CANTROL®

Construction Materials
Testing Equipment

Manual técnico y de operaciones
Equipo de ensayo de velocidad de pulso ultrasónico (UPV)



CANTROL®

Agosto de 2025

Aviso legal

Este manual proporciona instrucciones para la operación y el mantenimiento del equipo de ensayo de velocidad de pulso ultrasónico de Cantrol. El fabricante no se hace responsable de los daños o lesiones derivados del uso inadecuado, las modificaciones no autorizadas o el incumplimiento de las directrices de seguridad y operación descritas en este documento. Es esencial que el operador esté plenamente capacitado y comprenda los principios de los ensayos ultrasónicos.

Contents

1. Introducción 3
   1.1 Finalidad y principio 3
   1.2 Aplicaciones 3
   1.3 Normas de referencia 3
2. Precauciones de seguridad 4
3. Principio de funcionamiento 4
4. Descripción del aparato 5
5. Configuración y calibración del sistema 7
   5.1 Configuración inicial 7
   5.2 Comprobación de la calibración 7
   5.3 Procedimiento de calibración del dispositivo 7
6. Procedimiento de ensayo 8
   6.1 Preparación de la superficie 8
   6.2 Aplicación del acoplante 8
   6.3 Técnicas de medición 9
7. Interpretación de los datos 11
   7.1 Cálculo de la velocidad del pulso 11
   7.2 Factores que afectan a la velocidad del pulso 11
   7.3 Clasificación de la calidad del hormigón 11
   7.4 Detección de defectos 12
   7.5 Estimación de la profundidad de grietas superficiales 12
   7.6 Estimación de la resistencia a compresión del hormigón 12
8. Mantenimiento y solución de problemas 13
9. Especificaciones técnicas 14

1. Introducción

1.1 Finalidad y principio

El ensayo de velocidad de pulso ultrasónico (UPV) es un método no destructivo utilizado para evaluar la calidad y la integridad de los materiales, especialmente del hormigón. El método se basa en medir el tiempo de tránsito de un pulso ultrasónico generado electrónicamente a través de un material. A continuación, la velocidad del pulso se calcula dividiendo la longitud del recorrido por el tiempo de tránsito.

Las velocidades de pulso más altas generalmente indican un material de buena calidad, con elevada densidad y uniformidad. Las velocidades más bajas pueden sugerir la presencia de huecos, grietas, coqueras u otros defectos internos.

1.2 Aplicaciones

El equipo UPV es una herramienta versátil para:

- Evaluar la calidad general y la homogeneidad del hormigón.
- Detectar defectos internos, grietas, huecos y delaminaciones.
- Evaluar la eficacia de las reparaciones de grietas.
- Supervisar los cambios en las propiedades del material a lo largo del tiempo (por ejemplo, debido al deterioro).
- Estimar la resistencia a compresión del hormigón (requiere correlación con ensayos destructivos).
- Determinar el módulo dinámico de elasticidad.

1.3 Normas de referencia

Este equipo y los procedimientos descritos están diseñados para cumplir las principales normas internacionales, entre ellas:

- **ASTM C597: Método de ensayo estándar para la velocidad de pulso a través del hormigón**
- **EN 12504-4: Ensayos de hormigón. Determinación de la velocidad de pulso ultrasónico**

- **IS 13311 (Parte 1): Métodos de ensayos no destructivos del hormigón: velocidad de pulso ultrasónico**

2. Precauciones de seguridad

ADVERTENCIA: Lea y comprenda completamente esta sección antes de operar el instrumento.

- **Seguridad eléctrica:**
  - Utilice únicamente el cargador suministrado por el fabricante.
  - No utilice el instrumento en ambientes húmedos o explosivos.
  - Asegúrese de que los cables de alimentación no estén dañados.
- **Manipulación del equipo:**
  - El instrumento contiene componentes electrónicos sensibles. Evite dejarlo caer o someterlo a impactos o vibraciones fuertes.
  - No intente abrir el dispositivo ni los transductores. En su interior no hay piezas que el usuario pueda reparar.
  - Mantenga los transductores y los cables limpios y en buen estado.

3. Principio de funcionamiento

El sistema UPV funciona generando una onda de tensión de corta duración y alta frecuencia (un pulso ultrasónico) mediante un transductor transmisor. Este pulso atraviesa el material ensayado. Un transductor receptor, situado a una distancia conocida del transmisor, detecta la llegada del pulso.

