

LABORATORIO DE TEORÍA DE COMUNICACIONES 1 – PARTE TEORICA

TEMA: INTRODUCCIÓN A LA INSTRUMENTACIÓN

2024

LABORATORIO DE TEORÍA DE COMUNICACIONES 1 – TEL133

LABORATORIO NÚMERO:	2	SEMESTRE:	2024 – 1
---------------------	---	-----------	----------

TEMA: INTRODUCCIÓN A LA INSTRUMENTACIÓN



Objetivos de aprendizaje:

- Conocer las funciones básicas del multímetro digital a través de la medición de voltajes y corrientes.
- Conocer el funcionamiento del generador de señales a partir de las diferentes características de configuración que presenta.
- Conocer las opciones de configuración del osciloscopio digital mediante la medición y visualización de señales en el dominio del tiempo.
- Conocer el funcionamiento del analizador de espectros a partir de la visualización de señales en el dominio la frecuencia.

Actividades	Descripción	Duración	Puntaje
1	Prueba de entrada	10 min.	6
2	Desarrollo de la guía	95 min.	8
3	Evaluación oral	15 min.	6



El contenido de esta guía es de carácter estrictamente personal y aplicable solo para el curso de Teoría de Comunicaciones 1 (TEL133). Cualquier tipo de plagio será sancionado de acuerdo con el reglamento disciplinario de la PUCP.

INTRODUCCIÓN A LA INSTRUMENTACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La instrumentación de laboratorio son todas las herramientas, equipos e instrumentos utilizados para medir, analizar, controlar y manipular los procesos o fenómenos eléctricos que se producen en los circuitos electrónicos. Estos instrumentos incluyen multímetros, osciloscopios, fuentes de alimentación, generadores de funciones, analizadores de espectro, etc.

Los circuitos electrónicos a menudo trabajan con señales de relativa baja amplitud y frecuencias bajas y/o altas, por lo que la precisión es indispensable para garantizar la calidad y el rendimiento de los circuitos electrónicos. La falta de precisión en las mediciones puede afectar la eficacia y la eficiencia del diseño y el desempeño del circuito.

Por ejemplo, la medición imprecisa de una resistencia puede resultar en una incorrecta elección de componentes electrónicos, lo que puede afectar el funcionamiento y la estabilidad del circuito. Asimismo, una medición de frecuencia imprecisa puede resultar en el diseño de un circuito que no funciona adecuadamente en el ancho de banda esperado. Por lo tanto, es importante que la instrumentación de laboratorio este calibrada y verificada regularmente para garantizar la precisión y la confiabilidad de las mediciones. Además, es importante seguir buenas prácticas de medición, por ejemplo, asegurarse de que los cables de prueba estén conectados correctamente, evitar interferencias externas que puedan afectar las mediciones, etc.

2. MULTÍMETRO

El multímetro es el instrumento más utilizado en los laboratorios de electrónica. Estos equipos están diseñados para realizar mediciones del valor eficaz (RMS) de una señal de corriente o tensión.

Este equipo tiene múltiples funcionalidades; sin embargo, las funciones básicas que cualquier multímetro maneja son: medición de resistencia, voltaje y corriente. Actualmente, la gran mayoría de los multímetros que existen en el mercado ofrecen prestaciones adicionales a las mencionadas anteriormente, dentro de las cuales destacan por su gran utilidad las de evaluación de semiconductores (diodos, transistores, etc.), medición de capacitancias, inductancias, entre otros. En la figura 1 se muestra un multímetro de laboratorio de la marca FLUKE.



Figura 1. Multímetro de la marca FLUKE.

A continuación, se detallan los procedimientos para llevar a cabo algunas de las mediciones más comunes realizadas con el multímetro (medición de resistencia, voltaje, corriente, prueba de diodo y continuidad).

2.1. Medición de resistencia

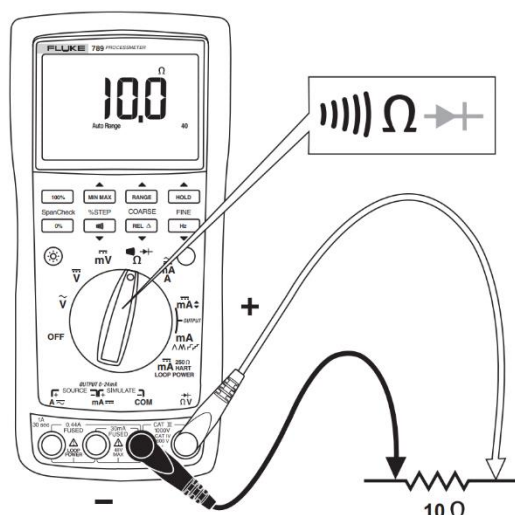


Figura 2. Medición de resistencia usando el multímetro.

1. Apague la alimentación del circuito.

- Si el circuito a evaluar incluye un capacitor, descárguelo antes de tomar cualquier lectura de resistencia.

2. Gire el cuadrante del multímetro digital a la opción de resistencia u ohmios (fig. 2).

- La pantalla debe mostrar **OL Ω**, porque en el modo resistencia el multímetro comienza a tomar datos aún en ausencia de los cables de prueba.
- El símbolo **M Ω** puede aparecer en la pantalla porque la resistencia de los cables de prueba en circuito abierto (sin conectar) es muy alta.
- Cuando los cables están conectados a un componente, el multímetro digital usa automáticamente el modo **Auto Range** para ajustarse al mejor rango.

- El botón **RANGE** permite configurar manualmente el rango.
 - Los mejores resultados se obtienen si el componente a evaluar se retira del circuito. Si se mide directamente en el circuito, las lecturas pueden ser afectadas por otros componentes en paralelo con el componente evaluado.
3. Primero inserte el cable de prueba negro en el conector **COM**.
 4. Luego inserte el cable rojo en el conector **V Ω** .
 - Al terminar la medición, retire los cables en orden inverso: primero el rojo y luego el negro.
 5. Conecte los cables de prueba en el componente que será evaluado.
 - Asegúrese que el contacto entre los cables de prueba y el circuito sea correcto.
 6. Lea la medida obtenida en la pantalla.
 7. Al terminar la medición, apague el multímetro para evitar que se agote la batería.

2.2. Medición de voltaje

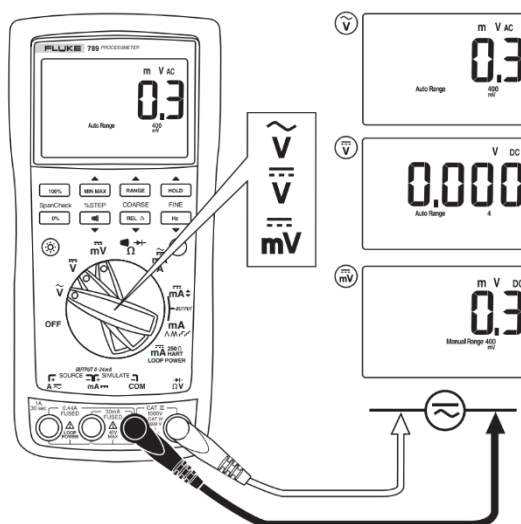


Figura 3. Medición de voltaje usando el multímetro.

