



Manual de Instalação y Operación

**PiezoClamping® - Medidor de pre-compresión y carga para
piezocerámicas (PCG5)**



ATCP Ingeniería Física

Rua Lêda Vassimon, 735-A - Ribeirão Preto - SP / Brasil - CEP 14026567

Teléfono: +55 (16) 3289-9481 / E-mail: ha@atcp-ndt.com

www.atcp-ndt.com

(Esta página fue intencionalmente dejada en blanco)

Manual de Instalación y Operación

PiezoClamping® - Medidor de pre-compresión y carga para
piezocerámicas (PCG5)

Fabricado por:

ATCP do Brasil – Alves Teodoro Cerâmicas Piezoelétricas do Brasil Ltda. ME.

Rua Lêda Vassimon, 735-A

Ribeirão Preto - SP, 14026567

Industria Brasileira

www.atcp-ndt.com

Copyright

Copyright © 2023 de ATCP Ingeniería Física

Derechos Reservados.

La ATCP Ingeniería Física se reserva
el derecho de alterar este manual y el
producto sin aviso previo.

Versión 1
Julio / 2023

Índice

1. Introducción	7
2. Definiciones y simbología	9
3. Aplicaciones, elementos de pruebas, conexión eléctrica y herramientas	11
4. Principio de funcionamiento y rangos de medición	13
5. Partes, accesorios e ítems opcionales	15
6. Especificaciones técnicas, identificación de los elementos e instalación	17
7. Configuración, medición y diagrama de flujo general	21
8. Solución de problemas.....	27
9. Auto-prueba y calibración.....	29
10. Ajustes	39
11. Interfaz para automatización	43
12. Asistencia técnica, plazo de garantía y términos de responsabilidad.....	47
13. Referencias	49

(Esta página fue intencionalmente dejada en blanco)

1. Introducción

Este manual de instalación y operación contiene informaciones importantes y necesarias para la correcta utilización y mantenimiento del PiezoClamping®, equipo que mide la pre-compresión y la carga eléctrica en cerámicas piezoeléctricas.



Lea atentamente este manual antes de utilizar el equipo. La incorrecta utilización puede perjudicar los resultados y ocasionar daños.

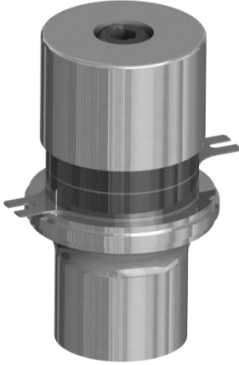
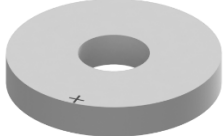
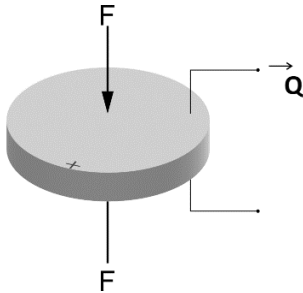
El PiezoClamping® permite medir la pre-compresión en cerámicas piezoeléctricas de transductores y convertidores ultrasónicos durante el proceso de montaje y aprieto. El PiezoClamping® ayuda al usuario de forma práctica y precisa, suministrando en tiempo real la pre-compresión aplicada a las cerámicas piezoeléctricas mientras estas son gradualmente apretadas. Proporciona también, en tiempo real, lo valor de carga eléctrica generada por las cerámicas piezoeléctricas.

Además del objetivo principal de instruir al usuario en cuanto a la instalación, configuración y operación del instrumento, este manual también pretende contribuir a la comprensión de los conceptos básicos de ingeniería ultrasónica y sobre los procedimientos usuales de fabricación de transductores y convertidores.

(Esta página fue intencionalmente dejada en blanco)

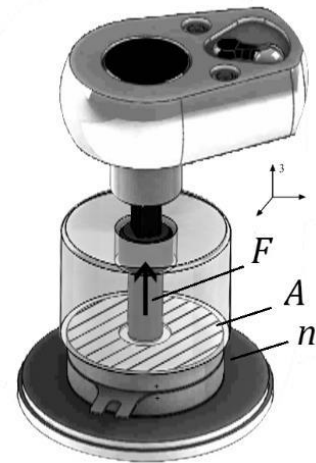
2. Definiciones y simbología

2.1. Definiciones

<p>Transductor o convertidor ultrasónico: Elemento resonante utilizado para convertir energía eléctrica en vibración ultrasónica con una frecuencia específica. "Transductor" es una denominación general, "Convertidor" es una denominación del área de soldadura por ultrasonido.</p> <p>El transductor <i>está compuesto por cerámicas piezoeléctricas con formato de anillo, que son comprimidas entre masas metálicas unidas por un perno; el contacto eléctrico es realizado por electrodos. Este tipo de transductor, también denominado como tipo Langevin [1], fue creado originalmente para la aplicación en sonares y tuvo su uso posteriormente expandido para aplicaciones industriales como en la soldadura y la limpieza por ultrasonido [2].</i></p>	 <p><i>Transductor/convertidor ultrasónico de potencia típico.</i></p>
<p>Cerámica piezoeléctrica: Es el elemento activo que convierte energía eléctrica en vibración ultrasónica en los transductores y convertidores ultrasónicos. Son normalmente empleadas en el formato de anillos con las caras planas y metalizadas.</p> <p><i>La sensibilidad de una cerámica piezoeléctrica se especifica mediante la constante de carga d_{33}.</i></p>	 <p><i>Cerámica piezoeléctrica típica.</i></p>
<p>Constante de carga piezoeléctrica d_{33}: Proporción entre el total de carga eléctrica generada y la fuerza aplicada en la cerámica piezoeléctrica. La unidad usual de la constante de carga d_{33} es pC/N (pico Coulomb por Newton). Valores típicos para las cerámicas de PZT más comunes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - PZT-8 (<i>Navy type III</i>): 245 ± 35 pC/N - PZT-4 (<i>Navy type I</i>): 290 ± 35 pC/N - PZT-5A: (<i>Navy type II</i>): 390 ± 35 pC/N <p><i>Para valores exactos de la constante de carga piezoeléctrica d_{33}, consultar el fabricante o realizar la medición con un medidor de constante d_{33}. El PZT-8 es normalmente utilizado en convertidores de soldadura por ultrasonido y el PZT-4 en transductores para limpieza por ultrasonido.</i></p>	 $d_{33} = \frac{Q}{F}$ <p><i>Constante de carga d_{33}.</i></p>

Precarga del perno: La precarga del perno es la fuerza de tracción "F" creada en el perno de los transductores por elongación elástica debido a la aplicación de torsión y roscado. La precarga del perno es el proceso de aplicar la precarga al enroscar el perno con una llave dinamométrica u otra herramienta.