El instrumento mide el tiempo de tránsito (T) que tarda el pulso en recorrer la distancia (L) entre los dos transductores. A continuación, la velocidad del pulso (V) se calcula mediante la fórmula fundamental:

V = L / T

Where:

- **V es la velocidad del pulso (en km/s o m/s)**
- **L es la longitud del recorrido entre los transductores (en mm o m)**

- **T es el tiempo de tránsito (en microsegundos, µs)**

La velocidad del pulso está directamente relacionada con las propiedades elásticas y la densidad del material. Un material denso y sano tendrá un módulo de elasticidad más alto y transmitirá el pulso a mayor velocidad.

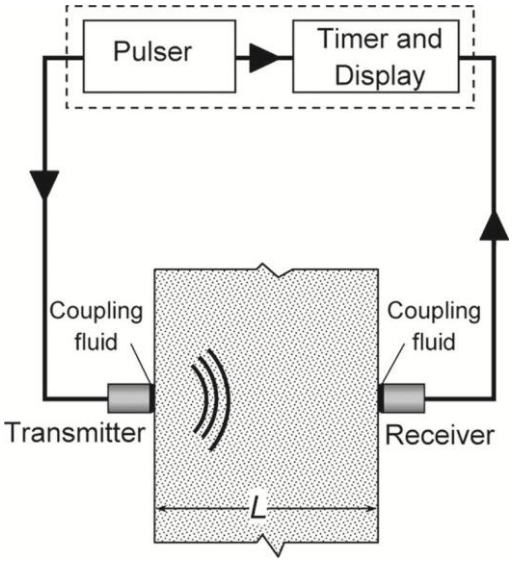


Figura 1. Diagrama esquemático del funcionamiento del dispositivo

4. Descripción del aparato

El equipo UPV consta de los siguientes componentes:

1. El dispositivo: unidad central de procesamiento del sistema.
    - Pantalla: pantalla LCD de alto contraste que muestra el tiempo de tránsito, la velocidad, la tensión de excitación y la longitud.
    - Teclado: permite navegar por los menús, introducir datos y controlar los parámetros del ensayo.
    - Conectores para transductores: conectores BNC; los externos son para el transmisor y el receptor, y los internos para la conexión al osciloscopio.
    - Puerto USB: para cargar la batería interna.
2. Transductores:
    - Transmisor y receptor: el transmisor convierte una señal eléctrica del dispositivo en una vibración mecánica (pulso ultrasónico). El

receptor detecta el pulso ultrasónico y lo convierte nuevamente en una señal eléctrica.

- Frecuencia: el conjunto estándar es de 54 kHz, adecuado para la mayoría de las aplicaciones en hormigón. Hay otras frecuencias disponibles (por ejemplo, 24 kHz para recorridos largos y 150 kHz para obtener alta resolución en secciones delgadas).

3. Cables: cables coaxiales con conectores BNC para conectar los transductores al dispositivo.
4. Barra de calibración: barra de plexiglás con el tiempo de tránsito conocido con precisión e indicado en ella. Se utiliza para verificar la exactitud del instrumento.
5. Acoplante: material viscoso utilizado para asegurar un buen contacto acústico entre los transductores y la superficie de ensayo, eliminando los espacios de aire.



Figura 2. El dispositivo y sus accesorios

5. Configuración y calibración del sistema

5.1 Configuración inicial

1. Conecte el transductor transmisor al conector del dispositivo utilizando uno de los cables BNC.
2. Conecte el transductor receptor a su conector.
3. Encienda el instrumento pulsando el botón ON/OFF. Aparecerá el menú principal.

5.2 Comprobación de la calibración

Este procedimiento compensa el tiempo de tránsito a través de los cabezales de los transductores y los cables, y debe realizarse:

- Antes del primer uso del día.
- Si se cambian los cables o los transductores.
- Si la temperatura ambiente cambia considerablemente.