1. Gire el dial y seleccione la función de voltaje **V_{AC}** (CA o V~) o **V_{DC}** (CC o V=) que requiera usar (figura 3).
 - Para la medición de voltaje de CC, si no está seguro de cuál elegir, comience con la opción que maneja un voltaje más alto (V=).
 - Para la medición de voltaje de CA, tener en cuenta que el multímetro da el valor eficaz de la señal medida; además, la señal a medir debe estar entre 0.5 Hz y 100 kHz, y la impedancia de entrada del multímetro es aproximadamente 10 M Ω .
2. Primero inserte el cable de prueba negro en el conector **COM**.
3. Luego inserte la sonda roja en el conector **V Ω** .

- Al terminar la medición, retire las sondas en orden inverso: primero la roja y luego la negra.
- 4. Conecte las sondas de prueba en el circuito: negro al punto de prueba de polaridad negativa (tierra del circuito), rojo al punto de prueba positivo.
- 5. Lea la medida obtenida en la pantalla.

2.3. Medición de corriente

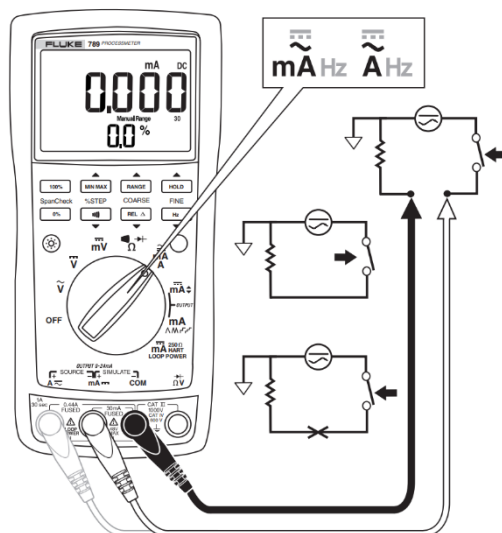


Figura 4. Medición de corriente usando el multímetro.

1. Gire el dial y seleccione la función de corriente CA ($A\sim$) o CC ($A=$) que requiera.
 - Para corrientes mayores a 400 mA conecte la punta roja al terminal 10 A.
 - Tener en cuenta que el multímetro siempre se conecta en **serie** con el elemento en el que se desea medir la corriente, por lo cual en muchos casos debe abrir el circuito para conectar el multímetro (figura 4). Además, la resistencia interna del amperímetro es muy baja (aproximadamente $5\ \Omega$).
2. Primero inserte el cable de prueba negro en el conector COM.
3. Luego inserte la sonda roja en el conector $V\ \Omega$.
 - Al terminar la medición, retire las sondas en orden inverso: primero la roja y luego la negra.
4. Conecte las sondas de prueba en el circuito: negro al punto de prueba de polaridad negativa (tierra del circuito), rojo al punto de prueba positivo.
5. Lea la medida obtenida en la pantalla.

2.4. Prueba de Diodo

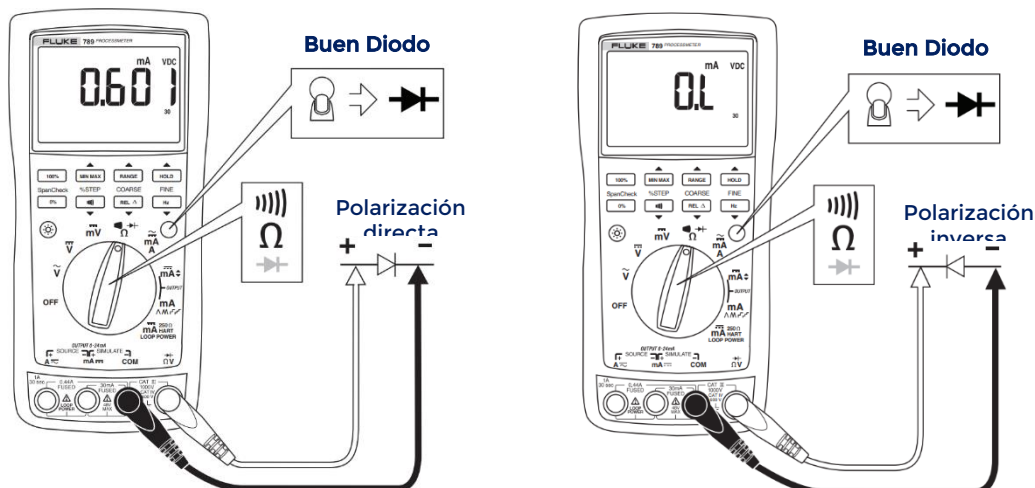


Figura 5. Prueba de diodo mediante polarización directa (izquierda) e inversa (derecha)

Los multímetros digitales permiten probar diodos usando uno de dos métodos:

- Modo de prueba de diodo.
- Modo de resistencia: usualmente usado cuando el multímetro no cuenta con el modo de prueba de diodo.

Nota: En algunos casos, puede ser necesario quitar un extremo del diodo del circuito para probar el mismo.

La mejor forma de probar un diodo es midiendo su caída de voltaje cuando está polarizado directamente. Un diodo con polarización directa permite que la corriente fluya a través de este; por lo tanto, actúa como un interruptor cerrado.

El modo de prueba de diodo de un multímetro produce un pequeño voltaje entre los cables de prueba. Luego, el multímetro muestra la caída de voltaje cuando los cables de prueba se conectan a través de un diodo con polarización directa.

- **Polarización directa:** el multímetro presenta la caída de voltaje directo (VF) en voltios, hasta 3.1 V y pita por corta duración para una caída de diodo ($V_F < 0,8 \text{ V}$).
- **Polarización inversa o circuito abierto:** El multímetro presenta OL.
- **Cortocircuito:** El multímetro emite un tono continuo.

El procedimiento de prueba de diodo se realiza la siguiente manera:

- Verifique que toda la energía del circuito esté apagada y que no haya voltaje en el diodo.
- Seleccione el modo de prueba de diodo.
- Conecte los cables de prueba en el diodo y registre la medida mostrada en la pantalla.
- Invierta la conexión de los cables de prueba en el diodo y registre la medida obtenida.

La prueba de diodo que indica el correcto funcionamiento del dispositivo se muestra en la figura 5, mientras que el mal funcionamiento se muestra en la figura 6.