Nota: La precarga es proporcional al par aplicado, sin embargo, el coeficiente de proporcionalidad es inestable debido a la alta sensibilidad del coeficiente de fricción de la superficie. Por ejemplo, cualquier humedad adsorbida es suficiente para lubricarlo y cambiar el coeficiente de proporcionalidad. Esa es la razón por la que el control de la pre-compresión por torque no es fiable.



Precarga del perno.


Pre-Compresión de las piezocerámicas: La pre-compresión es el esfuerzo medio aplicado a las cerámicas piezoeléctricas de los transductores ultrasónicos de potencia mediante la precarga del perno. Su función es maximizar simultáneamente la potencia de operación y el acoplamiento mecánico de las piezocerámicas asegurando que no se muevan al vibrar.

Notas:

La pre-compresión óptima depende esencialmente del stress mecánico máximo soportado por el material piezoeléctrico [3,4] y no de aspectos dimensionales, como ocurre con el torque de aprieto que varía con el área de las cerámicas y con el coeficiente de fricción del perno con las masas metálicas. Los valores típicos en función del material piezoeléctrico son 45 MPa para cerámicas en PZT-8 utilizadas en convertidores de soldadura y equipos médicos y 35 MPa para cerámicas en PZT-4 utilizadas en transductores de limpieza por ultrasonido.

La pre-compresión es un factor determinante para la vida útil, la potencia máxima y la eficiencia del transductor. Sin embargo, el exceso altera las propiedades de las cerámicas y puede causar deformación, y la falta posibilita el desplazamiento lateral de las cerámicas lo que lleva al surgimiento de grietas, arcos eléctricos y cortocircuitos.

2.2. Simbología

	¡Atención! ¡Peligro!	VAC Voltaje alternado	VA Volt-Ampere
VDC	Voltaje continuo	I	Encender equipo
		O	Apagar equipo

3. Aplicaciones, elementos de pruebas, conexión eléctrica y herramientas

3.1. Aplicaciones

El PiezoClamping® constituye una solución robusta y fácil de usar para la fabricación, recuperación y desarrollo de transductores y convertidores ultrasónicos de potencia. Sus funciones y características fueron diseñadas para ofrecer un procedimiento preciso y estandarizado para el proceso de montaje y aplicación de la pre-compresión en los siguientes sectores:

- Fabricantes de máquinas y equipos ultrasónicos de potencia;
- Proveedores de servicios de reparación de máquinas de soldadura por ultrasonidos y equipos de ultrasonidos de potencia en general;
- Grupos de investigación, instituciones educativas y departamentos de I+D.

3.2. Elementos que pueden ser probados

El PiezoClamping® es capaz de medir la pre-compresión de transductores y convertidores piezoeléctricos tipo Langevin [1] y de dispositivos semejantes en que se aplica pre-compresión en cerámicas piezoeléctricas, como los ejemplos a seguir:

- Convertidores para máquinas de corte y soldadura por ultrasonidos;
- Transductores ultrasónicos para equipos médicos y dentales;
- Transductores para máquinas de limpieza por ultrasonidos;
- Transductores ultrasónicos para sonoreadores y sonoquímica;
- Transductores para pulverización y atomización;
- Transductores para máquinas de pulido de matrices.

3.3. Conexión eléctrica

El PiezoClamping® debe ser conectado al transductor por medio de la sonda que acompaña al equipo y tener los parámetros de configuración ajustados teniendo en cuenta las características de las cerámicas del transductor que está siendo montado.

Las pinzas deben ser conectadas en los electrodos del transductor o en los cables conectados a este como en la figura al lado. La pinza roja debe ser conectada al electrodo positivo (vivo) y la pinza prieta al electrodo que hace contacto eléctrico con la parte metálica (tierra).



Conecte el transductor o convertidor al PiezoClamping® antes de iniciar el aprieto. Una eventual descarga de alta tensión puede dañar el equipo.



Conexión eléctrica del PiezoClamping® con el transductor.

3.4. Herramientas

El apriete del transductor o el convertidor puede realizarse con una llave o un torquímetro ajustado para un torque igual al 120% del valor medio de torque para alcanzar la pre-compresión objetivo. La utilización del torquímetro es opcional, siendo su función proteger el perno de apriete excesivo en el caso de engastes o trabas. Se recomienda también la utilización de una morsa o equipo similar que permita la fijación del transductor para impedir la rotación del mismo durante la realización del apriete sin dañarlo.



PiezoClamping® conectado a un transductor para la medición de la pre-compresión durante el apriete del perno.



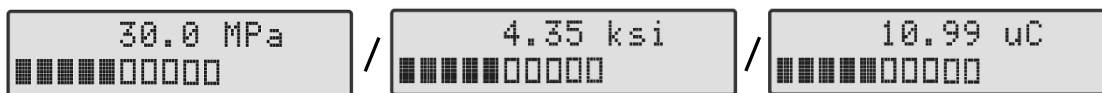
No conecte el PiezoClamping® en generadores o en circuitos energizados, pues podrá dañar el equipo. El PiezoClamping® debe ser conectado solamente en elementos pasivos.

También se recomienda utilizar una mordaza de torno o accesorio similar que permita fijar el transductor para evitar la rotación durante la precarga sin dañarlo.

