rectificación que se da por medio de los diodos señalizados con el rectángulo verde
- Una PCB compuesta por resistencias, capacitores, transistores, diodos y circuitos integrados. Esta señalizada con el rectángulo de color amarillo



Etapas del proceso de medición



Recepción de la señal

La fuente recibe el voltaje de alimentación desde la red eléctrica en forma de corriente alterna (AC), generalmente 110 V o 220 V.

Reducción de la señal de voltaje de entrada

Mediante un transformador se reduce el nivel de voltaje de alterna a valores más manejables y seguros. El nivel de voltaje en el lado secundario del transformador dependerá de la relación de espiras entre las dos bobinas

$$V_S = \frac{N_S}{N_P} * V_P$$

Donde,

- V_S es el voltaje en el bobinado secundario
- N_S es el numero de espiras en la bobina secundaria
- N_P es el numero de espiras en la bobina primaria
- V_P es el voltaje en el bobinado primario

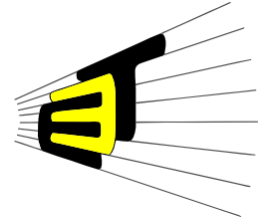


Figura 40. Etapa de transformación

Rectificación de la señal

El voltaje en alterna que llega del transformador es puramente senoidal como se muestra en la grafica



Figura 41. Onda senoidal a la salida del transformador

Esta señal se pasa por un circuito rectificador compuesto por diodos en configuración de puente

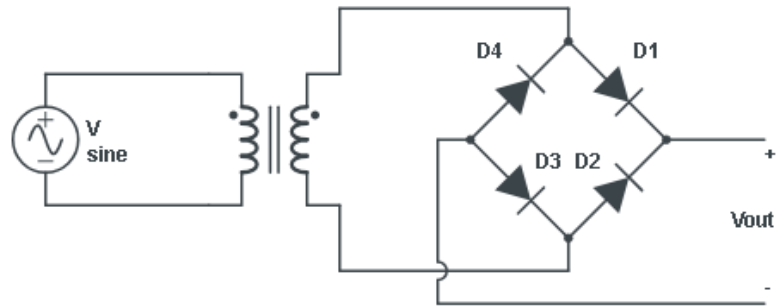
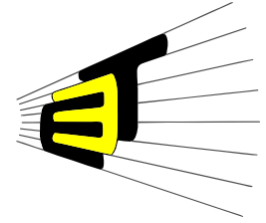


Figura 42. Circuito rectificador

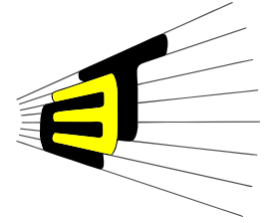
En el semiciclo positivo de la señal se polarizan directamente los diodos D1 y D3, y en el semiciclo negativo se polarizan los diodos D2 y D4. Con esta configuración los diodos solo permiten que en la salida se den voltajes positivos



Figura 43. Señal rectificada

Acondicionamiento de la señal

Para reducir las ondulaciones producidas en la rectificación, se emplean condensadores electrolíticos de gran capacidad. Estos dispositivos almacenan y liberan energía de manera



rápida, logrando suavizar la señal y proporcionar una corriente continua más estable. Esta etapa permite eliminar gran parte del rizado presente en la salida.

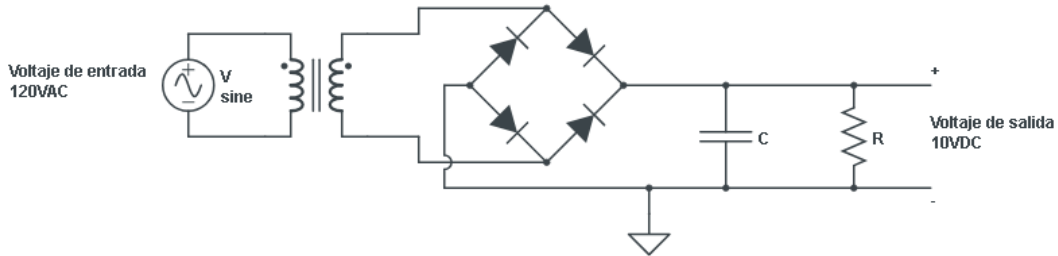


Figura 44. Acondicionamiento de la señal

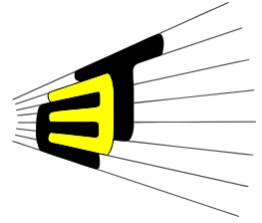


Figura 45. Señal acondicionada

Como se puede observar en la gráfica, después de un corto tiempo de estabilización (usualmente milisegundos) el rizo de la señal se estabiliza en un valor que podríamos considerar constante ya que su variación no supera los 0.1 voltios.

Entrega de la señal de salida

Finalmente, la corriente alterna convertida, filtrada y regulada se entrega a través de los terminales de salida en forma de corriente continua estable y confiable.



Aplicaciones de campo

- **Alimentación de equipos en pruebas:** Permite energizar equipos como tarjetas electrónicas, sistemas de control y equipos de instrumentación, sin depender de la red real.
- **Pruebas en sistemas de control e instrumentación:** Permite realizar pruebas controladas como alimentar sensores o verificar el funcionamiento de un PLC (Controlador lógico programable).