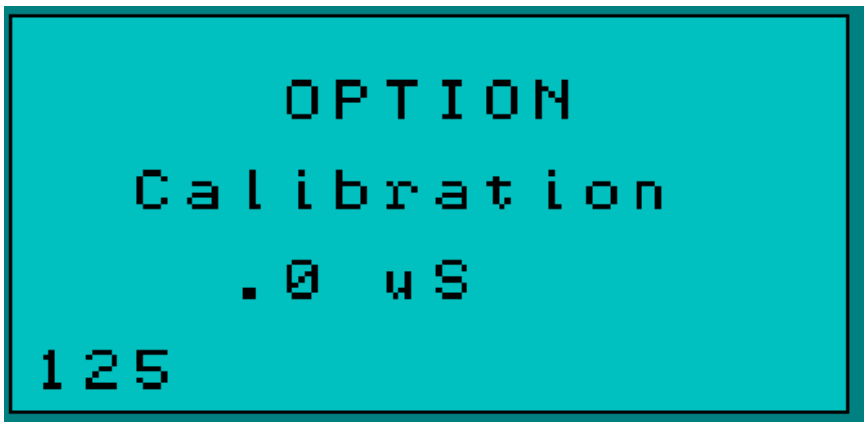
Este procedimiento verifica que el instrumento mida el tiempo correctamente.

1. Localice el valor del tiempo de tránsito indicado en la barra de calibración (por ejemplo, 36,8 µs).
2. Aplique una capa fina de acoplante en ambos extremos de la barra de calibración y en las caras de los transductores.
3. Presione firmemente los transductores contra los extremos de la barra.
4. El tiempo de tránsito mostrado en la pantalla debe coincidir con el valor indicado en la barra dentro de la tolerancia especificada (por ejemplo, ± 0,1 µs).
5. If the reading is out of tolerance, ensure good coupling and then calibrate the device.

5.3 Procedimiento de calibración del dispositivo

1. When the device is stopped, go the settings menu by holding the start button.
2. Vaya al menú «Calibración».

3. Aplique una pequeña cantidad de acoplante a las caras de ambos transductores.
4. Presione firmemente las caras de los dos transductores contra los extremos de la barra.
5. La pantalla debe mostrar el tiempo de tránsito de la barra de calibración.
6. Si no es así, utilice las teclas arriba y abajo para seleccionar el tiempo de tránsito indicado en la barra de calibración. A continuación, pulse detener.
7. El instrumento ya está calibrado.



6. Procedimiento de ensayo

6.1 Preparación de la superficie

- Seleccione puntos de ensayo representativos de la estructura.
- Las superficies de ensayo deben estar limpias y libres de material suelto, polvo y suciedad.
- En superficies muy rugosas, puede ser necesario desbastarlas hasta alisarlas para garantizar un contacto adecuado. También puede utilizarse una pequeña capa de yeso o mortero de fraguado rápido para crear una superficie lisa.

6.2 Aplicación del acoplante

Aplique una capa fina y uniforme de acoplante en toda la cara de cada transductor. Este paso es fundamental; una cantidad insuficiente de acoplante provocará lecturas inestables o una pérdida total de la señal.

6.3 Técnicas de medición

Existen tres métodos principales para colocar los transductores:

a) Transmisión directa (recomendada)

- **Descripción: los transductores se colocan en caras opuestas y paralelas del material.**
- **Procedimiento:**
    1. Mida con precisión la longitud del recorrido (L) entre los dos puntos.
    2. Presione firmemente los transductores sobre las superficies preparadas, directamente uno frente al otro.
    3. Manténgalos en posición hasta que la lectura del tiempo de tránsito (T) en la pantalla sea estable.
    4. Registre el tiempo de tránsito y la longitud del recorrido.
- **Ventaja: este método es el más fiable, ya que el receptor detecta la máxima energía del pulso.**

b) Transmisión semidirecta

- **Descripción: los transductores se colocan en caras adyacentes (es decir, alrededor de una esquina).**
- **Procedimiento:**
    1. Mida con precisión la longitud del recorrido entre los centros de las caras de los transductores.
    2. Presione firmemente los transductores contra las superficies.
    3. Registre el tiempo de tránsito estable.
- **Uso: cuando una de las caras opuestas no es accesible. La intensidad de la señal es menor que en el método directo.**

c) Transmisión indirecta (sondeo superficial)

- **Descripción: ambos transductores se colocan en la misma cara, separados por una distancia conocida.**
- **Procedimiento:**
    1. Marque una línea y coloque el receptor en una posición fija.

2. Coloque el transmisor a distancias crecientes del receptor (por ejemplo, 100 mm, 150 mm, 200 mm, etc.) a lo largo de la línea.
3. Registre el tiempo de tránsito para cada distancia. Trace un gráfico de la longitud del recorrido frente al tiempo de tránsito. La pendiente de la recta proporciona la velocidad del pulso.