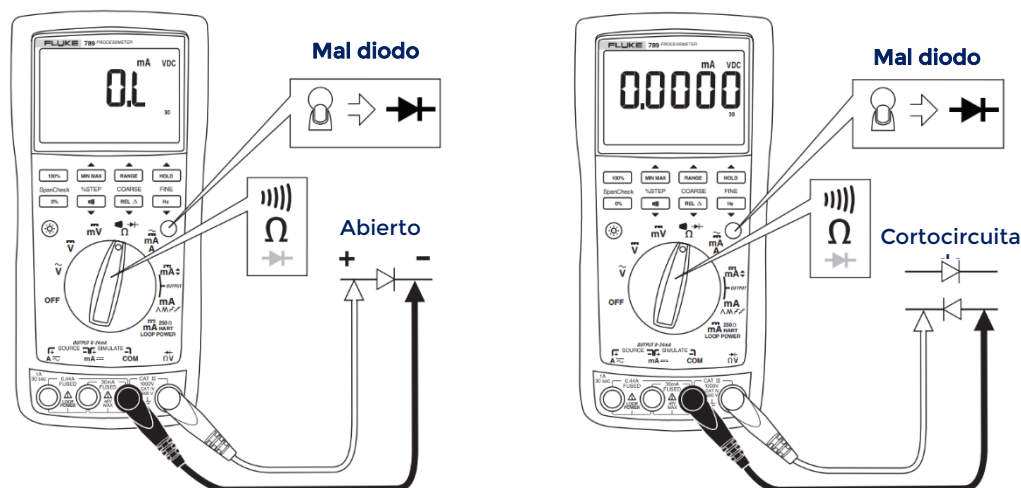


Figura 6. Prueba de diodo (dañado), abierto (izquierda) y cortocircuitado (derecha)

2.5. Medición de continuidad

De forma análoga a la medición de prueba de Diodo, se puede medir la continuidad en un circuito, según lo mostrado en la figura 5. El procedimiento para evaluar la continuidad es el siguiente:

1. Debe desconectar la energía en el circuito cada vez que vaya a medir continuidad para evitar dañar el multímetro.
2. Conectar los cables rojo y negro entre los puntos a medir continuidad.
3. Sonará un tono continuo si la resistencia entre los terminales es inferior a aproximadamente 150 Ω .
4. La pantalla mostrará el voltaje de prueba a través de los terminales.
5. El multímetro mostrará OL cuando no exista continuidad.

3. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Una fuente de alimentación es un dispositivo que se encarga de suministrar energía eléctrica a un circuito o dispositivo electrónico, a partir de la conversión de una corriente eléctrica. Para lograr dicha conversión, las fuentes de alimentación utilizan múltiples elementos como transformadores, rectificadores, filtros y reguladores.

Las fuentes de alimentación pueden tener diferentes especificaciones de voltaje, corriente, potencia y otras características según el uso requerido, además, se pueden clasificar de acuerdo a los siguientes tipos:

- **Fuentes de alimentación por canales:** pueden ser de un solo canal o multicanal.
- **Fuentes de alimentación regulables y no regulables:** las fuentes regulables tienen la posibilidad de configurar el voltaje y la corriente de forma manual, mientras que las no regulables o fijas tienen un valor preestablecido.
- **Fuentes de alimentación según la conversión de la corriente:** pueden ser lineales o conmutadas.
 - a) Las fuentes de alimentación lineales funcionan con una potencia, voltaje y corriente bajos. Este tipo de fuentes utiliza un transformador para reducir el voltaje de entrada y un regulador lineal para estabilizar el voltaje de salida. Las fuentes de alimentación lineales reguladas son ideales para aplicaciones que requieren un bajo nivel de ruido y alta precisión.
 - b) Las fuentes de alimentación conmutadas utilizan un circuito electrónico para convertir el voltaje de entrada en un voltaje de salida estabilizado, además, son resistentes a caídas de tensión. Asimismo, son más eficientes, compactas y ligeras que las fuentes de alimentación lineal, pero pueden generar ruido eléctrico. Estas fuentes son ideales para aplicaciones que requieren alta eficiencia y bajo costo.

De lo anterior, se pueden listar algunas ventajas y desventajas comparativas entre las fuentes de alimentación lineales y conmutadas, las cuales se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las fuentes lineales y conmutadas.

Fuente Lineal	Fuente Conmutada
Altas pérdidas y por lo tanto necesita refrigeración. A veces con ventilador	Eficiente y por lo tanto requiere poca refrigeración
Normalmente usan transformadores, que las hace más grandes y pesadas	Compacta y pequeña
Sin ruido de alta frecuencia	El ruido de alta frecuencia es causado por la conmutación
Puede controlar cargas inductivas	Puede tener problemas con las cargas inductivas

- **Fuentes de alimentación de alta corriente:** Las fuentes de alimentación de alta corriente están diseñadas para suministrar grandes corrientes a una carga, y se utilizan comúnmente en aplicaciones de electrónica de potencia y en la industria. Estas fuentes son capaces de suministrar corrientes de varios cientos de amperios.
- **Fuentes de alimentación de alta tensión:** Las fuentes de alimentación de alta tensión son capaces de generar voltajes de varios kilovoltios y se utilizan

comúnmente en aplicaciones de investigación y desarrollo, como en la física de alta energía y en la producción de rayos X.

- **Fuentes de alimentación de conmutación de alta frecuencia:** Las fuentes de alimentación de conmutación de alta frecuencia son capaces de generar señales de salida de alta frecuencia, y se utilizan comúnmente en aplicaciones de radiofrecuencia y microondas.

4. GENERADOR DE SEÑALES

El generador de señales es un dispositivo o instrumento electrónico que genera señales continuas y discretas (analógicas y digitales), pudiendo producir diversas formas de onda según el tipo de aplicación. Por lo que, puede ser usado en diferentes sistemas como: instrumento de prueba, para el seguimiento de señales, en la resolución de problemas, etc.

Actualmente, en el mercado de este tipo de equipamiento, existe una gran variedad de generadores de señales disponibles. Asimismo, según sus funcionalidades o capacidades los generadores se pueden clasificar en distintos tipos, por ejemplo:

- Generador de señales de audio
- Generador de señales de vídeo
- Generador de pulso
- Generador de señales de RF
- Generador de formas de onda arbitrarias
- Generador de funciones

4.1. Generador de Funciones/Arbitrarios

El generador de funciones tiene como fin principal el producir formas de ondas conocidas o recurrentes; por ejemplo: señales sinusoidales, cuadradas, triangulares, diente de sierra, etc. Asimismo, en la actualidad algunos generadores pueden convertir señales digitales a analógicas usando métodos de procesamiento de señales digitales.

Además, El generador de formas de onda arbitrarias, se usa para generar flujos arbitrarios de datos digitales. Sin embargo, este tipo de generadores presenta anchos de banda limitados y formas de onda que pueden no ser estables. La función principal de este tipo de generadores es activar un sistema usando una señal compleja.