4. Principio de funcionamiento y rangos de medición

4.1. Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento del PiezoClamping® consiste en integrar la carga eléctrica generada por las cerámicas piezoeléctricas durante el aprieto del transductor o convertidor y, a partir de la constante de carga d_{33} y demás características de las cerámicas, calcular la pre-compresión en Mega Pascals (MPa) o kilo libras por pulgada cuadrada ksi. Al ser comprimidas, las cerámicas piezoeléctricas generan una carga eléctrica proporcional a la compresión, proporcionalidad dada por la constante de carga d_{33} . El PiezoClamping® emplea un proceso de medición avanzado que proporciona un resultado reproducible, estable en función del tiempo e independiente de la velocidad de aprieto. El usuario puede alterar la velocidad de aprieto y pausar el proceso sin que haya pérdida significativa de información. O PiezoClamping® también informa la carga eléctrica total medida en μC .



Ejemplo de telas de medición y resultados presentados por el PiezoClamping®: pre-compresión en MPa a la izquierda, pre-compresión en ksi al centro y carga total en μC a la derecha.

Nota: Un enfoque tradicional para el control de la pre-compresión consiste en el control del torque del aprieto del perno, entre tanto este método es de baja precisión porque la relación entre el torque y la pre-compresión varía drásticamente en función de la acabamiento superficial, de la lubricación y de posibles engastes [5]. Otro enfoque tradicional consiste en el empleo de un capacitor con un voltímetro para medir la carga eléctrica generada durante el aprieto, ese arreglo es mejor que el control sólo por el torque, más también de baja incertidumbre porque la carga generada por la piezocerámicas y almacenada por el condensador es consumida por el multímetro haciendo la medición inestable; Adicionalmente el valor leído es una tensión eléctrica proporcional a la fuerza siendo necesario cálculos para la determinación de la pre-compresión [4].

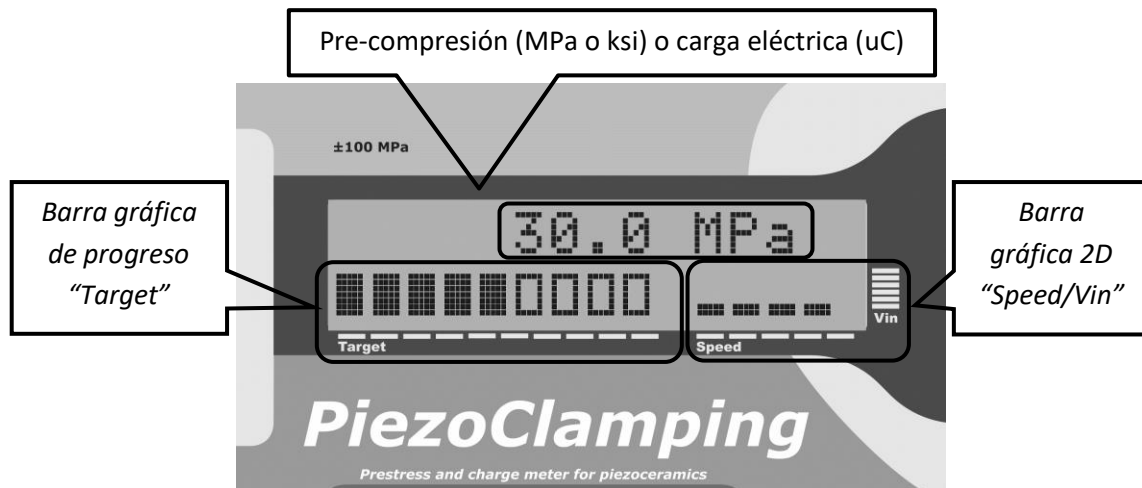
4.2. Rangos de medición

El rango de medición de pre-compresión del PiezoClamping® es de 0,0 hasta $\pm 99,9$ MPa y de 0,00 hasta $\pm 99,99$ ksi, y la de carga de 0,0 hasta $\pm 190,0$ μC . La indicación de pre-compresión y carga será negativa si el perno se afloja en lugar de apretarse, o si los cables de prueba están invertidos.

El PiezoClamping® es capaz de testar transductores y convertidores que utilizan de 1 a 99 cerámicas piezoeléctricas en su montaje con constante de carga d_{33} entre 1 y 999 pC/N. Para facilitar su uso, el PiezoClamping® presenta el valor de la pre-compresión en MPa or ksi, o la carga en μC , y también de forma porcentual referenciada en lo objetivo informado por el usuario. La información porcentual se proporciona mediante una barra gráfica de progreso con diez rectángulos, que indica de 0 a 100%, con 10 pasos de 10%.

Además de la barra de progreso "Target", la tela presenta en su parte inferior derecha otra barra gráfica bidimensional *Speed/Vin* en que la variación horizontal es proporcional a la velocidad de compresión (*Speed*) y la vertical proporcional al voltaje

de entrada. La barra de progreso *Speed/Vin*, aparece solamente durante el proceso de aprieto (en cuanto haya movimiento de carga eléctrica).

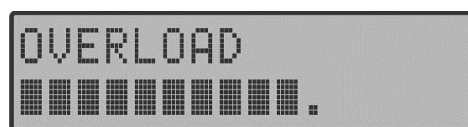


Ejemplo de pantalla durante un proceso de medición.



Durante la aplicación de la pre-compresión la barra gráfica *Speed/Vin* no debe alcanzar sus límites. Caso eso ocurra para la velocidad, el operador será alertado con una señal sonora; caso ocurra para la *Vin*, será exhibido el mensaje de "overload" y la medición interrumpida.