- **Limitación: este método es el menos sensible y está muy influido por la capa superficial del hormigón, que puede no ser representativa del interior. Normalmente se utiliza para estimar la profundidad de las grietas.**

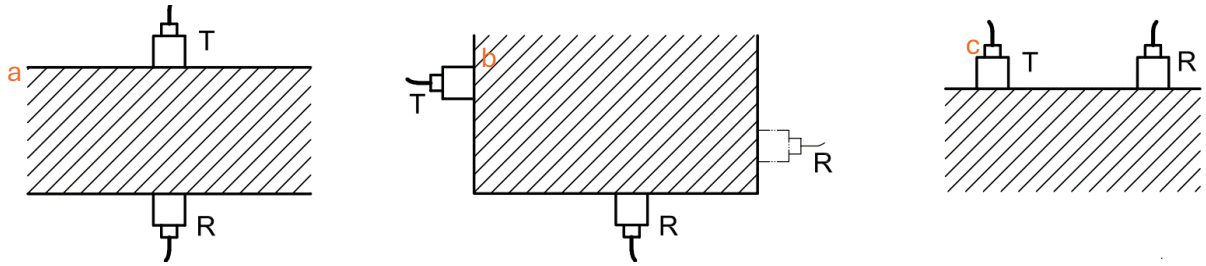
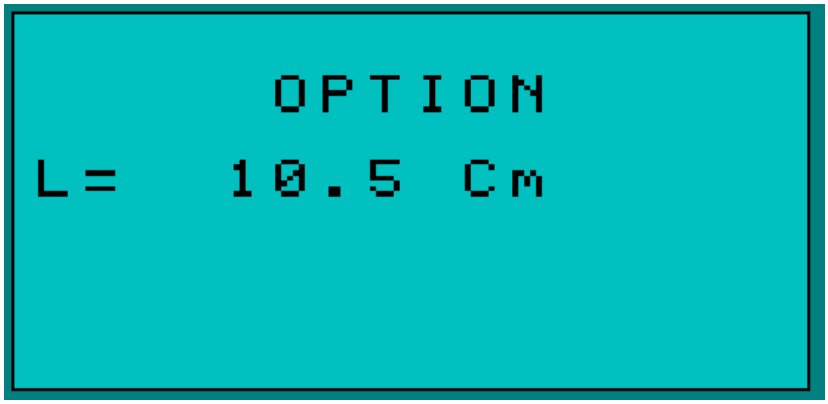
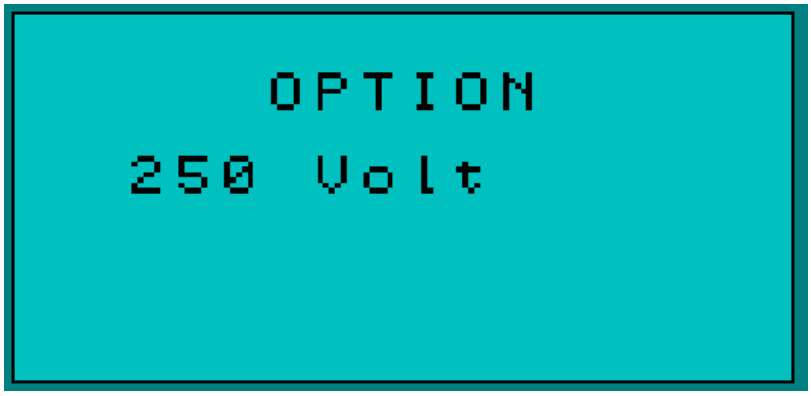


Figura 3. Disposición de los transductores: (a) directa, (b) semidirecta y (c) indirecta

Para determinar la velocidad del pulso, es necesario medir la longitud del recorrido entre los dos transductores y almacenarla en el dispositivo. Para ello, acceda al menú de configuración. Seleccione el parámetro «longitud del recorrido». Introduzca la longitud utilizando las teclas arriba y abajo.



It is better to increase the output voltage in the settings menu for long path or low-quality samples.