4.2. Descripción general del panel frontal

En esta sección se describen los controles del panel frontal y la interfaz de la pantalla del generador de señales **AFG3022**. La figura 7 muestra el detalle de las secciones que componen el panel frontal del generador de señales de doble canal (funciones/arbitrarios).

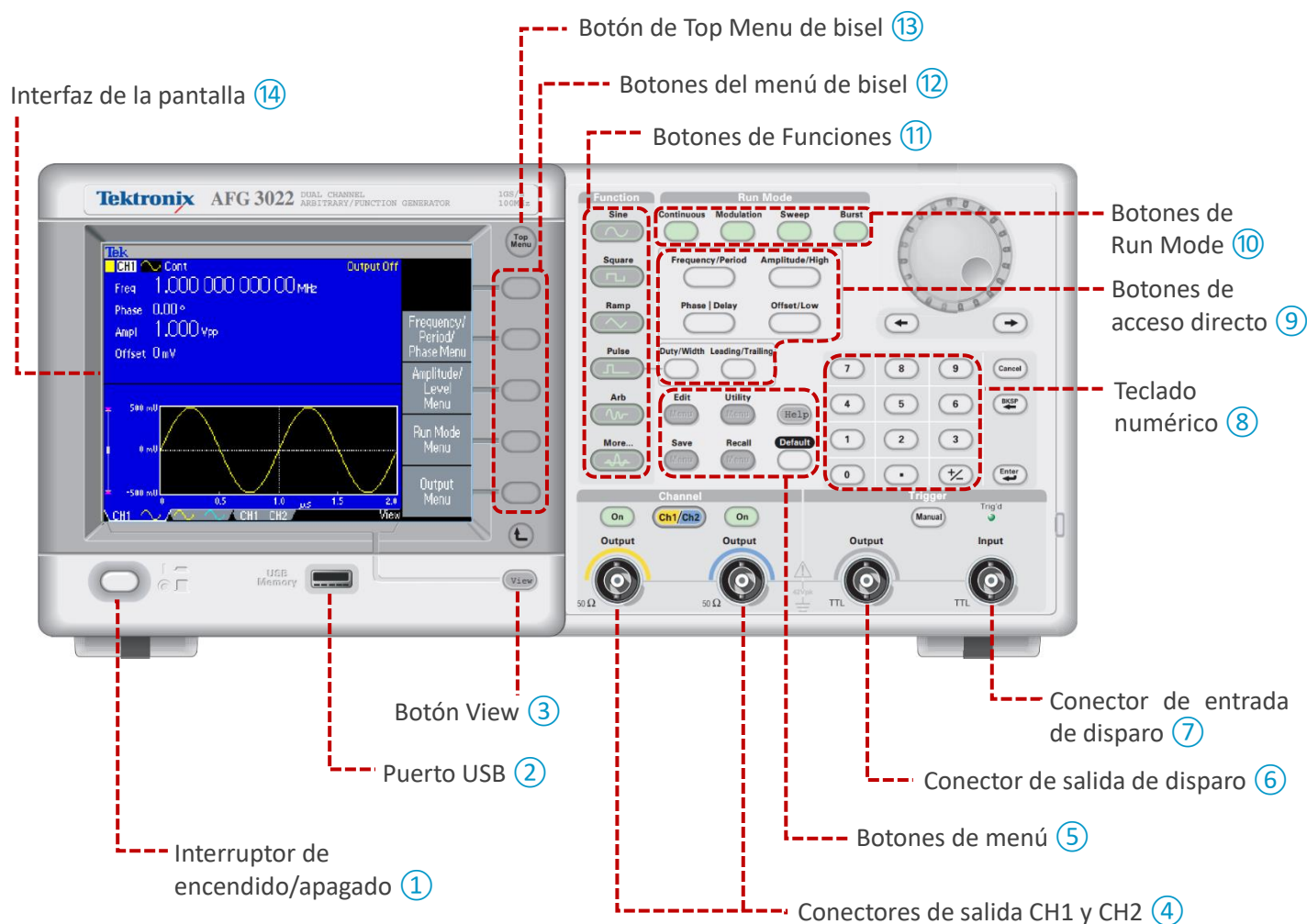


Figura 7. Secciones del panel frontal del generador de señales

① Interruptor de encendido/apagado:

Una vez conectado el cable de alimentación de CA, puede utilizar el botón de encendido del panel frontal para encender o apagar el instrumento.

② Puerto USB:

Puerto de comunicación que sirve para conectar de manera directa memorias USB o dispositivos como PC's, que permiten guardar y/o recuperar formas de onda arbitrarias, configuraciones, imágenes, etc.

③ Botón View:

Botón que permite acceder a los tres formatos de visualización en pantalla del instrumento.

- Pantalla de parámetros de forma de onda y gráficos.
- Comparación de gráficos.
- Comparación de parámetros de forma de onda de los canales.

④ Conectores de salida CH1 y CH2:

El equipo (modelo de doble canal) cuenta con conectores BNC en el panel frontal, 3 de entrada y 1 de salida. Los conectores de salida CH1 y CH2 permiten obtener las señales generadas de las formas de onda configuradas.

1. Selección de canal (modelo de doble canal)

El botón de selección  (**Channel**) del panel frontal permite tener acceso a la pantalla de visualización de alguno de los canales, pudiendo alternar entre los dos canales.

2. Activación/desactivación de los canales de salida

- Para activar la salida de la señal, presionar el botón **On** de la salida (**Output**) del canal (**Channel**) en el panel frontal. Cuando la salida se encuentra activa, el botón (**On**) se mostrará encendido mediante un LED. Asimismo, se recomienda configurar los parámetros de la señal mientras las salidas están desactivadas. Esto con el fin de evitar enviar una señal errónea que pueda ocasionar problemas en el dispositivo conectado al generador.
- En los equipos de doble canal, puede activar o desactivar la salida de la señal del canal 1 y el canal 2 de manera independiente.



Al conectar un cable, debe asegurarse de diferenciar los conectores de entrada del conector de salida.

⑤ Botones de menú:

Este conjunto de botones permite acceder a las opciones de ayuda, de guardado, edición, etc.

⑥ Conector de salida de disparo:

La señal salida de disparo del generador de funciones/arbitrario está conectada al modo de ejecución y a la función seleccionada en CH1, siempre que el instrumento sea un modelo de doble canal.

- El conector **Output** del **Trigger** del panel frontal proporciona la señal de disparo del osciloscopio.