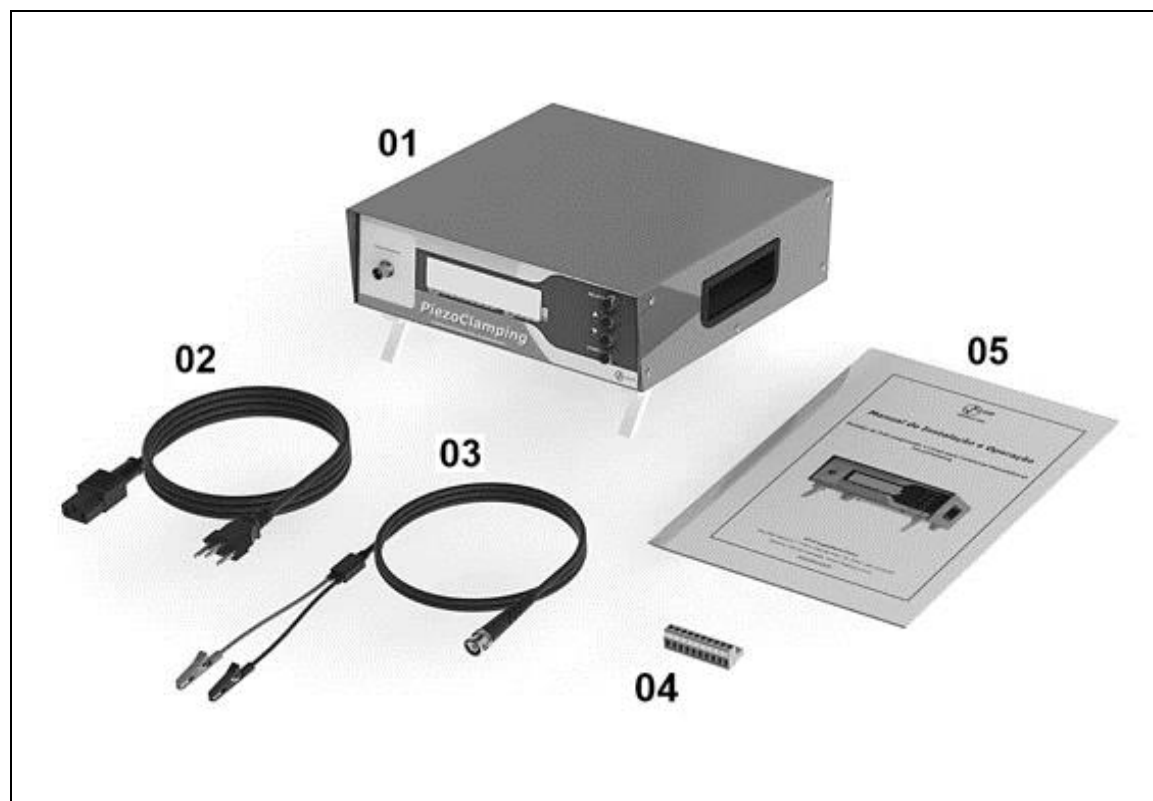
El PiezoClamping® cuenta con un sistema de auto protección que activa un relé para la descarga de las cerámicas piezoeléctricas siempre que la tensión de entrada se excedida (cuando la dimensión vertical de la barra de progreso *Speed/Vin* alcanza el final de la escala). En este caso, el PiezoClamping reinicia la medición automáticamente perdiendo la información sobre la pre-compresión y la carga eléctrica. Además, la pantalla *OVERLOAD* (figura abajo) es presentada con un aviso sonoro.



Pantalla de indicación de sobrecarga.

5. Partes, accesorios e ítems opcionales

El PiezoClamping® es comercializado con los ítems descritos a seguir.



Partes:

01 - PiezoClamping®.

Accesorios:

02 - Cable de fuerza tripolar de 1,8 metros;

03 - Punta de prueba de 1,0 metro con garras;

04 - Conector MSTB 2,5/10-STZ-5,08 1764303 Phoenix Contact o similar;

05 - Manual de instrucciones impreso.

(Esta página fue intencionalmente dejada en blanco)

6. Especificaciones técnicas, identificación de los elementos e instalación

6.1. Especificaciones técnicas

Rangos de medición, precisión y exactitud

Pre-compresión en MPa	0,0 - ± 99,9 MPa
Pre-compresión en ksi	0,00 - ± 99,99 ksi
Carga eléctrica	0,0 - ± 190,0 uC
Precisión	± 1 %
Exactitud	± 3 %

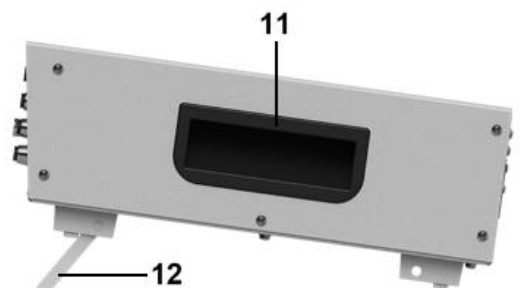
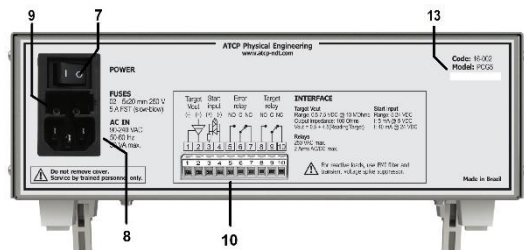
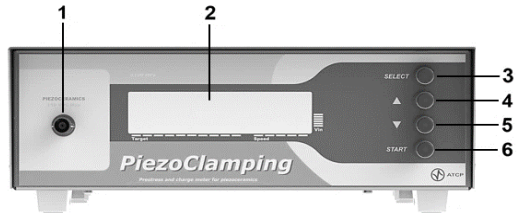
Parámetros de configuración

Diámetro externo (<i>Outer diameter</i>)	1,0 - 99,9 mm
Diámetro interno (<i>Inner diameter</i>)	0,0 - 98,9 mm
Número de piezocerámicas (<i>Number of piezos</i>)	1 - 99
Constante de carga (<i>d33</i>)	10 - 999 pC/N
Pre-compresión objetivo en MPa (<i>Target prestress</i>)	1,0 - 99,9 MPa
Pre-compresión objetivo en ksi (<i>Target prestress</i>)	1,00 - 99,99 ksi
Tiempo de aprieto (<i>Preloading time</i>)	0,1 - 10,0 segundos
Modo de entrada de dimensiones (<i>Dim. input mode</i>)	<i>Typical sizes y Custom</i>
Tensión de disparo (<i>Trigger</i>)	0,4 - 10,0 mV
Calibración (<i>Z adjust</i>)	0,950 - 1,050
Ajuste del Target Vout en 2.75 V (<i>Cal. Vout @2.75V</i>)	0000 - 0470
Ajuste del Target Vout en 5.00 V (<i>Cal. Vout @5.00V</i>)	0480 - 1023

Otras especificaciones

Protección contra choque eléctrico	Clase I
Nivel de protección IP	IP40
Modo de operación	Continuo
Tensión de alimentación	90 - 260 VAC
Frecuencia	50 - 60 Hz
Potencia máxima de consumo (en reposo)	16 Watts rms
Potencia máxima de consumo (en operación)	50 Watts rms
Dimensiones del equipo (L x P x A)	260 x 250 x 100 mm
Dimensiones del embalaje.....	370 x 330 x 140 mm
Peso del equipo sin el embalaje.....	3,8 kg
Peso del equipo con embalaje	4,4 kg
Rango de temperatura de trabajo.....	De -10 a +45 °C

6.2. Identificación de los componentes



[1] Conector "PIEZOCERAMICS": Conector tipo BNC para la conexión del elemento en prueba. Las tensiones máximas aceptables son de ± 10 VDC.