7. Interpretación de los datos

7.1 Cálculo de la velocidad del pulso

Utilice la longitud del recorrido (L) y el tiempo de tránsito (T) registrados para calcular la velocidad: V (km/s) = L (mm) / T (µs) o V (m/s) = L (m) / T (s)

7.2 Factores que afectan a la velocidad del pulso

- Contenido de humedad: el hormigón saturado puede presentar velocidades hasta un 5 % superiores a las del hormigón seco.
- Armaduras: el acero tiene una velocidad de pulso mucho mayor (aprox. 5,9 km/s) que el hormigón. Las mediciones realizadas a lo largo del eje de una barra de armadura producirán velocidades artificialmente altas. Siempre que sea posible, los ensayos deben realizarse perpendicularmente a las armaduras principales.
- Temperatura: la velocidad aumenta cuando disminuye la temperatura, y viceversa.
- Propiedades del hormigón: el tipo de árido, el tipo de cemento y las proporciones de la mezcla influyen en la velocidad final.

7.3 Clasificación de la calidad del hormigón

La siguiente tabla ofrece una guía general para evaluar la calidad del hormigón a partir de resultados UPV obtenidos mediante transmisión directa. (Nota: estos valores pueden variar según el diseño de la mezcla y las normas locales).

Velocidad del pulso (km/s)	Clasificación de la calidad del hormigón
> 4.5	Excelente
3.5 - 4.5	Buena

3.0 - 3.5	Media / Dudosa
< 3.0	Deficiente / Cuestionable
< 2.0	Muy deficiente

7.4 Detección de defectos

Una cuadrícula de lecturas tomadas sobre una zona puede utilizarse para cartografiar su uniformidad. Una disminución significativa de la velocidad (por ejemplo, del 10 al 15 % o más) en un punto concreto respecto a las zonas circundantes es un indicio claro de un posible defecto, como un hueco o una grieta.

7.5 Estimación de la profundidad de grietas superficiales

Utilice la siguiente ecuación para medir la profundidad de la grieta:

$$C = x \times \sqrt{\frac{(4t_1^2 - t_2^2)}{(t_2^2 - t_1^2)}}$$

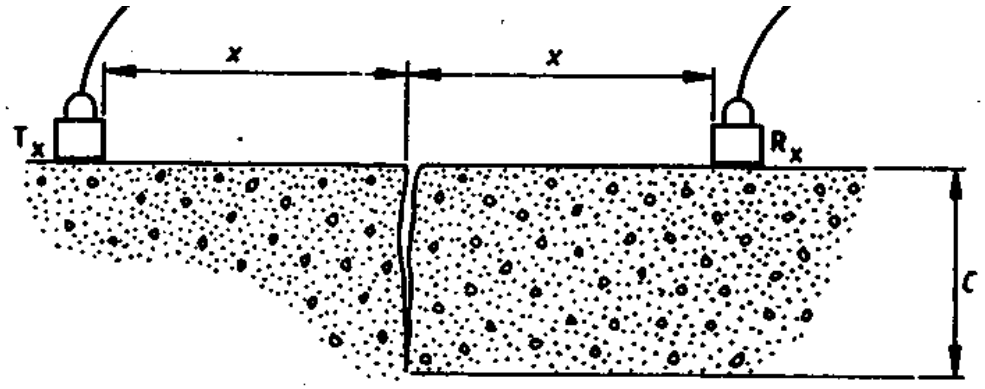


Figura 4. Cálculo de la profundidad de la grieta

Primero, defina la distancia x. Después, coloque los transductores a una distancia igual a 2x a cada lado y mida t1. A continuación, coloque los transductores a una distancia igual a x desde cada lado de la grieta (según la Figura 5) y mida t2. Calcule la profundidad de la grieta utilizando la relación anterior. (La unidad de la profundidad de la grieta y de x debe ser la misma).

7.6 Estimación de la resistencia a compresión del hormigón

En general, existen varios métodos para estimar la resistencia a compresión del hormigón utilizando la velocidad del pulso en el hormigón, pero el mejor método es el método SonReb, que combina ensayos destructivos y no destructivos

realizados al mismo tiempo y traza un diagrama a partir de los resultados. En este método, en cada punto del diagrama se realizan la medición de la velocidad del pulso ultrasónico, el ensayo con martillo Schmidt y el ensayo de resistencia a compresión. Esta relación también puede establecerse utilizando únicamente los resultados del ensayo ultrasónico y la resistencia a compresión.

Una vez obtenido el diagrama mencionado (como la Figura 6, que muestra la relación entre la velocidad del pulso y la resistencia a compresión del hormigón) y medida la velocidad del pulso, es posible estimar la resistencia a compresión del hormigón.