- **Modo continuo:** La salida de disparo genera una forma de onda cuadrada con flanco ascendente al principio de cada periodo. Si la frecuencia de salida es superior a los 4,9 MHz se aplican algunas restricciones.
- **Modo de modulación:** Si se selecciona la fuente de modulación interna, la salida de disparo es una forma de onda cuadrada cuya frecuencia es la misma que la de la señal de modulación. Si se selecciona una fuente de modulación interna, la salida de disparo se desactiva.
- **Modo de barrido (Sweep):** Al seleccionar el modo de barrido **Repeat** o **Trigger** y la fuente interna de disparo, la salida será una forma de onda cuadrada con flanco ascendente al principio de cada barrido.
- **Modo Burst:** Cuando se selecciona una fuente de disparo interna, la salida de disparo es una forma de onda cuadrada con flanco ascendente al principio de cada periodo de Burst. Mientras que, al seleccionar una fuente de disparo externa, la salida de disparo será alta mientras la entrada de disparo también lo sea.

⑦ **Conector de entrada de disparo:**

Sirve para sincronizar más de un generador de funciones, utilizando un cable BNC para conectar la salida de disparo del instrumento maestro (que envía la señal Trigger) a la entrada de disparo del instrumento esclavo.

⑧ **Teclado numérico:**

Permite ingresar de manera exacta, los valores necesarios para configurar los parámetros de las señales a generar.

⑨ **Botones de acceso directo:**

Los botones de acceso directo permiten seleccionar un parámetro de configuración e introducir un valor numérico utilizando los controles del panel frontal. Además, ayudan a seleccionar un parámetro de forma de onda sin utilizar ninguna opción del menú de bisel.

- Al presionar una vez el botón de acceso directo **Amplitude/High**, se activa la opción **Amplitude**. Si presiona nuevamente el botón **Amplitude/High**, se activa la opción **High Level**.
- De igual forma, se pueden definir parámetros para los botones **Frequency/Period**, **Offset/Low**, **Duty/Width** o **Leading/Trailing**.

10 Botones de Run Mode:

También conocido como modo de ejecución, presenta las siguientes opciones:

- **Continuo:** El modo continuo permite generar señales de forma continua. Por ejemplo, una señal sinusoidal.
- **Modulación:** Permite acceder a alguna de las técnicas de modulación analógicas o digitales disponibles (AM, FM, PM, FSK y PWM).
- **Sweep:** Esta opción permite configurar señales de barrido. Por ejemplo, una señal senoidal con amplitud constante y cuya frecuencia varía entre una frecuencia de inicio y una de fin determinadas.
- **Burst:** Este modo presenta dos tipos ejecución (de disparo y confinado). El primer tipo presenta un número específico de ciclos de forma de onda cuando el instrumento recibe una entrada de disparo. El segundo tipo presenta una forma de onda continua cuando se aplica una señal confinada eficaz.

11 Botones de Funciones:

Mediante estas opciones se puede acceder a las 12 formas de onda estándar (Seno, Cuadrada, Rampa, Pulso, $\text{Sen}(x)/x$, Ruido, DC, Gaussiana, Lorentz, Aumento Exponencial, Decaimiento Exponencial y Haversine) que ofrece el instrumento. Además, el equipo también proporciona formas de onda arbitrarias definidas de manera personalizada por el usuario; pudiendo crear, editar y guardar dichas formas.

Asimismo, se pueden crear formas de onda moduladas, mediante la opción **Modulation** de **Run Mode**. En la tabla 2 se muestran las posibles combinaciones entre el tipo de modulación y la forma de onda de salida.

Tabla 2. Combinaciones de modulaciones y formas de onda de salida.

	Seno, Cuadrada, Rampa, Arbitrarias, $\text{Sen}(x)/x$, Gaussiana, Lorentz, Aumento Exponencial, Decaimiento Exponencial, Haversine	Pulso
AM	✓	
FM	✓	
PM	✓	
FSK	✓	
PWM		✓
Sweep	✓	
Burst		✓

⑫ **Botones del menú de bisel:**

Permiten acceder a las opciones que se muestran en el lado derecho de la pantalla cuando se realiza la configuración de alguna opción requerida.

⑬ **Botón de Top Menu de bisel:**

Permite acceder a una instancia superior de las opciones desplegadas en el menú de bisel.

⑭ **Interfaz de la pantalla:**

La interfaz de la pantalla muestra al usuario los detalles de información necesarios para el uso del equipo. Las principales secciones de la interfaz se observan en la figura 8.

- **Menú de bisel:** Cuando se presiona un botón del panel frontal, el equipo muestra el menú correspondiente en el lado derecho de la pantalla.
- **Área principal de visualización y ficha View:** Al presionar el botón *View* del panel frontal cambia el formato de vista del área principal de visualización.
- **Estado de la salida:** Muestra el mensaje **Output Off** si la salida está desactivada. Al presionar el botón (*On*) de la salida de los canales del panel frontal, el mensaje cambiará o desaparecerá.
- **Área de visualización de mensajes:** En esta área se muestran los mensajes de supervisión del estado del hardware, por ejemplo, el reloj o disparo.
- **Medidor de nivel:** Muestra el nivel de amplitud seleccionado por el usuario.