[2] Display: Interface alfanumérica. Posee 2 líneas por 16 caracteres.

[3] Botón "SELECT": Botón tipo push-button para seleccionar entre la pantalla de "MEDICIÓN" y las múltiples pantallas de "CONFIGURACIONES" disponibles.

[4] y [5] Botones "▲" (Para arriba) y "▼" (Para abajo): Botones tipo push-button para el incremento y disminución de valores. En la pantalla "MEDICIÓN", posibilitan la selección entre las opciones "MPa", "ksi" o "uC". En las pantallas de "CONFIGURACIONES" posibilitan aumentar, disminuir y seleccionar valores.

[6] Botón "START": Botón tipo push-button para iniciar una nueva medición. Toda vez que este botón es accionado el sistema realiza automáticamente la "tara" del equipo para nuevo procedimiento de medición.

[7] Interruptor "POWER": Interruptor que enciende y apaga el equipo.

[8] AC IN: Conector de entrada para el cable de alimentación (90-240 VAC automática - 50/60 Hz).

[9] FUSIBLES: Fusibles (02 unidades de 5x20mm, 250V, 5A, tipo lento).

[10] Interface: Conector para comunicación externa y automatización.

[11] Manija lateral: Manija para el manejo y transporte.

[12] Varillas de inclinación: Varillas móviles localizadas en los pies delanteros para elevar opcionalmente la parte frontal del equipo.

[13] Número de série.

6.3. Instalación

Requisitos mínimos:

- Bancada firme, plana y con espacio suficiente para el PiezoClamping® y los transductores a ser montados;
- Tomada de energía eléctrica 90-260 VAC 50-60 Hz con aterramiento. Si la red eléctrica no posee aterramiento, hacer uso de un transformador aislador por seguridad;
- Mordaza de torno o accesorio similar acoplado al banco para fijar la masa frontal del transductor durante la precarga del perno.

Paso a paso:

Paso 01 Coloque el equipo sobre la bancada y ajuste las varillas de inclinación [12] para que la posición sea más adecuada a la hora de visualizar la pantalla.



Vista frontal del PiezoClamping® destacando las varillas de inclinación.

Paso 02 Conecte el cabo de alimentación en el conector AC IN [8] del panel trasero en una toma de tierra adecuada o en un aislante de estabilizador.

Paso 03 Conecte el conector BNC del extremo de la sonda suministrada con el equipo al conector PIEZOCERAMICS [1] localizado al lado izquierdo del panel frontal.



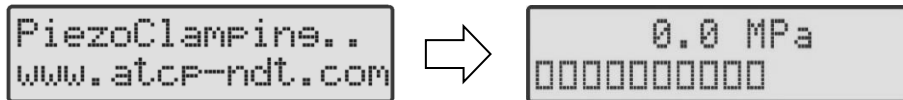
Conector BNC del panel de PiezoClamping®

(Esta página fue intencionalmente dejada en blanco)

7. Configuración, medición y diagrama de flujo general

7.1. Configuración del equipo para medida de pre-compresión o carga

Paso 01 Encienda el equipo por lo interruptor POWER [7]. A continuación, será mostrado el mensaje abajo y después aparece la pantalla para la medición en MPa (también puede ser pre-compresión en ksi o carga en uC).



Paso 02 Utilice los botones [▲] o [▼] para elegir entre las opciones disponibles para la unidad de pre-compresión (MPa o ksi) y la variable de control (pre-compresión o carga eléctrica) que se muestran en la siguiente tabla.

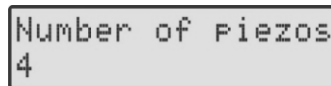
0.0 MPa 0000000000	0.00 ksi 0000000000	0.00 uC 0000000000
-----------------------	------------------------	-----------------------

Paso 03 Presione el botón SELECT [3] para acceder a la pantalla de configuración "Piezo diam. (mm)". Esta pantalla presenta las opciones de diámetros externos (OD) e internos (ID) preconfigurados para facilitar la utilización. Utilice los botones [▲] o [▼] para seleccionar entre las alternativas mostradas en la tabla a seguir.

Piezo diam. (mm) OD 10.0 ID 4.0	Piezo diam. (mm) OD 10.0 ID 5.0	Piezo diam. (mm) OD 11.0 ID 5.5	Piezo diam. (mm) OD 15.0 ID 6.0
Piezo diam. (mm) OD 20.0 ID 9.8	Piezo diam. (mm) OD 20.0 ID 10.0	Piezo diam. (mm) OD 25.0 ID 10.0	Piezo diam. (mm) OD 25.0 ID 12.0
Piezo diam. (mm) OD 30.0 ID 10.0	Piezo diam. (mm) OD 32.0 ID 10.0	Piezo diam. (mm) OD 32.0 ID 12.0	Piezo diam. (mm) OD 35.0 ID 15.0
Piezo diam. (mm) OD 38.0 ID 15.0	Piezo diam. (mm) OD 38.1 ID 12.7	Piezo diam. (in) OD 1.1/2 ID 1/2	Piezo diam. (mm) OD 38.1 ID 19.1
Piezo diam. (in) OD 1.1/2 ID 3/4	Piezo diam. (mm) OD 40.0 ID 12.0	Piezo diam. (mm) OD 40.0 ID 15.0	Piezo diam. (mm) OD 40.0 ID 17.0
Piezo diam. (mm) OD 40.0 ID 20.0	Piezo diam. (mm) OD 45.0 ID 15.0	Piezo diam. (mm) OD 45.0 ID 20.0	Piezo diam. (mm) OD 46.0 ID 15.8
Piezo diam. (mm) OD 50.0 ID 16.0	Piezo diam. (mm) OD 50.0 ID 17.0	Piezo diam. (mm) OD 50.0 ID 20.0	Piezo diam. (mm) OD 50.8 ID 19.1
Piezo diam. (in) OD 2 ID 3/4	Piezo diam. (mm) OD 50.8 ID 25.4	Piezo diam. (in) OD 2 ID 1	Piezo diam. (mm) OD 55.0 ID 20.0
Piezo diam. (mm) OD 55.0 ID 25.0	Piezo diam. (mm) OD 60.0 ID 20.0	Piezo diam. (mm) OD 60.0 ID 30.0	Piezo diam. (mm) OD 69.0 ID 33.0
Piezo diam. (mm) OD 70.0 ID 30.0	Piezo diam. (mm) OD 70.0 ID 33.0		