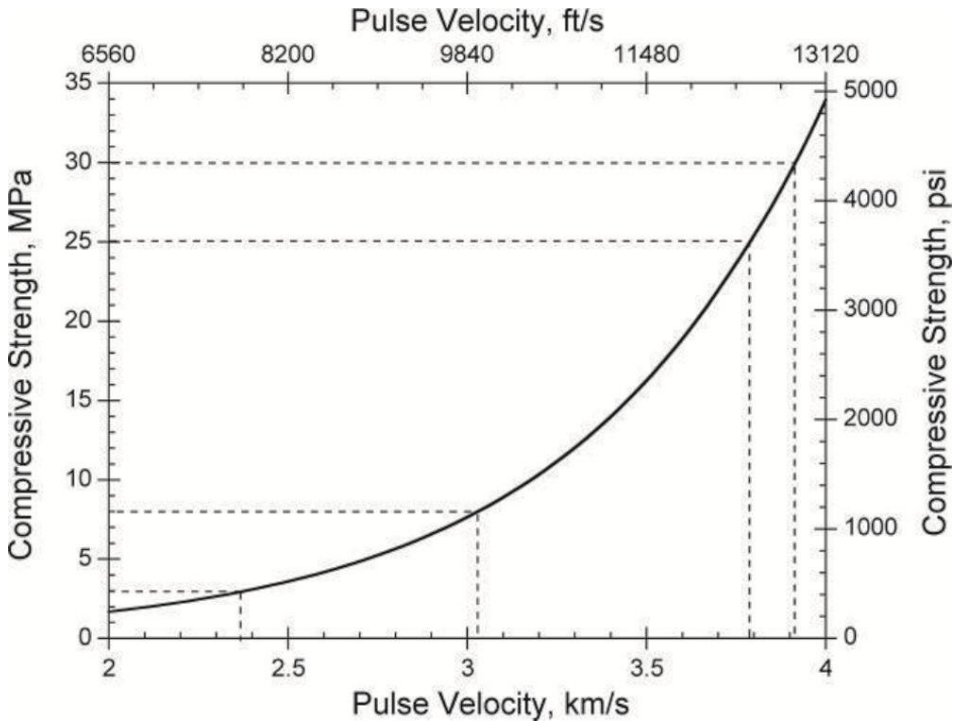


Figura 5. Resistencia a compresión frente a velocidad del pulso

8. Mantenimiento y solución de problemas

Problema	Causa(s) posible(s)	Solución(es)
Sin lectura o lectura inestable	1. Lack of couplant or poor contact. 2. Very poor quality or cracked material. 3. Damaged cable or transducer. 4. Path length too long for frequency.	1. Re-apply couplant and press firmly. 2. Try a different test location. 3. Check cables; try swapping them. Test with calibration rod. 4. Use lower frequency transducers.

La lectura es claramente incorrecta	1. Incorrect path length entered. 2. Instrument not calibrated correctly. 3. Measurement along rebar.	1. Re-measure the path length accurately. 2. Perform the calibration procedure. 3. Change the test location to avoid direct influence of steel.
El instrumento no se enciende	1. Battery is fully discharged. 2. Faulty charger or internal fault.	1. Charge the instrument for at least 4 hours. 2. Try a different charger if available. Contact service center.

Cuidado y almacenamiento:

- Después del uso, limpie los transductores y los cables con un paño húmedo para eliminar todo el acoplante.
- Guarde el instrumento y todos los accesorios en el maletín de transporte suministrado.
- Guárdelo en un lugar limpio y seco, alejado de temperaturas extremas.
- Cargue la batería con regularidad, incluso cuando no se utilice, para mantenerla en buen estado.

9. Especificaciones técnicas

Parámetro	Especificación
Rango de medición	De 0,1 µs a 2000 µs
Resolución	0,1 µs
Exactitud	± 0,1 µs
Tensión de funcionamiento	De 50 V a 500 V (seleccionable)
Frecuencia del transductor	54 kHz (estándar); de 24 kHz a 250 kHz (opcional)
Temperatura de funcionamiento	De 0 °C a 50 °C (de 32 °F a 122 °F)
Alimentación	Batería interna recargable de ion-litio
Duración de la batería	> 10 horas de funcionamiento continuo
Salidas	Conexión a un osciloscopio