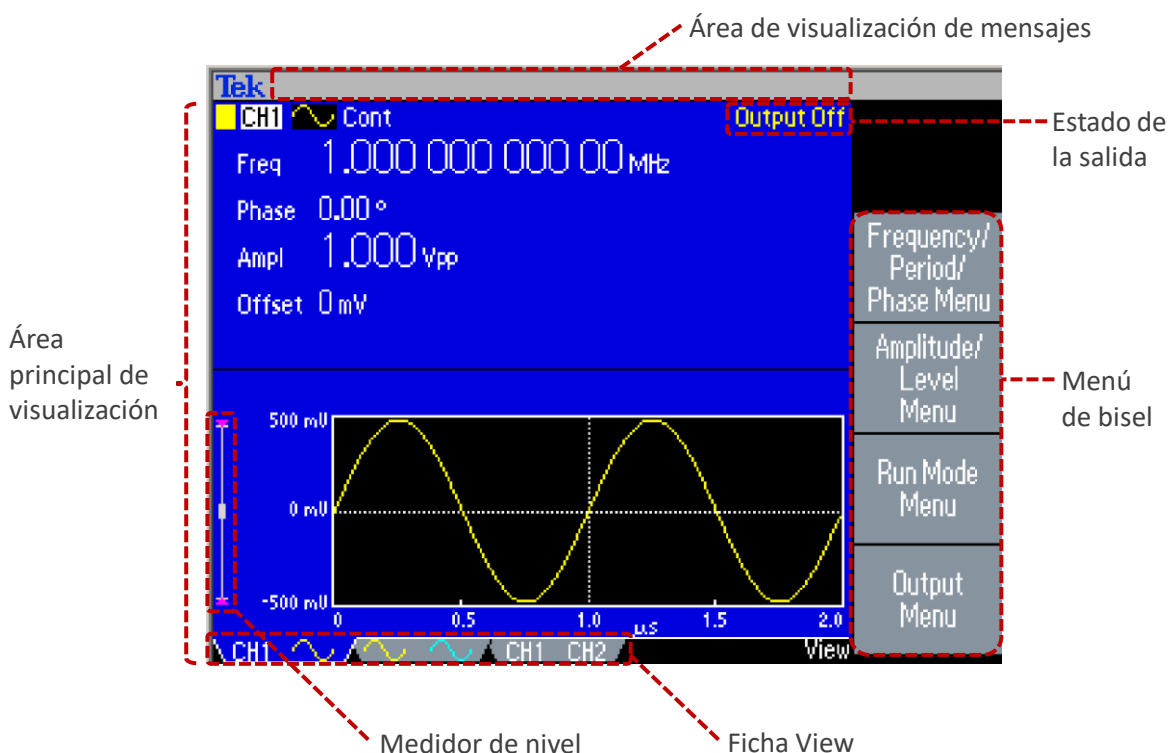


Figura 8. Secciones de la interfaz de la pantalla del generador de señales

5. OSCILOSCOPIO

El osciloscopio es un instrumento de medición electrónico que se utiliza para analizar señales eléctricas variables en el tiempo. Este equipo permite visualizar gráficamente la forma de onda de una señal, así como su amplitud, frecuencia, fase, etc. Asimismo, el osciloscopio permite ajustar la visualización de la señal, modificando su escala y posición mediante una serie de controles. Además, la señal eléctrica obtenida por el osciloscopio se mide a través de una sonda, la cual se conecta a la entrada del osciloscopio.

Existen principalmente dos tipos de osciloscopios, los analógicos y los digitales, sin embargo, actualmente la gran mayoría de osciloscopios suelen ser digitales debido a las prestaciones de precisión y funcionalidades avanzadas que ofrecen.

5.1. Osciloscopios digitales

Los osciloscopios analógicos tienen como evolución tecnológica a los osciloscopios digitales (DSO, por sus siglas en inglés), los cuales presentan las siguientes características importantes:

- **Digitalización:** Los osciloscopios digitales convierten la señal analógica de entrada en una señal digital a la cual se le aplica procesamiento. Esto permite capturar formas de onda complejas y realizar mediciones precisas.

- **Muestreo:** Los osciloscopios digitales toman múltiples muestras de la señal de entrada en intervalos periódicos. La tasa de muestreo es una especificación esencial que determina cuántas muestras por segundo se pueden tomar.
- **Ancho de banda:** El ancho de banda hace referencia a la frecuencia máxima que puede medir el osciloscopio. Esta especificación es importante debido a que determina la precisión con la que se pueden medir formas de onda complejas.
- **Resolución vertical:** La resolución vertical indica la precisión con la que es posible medir las pequeñas variaciones en la amplitud de la señal. Cuanto mayor es la resolución vertical, más pequeñas son las variaciones que se pueden medir.
- **Almacenamiento y procesamiento de datos:** Los osciloscopios digitales almacenan las formas de onda en una memoria interna, lo que permite realizar un análisis y procesamiento posterior. Asimismo, los osciloscopios digitales tienen funciones avanzadas de análisis de señales, como por ejemplo la FFT (Transformada rápida de Fourier), la cual permite descomponer la señal en sus componentes de frecuencia.

5.2. Descripción general del panel frontal

En este apartado se describe la interfaz y los controles del panel frontal del osciloscopio digital DPO 3034. La figura 9 muestra el detalle de las secciones que componen el panel frontal del osciloscopio.

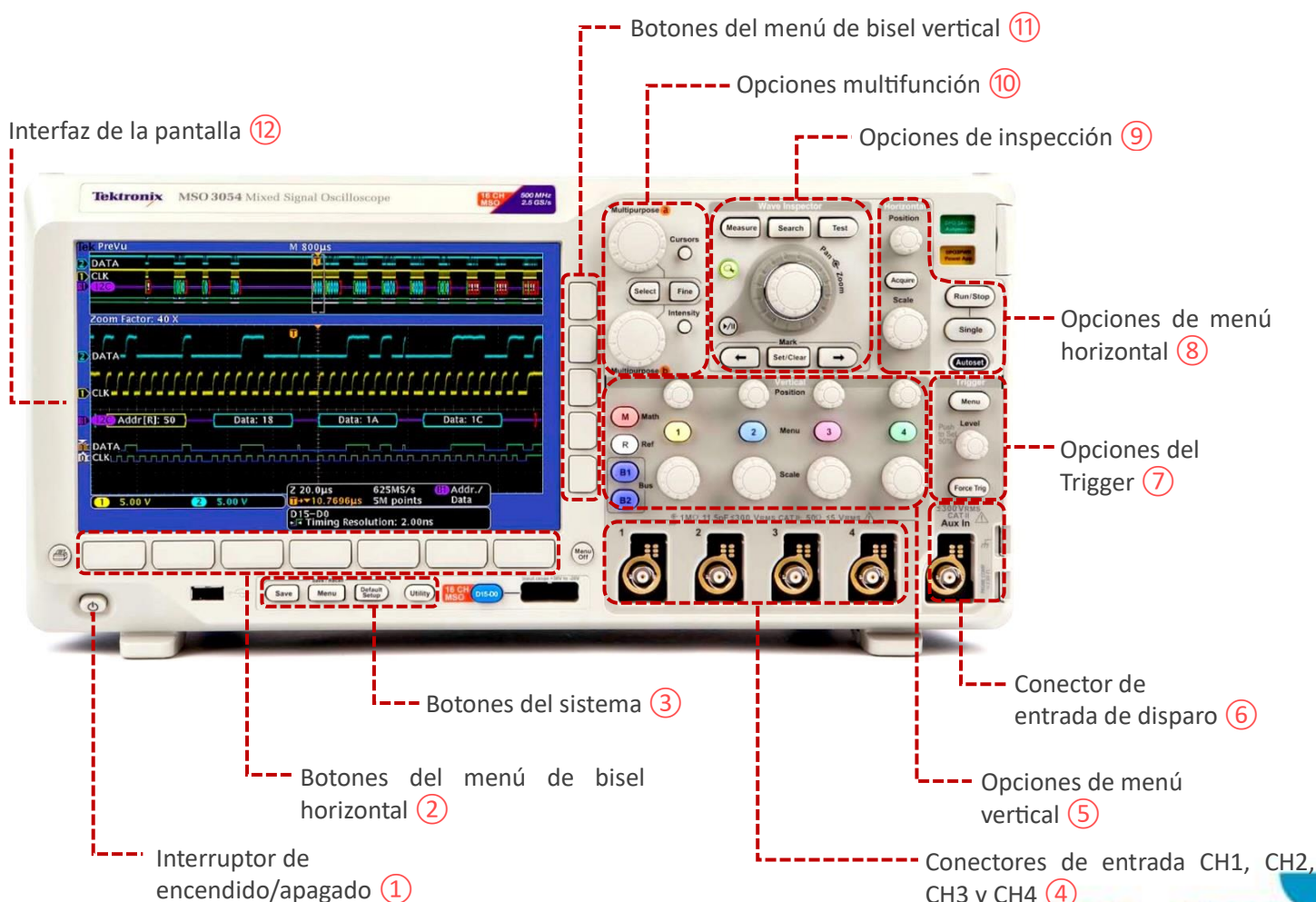


Figura 9. Secciones del panel frontal del osciloscopio digital.