Importante: Las opciones para "Piezo diam. (mm)" son accesibles solamente si el parámetro de configuración "Dim. input mode" está configurado para "Typical sizes" (padrón de fábrica). La configuración del parámetro "Dim. input mode" para la opción "Custom" será descrita detalladamente más adelante.

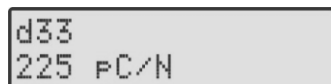
Paso 04 Presione el botón SELECT [3] para acceder a la pantalla de configuración "Number of piezos". En esta pantalla, informe la cantidad de cerámicas piezoeléctricas del transductor que será montado (de 1 a 99 cerámicas).



```
Number of Piezos
4
```

Paso 05 Utilice los botones [▲] o [▼] para alterar la cantidad.

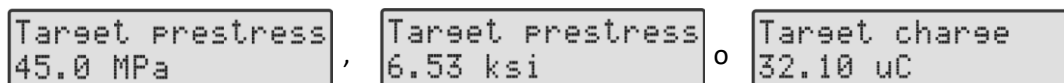
Paso 06 Presione el botón SELECT [3] para acceder a la pantalla de configuración "d₃₃". En esta pantalla, informe el valor de d₃₃ de las cerámicas piezoeléctricas. Los valores típicos son 245 pC/N para PZT-8, 290 pC/N para PZT-4 y 390 pC/N para PZT-5A.



```
d33
225 pC/N
```

Paso 07 Utilice los botones [▲] o [▼] para alterar el d₃₃.

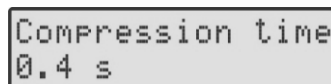
Paso 08 Presione el botón SELECT [3] para acceder a la pantalla de configuración "Target prestress" o "Target charge". En esta pantalla, informe el valor de la pre-compresión objetivo en MPa (de 1,0 a 99,9 MPa), ksi (de 0,10 a 99,99 ksi) o carga en uC (de 0,10 a 190,00 uC). Los valores típicos son 45 MPa (6,5 ksi) para PZT-8 y 35 MPa (5,1 ksi) para PZT-4.



```
Target prestress 45.0 MPa , Target prestress 6.53 ksi , Target charge 32.10 uC
```

Paso 09 Utilice los botones [▲] u [▼] para alterar la pre-compresión objetivo.

Paso 10 Presione el botón SELECT [3] para acceder a la pantalla de configuración "Preloading time". En esta pantalla, informe el tiempo mínimo para el aprieto en el transductor (de 0,1 a 10,0 segundos).



```
Compression time
0.4 s
```

Paso 11 Utilice los botones [▲] o [▼] para alterar el tiempo mínimo de aprieto.

Paso 12 Presione el botón SELECT [3] para la última pantalla de configuración "Dim. input mode". En esta pantalla, seleccione el modo de entrada de las dimensiones de las cerámicas. Existen dos opciones, "Typical sizes" para utilizar las dimensiones preconfiguradas y "Custom" para la inserción manual.

```
Dim. input mode
Typical sizes
```

Paso 13 Utilice los botones [▲] o [▼] para alterar entre las dos opciones disponibles.

Paso 14 Después de tener todos los parámetros configurados, presione el botón SELECT [3] para finalizar la etapa de configuración y regresar a la pantalla de medición inicial.

Importante: En caso que el usuario utilice la opción de configuración "Custom" en la pantalla de configuración "Dim. input mode", el equipo presentará al inicio del proceso de configuración (descrito anteriormente en los *Pasos 02 y 03*) la pantalla "Outer diameter" y en secuencia (se presiona el botón SELECT [3]) la pantalla "Inner diameter" para configuración de las cerámicas. En este caso, omita el Paso 02 descrito anteriormente y ten en cuenta las informaciones y pasos a seguir para configuración del modelo de cerámica a ser utilizado.

Paso 02-a Presione el botón SELECT [3] para acceder a la primera pantalla de configuración denominada "Outer diameter". En esta pantalla deberá ser introducido el valor del diámetro externo de la cerámica, siendo aceptado los valores de 1,0 a 99,9 mm.

Paso 03-a Utilice los botones [▲] o [▼] para alterar el diámetro externo (OD).

Paso 02-b Presione nuevamente el botón SELECT [3] para acceder a la próxima pantalla de configuración denominada "Inner diameter". En esta pantalla debe ser introducido el valor del diámetro interno de la cerámica, siendo acepto los valores de 0,0 a 98,9 mm.

Paso 03-b Utilice los botones [▲] o [▼] para alterar entre el diámetro interno (ID).