① **Interruptor de encendido/apagado:**

Mediante este botón se puede encender o apagar el instrumento. Al encender el equipo se debe esperar hasta que el sistema cargue por completo.

② **Botones del menú de bisel horizontal:**

Son las teclas horizontales sin etiqueta debajo de la pantalla. Los botones del menú horizontal muestran en la pantalla una serie de anotaciones de las opciones a las cuales cada botón hace referencia.

③ **Botones del sistema:**

Las funciones del sistema permiten acceder a la configuración, almacenamiento y funcionalidades operativas del instrumento.

④ **Conectores de entrada CH1, CH2, CH3 y CH4:**

El instrumento cuenta con 4 conectores BNC en el panel frontal, correspondientes a los canales CH1, CH2, CH3 y CH4. Los conectores de entrada permiten obtener 4 posibles señales de manera independiente, estas señales son obtenidas a través de sondas de medición conocidas típicamente como puntas de osciloscopio.

⑤ **Opciones de menú vertical:**

Este conjunto de botones y perillas permiten ajustar verticalmente la posición y tamaño de las señales para ser visualizadas correctamente en pantalla, así como obtener el resultado de operaciones matemáticas aplicadas a las señales, dentro de las cuales se destaca la FFT.

- **Posición:** Las perillas de posición permiten el desplazamiento vertical (de la ubicación del punto de disparo) de las señales visualizadas en pantalla, respecto de un eje horizontal de referencia cero.
- **Menú:** Los botones de colores 1, 2, 3 y 4 permiten acceder al menú de configuración de cada una de las señales provenientes de los canales CH1, CH2, CH3 y CH4 respectivamente.
- **Escala:** Estas perillas permiten incrementar o disminuir verticalmente (voltios/división) el tamaño de las señales visualizadas en pantalla.
- **Math:** Permite obtener la Transformada Rápida de Fourier y realizar (entre las señales) operaciones como suma, resta, etc.

⑥ **Conector de entrada de disparo:**

Este conector corresponde al puerto auxiliar de entrada, que sirve para obtener una señal de disparo externa (el rango de nivel de disparo es ajustable y va de +8 V a -8 V).

⑦ **Opciones del Trigger:**

Las opciones de disparo pueden ser configuradas a través del menú de disparo, del nivel de disparo y/o forzando el disparo.

⑧ **Opciones de menú horizontal:**

Este conjunto de botones y perillas permiten ajustar horizontalmente la posición y tamaño de las señales para ser visualizadas correctamente en pantalla.

- **Posición:** Las perillas de posición permiten el desplazamiento horizontal (de la ubicación del punto de disparo) de las señales visualizadas en pantalla, respecto de un eje vertical de referencia cero.
- **Escala:** Estas perillas permiten incrementar o disminuir horizontalmente (tiempo/división) el tamaño de las señales visualizadas en pantalla.
- **Acquire:** Establece el modo de adquisición y ajusta la duración del registro.
- **Run/Stop:** Permite iniciar o detener las adquisiciones.
- **Single:** Obtiene una traza de la señal en un instante específico.
- **Autoset:** Configura automáticamente los controles vertical, horizontal y de disparo para una visualización estable y utilizable.

⑨ **Opciones de inspección:**

Estos botones y perillas controlan las formas de onda, los cursores y otras entradas de datos, dentro de las que destacan las opciones **Measure, Search, Test, Zoom y Pan**.

⑩ **Opciones multifunción:**

En esta sección se destacan principalmente las perillas multifunción, que sirven para acceder a las opciones **a** y **b**, las cuales hacen referencia a las perillas marcadas con estas letras y que podrán ser usadas siempre que sean activadas por alguna otra función, y los botones de los cursores, que permiten activar/desactivar y acceder a las opciones de uso de los cursores verticales y horizontales.

⑪ **Botones del menú de bisel vertical:**

Son las teclas verticales sin etiqueta junto a la pantalla. Los botones del menú vertical muestran en la pantalla una serie de anotaciones de las opciones a las cuales hace referencia cada botón.

⑫ **Interfaz de la pantalla:**

La interfaz de la pantalla muestra al usuario los detalles de la información de la medición realizada por el equipo.

6. ANALIZADOR DE ESPECTROS

La función básica del analizador de espectros es representar en una pantalla gráfica la amplitud o nivel de potencia de las señales (en el eje Y) y la frecuencia (en el eje X). Lo cual permite medir y/o analizar características importantes como el ancho de banda, la potencia de canal, la relación de potencia de canal adyacente, etc. Habitualmente, se suele usar una escala lineal para las frecuencias en el eje X, y una escala logarítmica o de decibelios (también logarítmica) para la potencia en el eje Y, de tal manera que se logren observar señales con niveles de potencia muy variables en un mismo instante.

Las amplitudes o la potencia de las señales detectadas se representan en el dominio de la frecuencia y en un rango del espectro de frecuencias seleccionado. Actualmente, los analizadores de espectro de RF típicos cubren frecuencias de radio y microondas de hasta 85 GHz; sin embargo, analizadores con frecuencias mayores son posibles mediante el uso de mezcladores externos.

Asimismo, la naturaleza de muchas de las señales pulsadas modernas, además de la necesidad de detectar e investigar señales transitorias, hacen que el analizador de espectro clásico (que usa el principio superheterodino) no sea suficiente para detectar de manera confiable todas las señales intermitentes presentes (como transitorios), o medir la fase de las señales. Es por ello, que es necesario el procesamiento digital mediante la transformación rápida de Fourier (FTT) desde el dominio del tiempo hacia el dominio de la frecuencia, para ampliar las capacidades de análisis y detección de señales del analizador de espectro superheterodino. De lo anterior, cabe mencionar que existen diferentes tipos de analizadores de espectro, los cuales se listan a continuación:

- Analizador superheterodino o sintonizado por barrido
- Analizador de transformada rápida de Fourier
- Analizador en tiempo real
- Analizador de Audio

6.1. Descripción general del panel frontal

En esta sección se describe la interfaz y los controles del panel frontal del analizador de espectros **E4402B**. La figura 10 muestra el detalle de las secciones que componen el panel frontal del analizador.