Observación: Si el diámetro externo (OD) fuera ajustado para valores menores que el diámetro interno + 1,0 mm, el diámetro interno será automáticamente ajustado apareciendo en la pantalla el aviso "Id adjst" y viceversa como es mostrado en las respectivas pantallas a seguir:

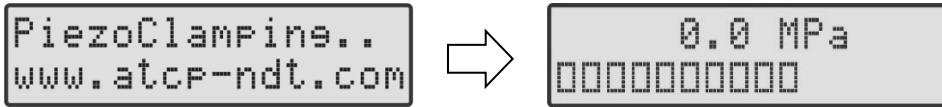
```
Inner diameter      Outer diameter
30.0 mm Od adjst   30.0 mm Id adjst
```



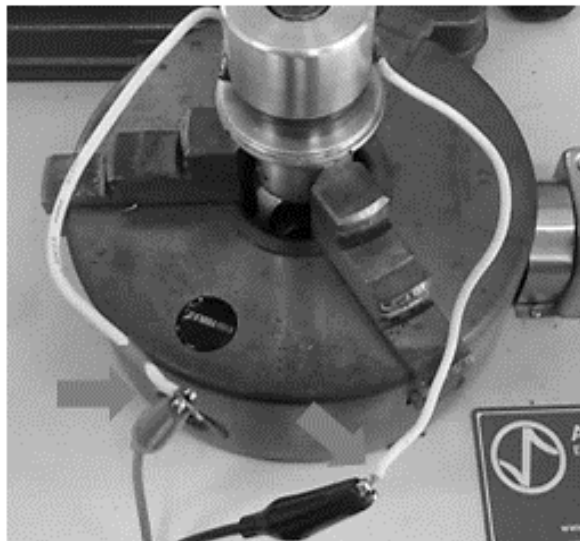
Los valores de d_{33} y pre-compresión ("Target prestress") deben obtenerse del fabricante de las cerámicas piezoeléctricas. En ausencia de estos datos, considere el d_{33} igual a 245 pC/N para PZT-8 y 290 pC/N para PZT-4; y la pre-compresión objetivo 45 MPa para PZT-8 y 35 MPa para PZT-4.

7.2. Medición de pre-compresión y carga durante el aprieto del perno

Paso 01 Encender el equipo por el botón POWER [7] localizado en el panel trasero. En la pantalla aparecerá por algunos segundos un mensaje inicial sucedido por la pantalla de medición en MPa.



Paso 02 Observando la polaridad, conecte las garras de la punta de prueba en los terminales del transductor que deberá estar con su parte metálica frontal fija para posibilitar el aprieto del conjunto hasta la pre-compresión o carga objetivo.



Paso 03 Configure los parámetros de las cerámicas en el PiezoClamping®. El tema 7.1 de este documento describe detalladamente el proceso de configuración.

Paso 04 Presione el botón START [6] para iniciar la medición. En este momento el equipo realizará la "tara" de los valores y presentará por algunos segundos la pantalla de STARTING, la cantidad y el modelo de las cerámicas configuradas con la finalidad de informar al usuario.



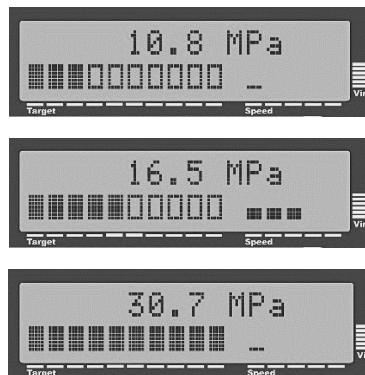
En la secuencia, el equipo mostrará automáticamente la pantalla de medición y el proceso de apretar el perno del transductor puede ser iniciado. Esta pantalla también puede estar en ksi o uC, dependiendo de la selección realizada por el operador.



Paso 05 Fije la llave o torquímetro al perno del transductor y apriételo progresivamente observando cuidadosamente las informaciones mostrada en la pantalla del PiezoClamping®.



Con el apretón, el valor de la pre-compresión será exhibido en tiempo real en la línea superior de la pantalla, y en la línea inferior la barra de progreso será llenado en proporción con la pre-compresión o carga objetivo. Cada cuadrado lleno corresponde al 10% del objetivo.



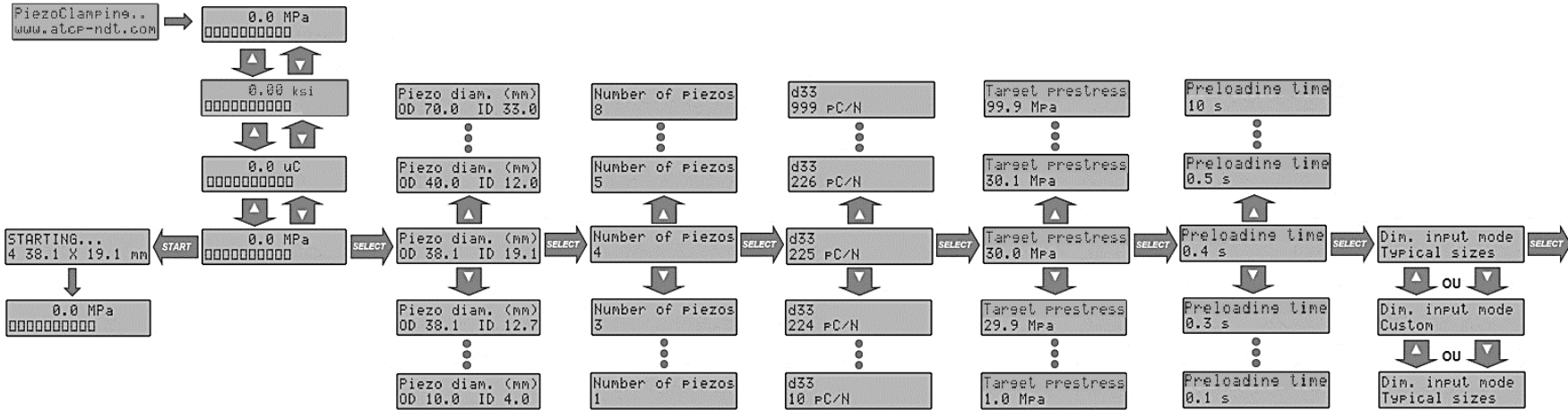
Al mismo tiempo, la pantalla presentará un segundo gráfico (a la derecha de la barra de progreso porcentual) proporcional a la velocidad de aplicación de la pre-compresión (indicación horizontal) y a la tensión de entrada generada por las cerámicas piezoeléctricas (indicación vertical). Caso el usuario exceda la velocidad máxima o la tensión de entrada exceda los límites aceptables del equipo (± 10 VDC), la barra de progreso bidimensional rellenará toda la báscula y se emitirá un pitido audible para alertar al usuario del evento.