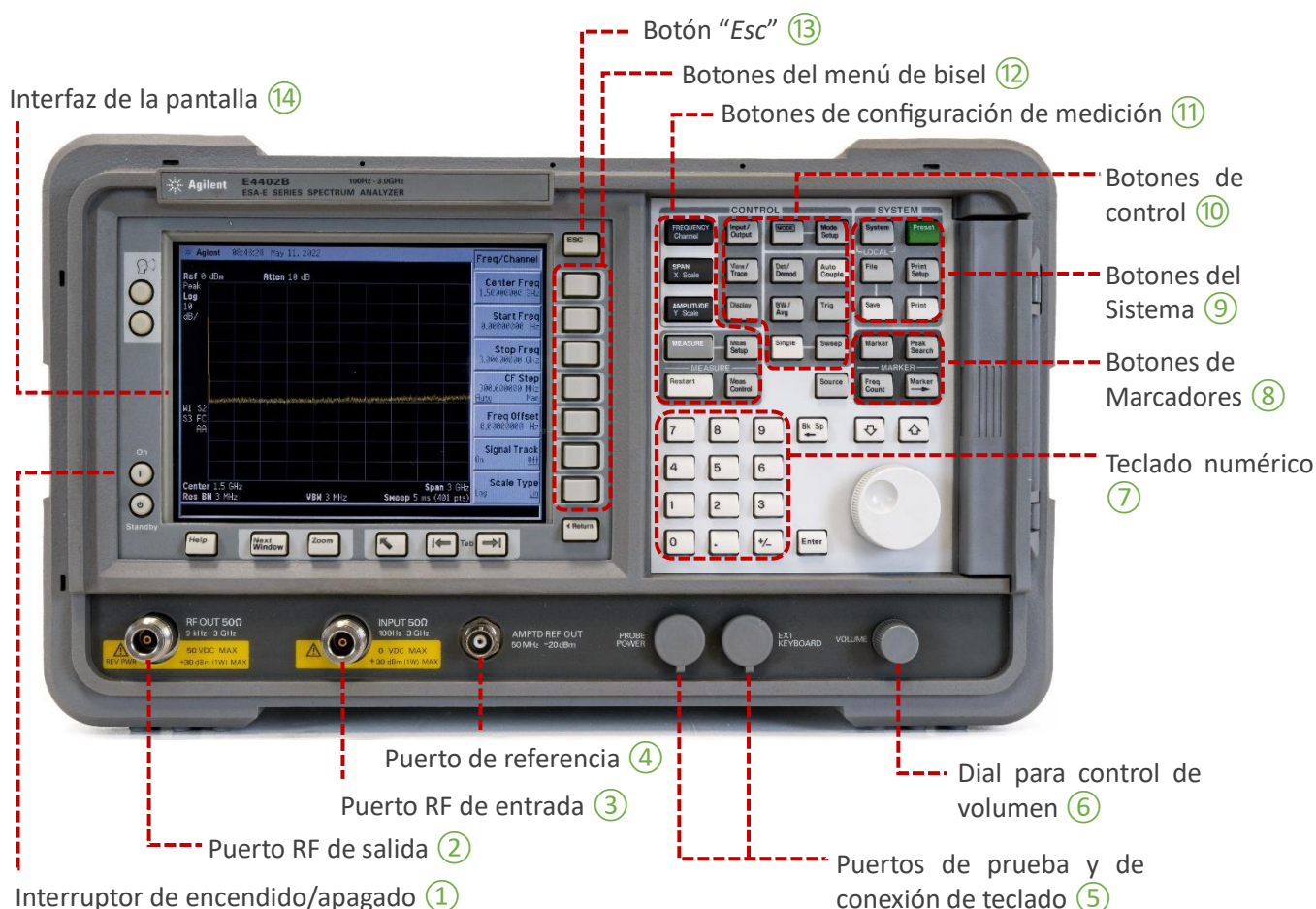


Figura 10. Analizador de espectros.

① Interruptor de encendido/apagado:

El botón de encendido del panel frontal permite encender o apagar el instrumento. Al encender el equipo se debe esperar al menos 5 minutos para que se estabilice.

② Puerto RF de salida:

Salida del puerto de RF de 50 Ω de la fuente para el generador de seguimiento (*tracking generator*) integrado, puede estar o no disponible.

③ Puerto RF de entrada:

Puerto de entrada de RF de 50 Ω del analizador de espectros por donde se ingresan las señales a analizar.

④ **Puerto de referencia:**

Puerto que proporciona una señal de referencia de 50 MHz y amplitud de -20 dBm.

⑤ **Puertos de prueba y de conexión de teclado:**

Proporciona conectar sondas de CA de alta impedancia u otros accesorios y un teclado externo.

⑥ **Dial para control de volumen:**

La perilla de volumen controla el nivel de audio del altavoz interno. El altavoz se enciende y apaga con la tecla Speaker.

⑦ **Teclado numérico:**

El teclado numérico permite la entrada de valores exactos para muchas de las funciones del analizador.

⑧ **Botones de marcadores:**

Las funciones de los marcadores, permiten leer frecuencias y amplitudes a lo largo de la traza del analizador, ubican automáticamente las señales de mayor amplitud y acceden a funciones como *Marker Noise* y *Band Power*, etc.

⑨ **Botones del sistema:**

Las funciones del sistema afectan el estado de todo el analizador y permiten acceder a varias rutinas de configuración y alineación.

⑩ **Botones de control:**

Las funciones de control permiten acceder a menús que configuran el ancho de banda de resolución, el tiempo de barrido y controlan la pantalla del analizador. También establecen otros parámetros del analizador necesarios para realizar mediciones.

⑪ **Botones de configuración de medición:**

El canal de **frecuencia**, la escala **span X** y la escala **amplitud Y** son las tres opciones que activan las funciones principales del analizador y acceden a los menús de funciones relacionadas.

⑫ **Botones del menú de bisel:**

Son las teclas sin etiqueta junto a la pantalla. Los botones del menú muestran en la pantalla una anotación de la opción a la cual hacen referencia.

⑬ **Botón “Esc”:**

La tecla Escape cancela cualquier entrada en curso. **Esc** cancelará una impresión (si hay una en curso) y borrará los mensajes de error de la

línea de estado en la parte inferior de la pantalla. También borra las condiciones de sobrecarga del generador de entrada y seguimiento.

14 Interfaz de la pantalla:

La interfaz de la pantalla muestra al usuario los detalles de la información de la medición realizada por el equipo. Las secciones principales de la interfaz se observan en la figura 11.

- **Menú de bisel:** Cuando se presiona un botón del panel frontal, el equipo muestra el menú correspondiente en el lado derecho de la pantalla.
- **Ficha View:** Muestra los parámetros de configuración bajo los cuales se realiza la medición.
- **Marcador:** Muestra el valor de frecuencia y de potencia obtenidos al realizar una medición usando las opciones de marcadores.
- **Área de visualización de estados:** Muestra el estado del analizador y los mensajes de error.
- **Configuración del nivel:** Muestra la configuración del nivel de potencia de referencia, nivel de atenuación de la señal, etc.



Figura 11. Secciones de la interfaz de la pantalla del analizador de espectros.