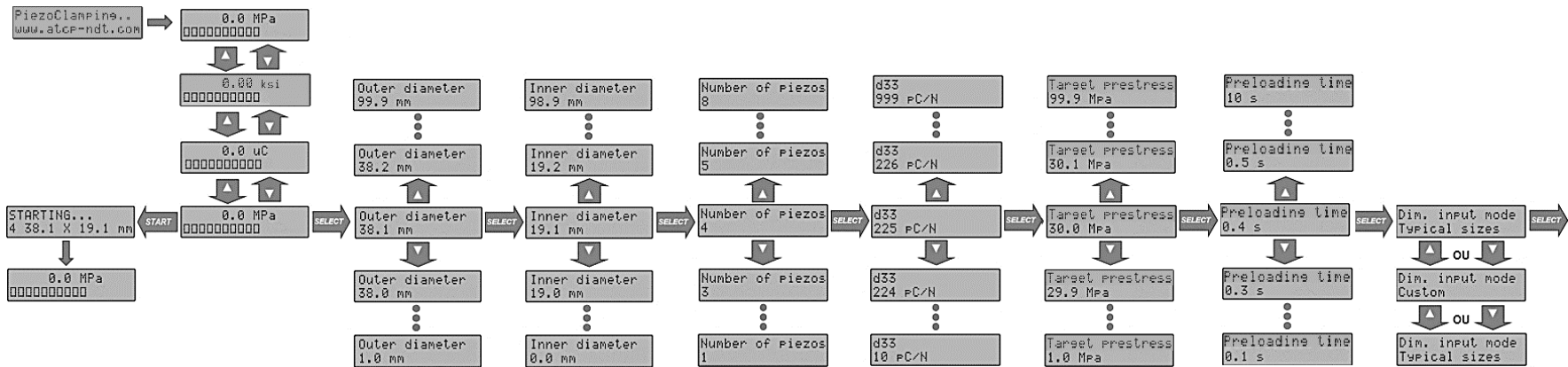
La indicación de presión y carga será negativa si el perno se afloja en lugar de apretarse, o si los cables de prueba están invertidos.

7.3. Diagrama de flujo general para el control de precompresión en MPa

Abajo, el diagrama de las pantallas con la opción "Dim. input mode" configurado en "Typical sizes" y con la pre-compresión objetivo en MPa como variable seleccionada. Nota: Los diagramas para la pre-compresión en ksi y para la carga en uC son análogos a este.



Abajo, el diagrama de flujo de las pantallas con la opción "Dim. input mode" establecido en "Custom" y con la pre-compresión objetivo en MPa como variable seleccionada. Nota: Los diagramas de flujo para la pre-compresión en ksi y para la carga en uC son análogos a este.



8. Solución de problemas

Problema	Posible Causa	Solución
El PiezoClamping® no se enciende.	El tomacorriente no tiene energía.	Utilice un tomacorriente con energía.
	El cable de alimentación no está conectado al tomacorriente y/o al equipo.	Conecte el cable de alimentación.
	El cable de alimentación está dañado.	Reemplace con otro cable del mismo tipo en buenas condiciones.
	El interruptor POWER está en la posición "Off".	Coloque el interruptor en la posición "On".
	Hay un fusible quemado.	Cambie los fusibles (02 unidades de 5x20 mm, 250 V, 5 A, tipo lento).
El PiezoClamping® no consigue medir, o Los resultados son inconsistentes, o Los resultados no son reproducibles.	La punta de prueba no está desconectada al equipo.	Conecte la punta de prueba en el conector "PIEZOCERAMICS".
	La punta de prueba está con mal contacto o interrumpida.	Arreglar o cambiar la punta de prueba.
	La punta de prueba está conectada de forma incorrecta en el elemento de prueba.	Compruebe que la punta de prueba está conectada a los pines o terminales correctos (punta roja en vivo y negro en la tierra).
	Los parámetros de configuración son incorrectos.	Configure correctamente los parámetros de la cerámica y confirme que el equipo está en el modo requerido (pre-compresión en MPa, pre-compresión en ksi o carga en uC).
	El PiezoClamping® no está calibrado.	Realice la Auto-prueba, la calibración y el ajuste si es necesario (consulte el tema 9). Si el problema persiste, comuníquese con la ATCP Ingeniería Física: www.atcp-ndt.com
PiezoClamping® detecta la señal en ausencia de aprieto, o incluso sin sonda.	El PiezoClamping® está captando interferencia electromagnética del medio ambiente.	Aumente el nivel del gatillo (tema 9.4). Si el problema persiste, comuníquese con la ATCP Ingeniería Física: www.atcp-ndt.com

(Esta página fue intencionalmente dejada en blanco)

9. Auto-prueba y calibración

El PiezoClamping® fue diseñado con características y accesorios para facilitar la solución de problemas y el cumplimiento de exigentes Sistemas de Gestión de Calidad, como los de los fabricantes de equipos médicos. La siguiente tabla presenta las alternativas para probar y calibrar PiezoClamping®.

Alternativas para probar y calibrar PiezoClamping®.

#	Descripción	Carga(s)	Incertidumbre
1	Auto-prueba	47,0 uC	± 12,0 %
2	Calibración PiezoClamping® Cal. Kit	5,5, 11,0, 16,5 y 22,0 uC	± 12,8 %
3	Calibración con capacitor y fuente de voltaje de precisión	Arbitrario(s)	Depende de las características del capacitor y la fuente.
4	Calibración por ATCP	5,5, 11,0, 16,5 y 22,0 uC	Típico ± 3,1 %

La característica de "Auto-prueba" de PiezoClamping® consiste en medir una descarga interna de 47,0 uC ± 12 %. Esta función es suficiente para pruebas funcionales rápidas como parte del proceso de producción, por ejemplo, al comienzo de cada turno de trabajo. Sin embargo, se limita a una sola carga (47,0 uC) con una incertidumbre mucho mayor que la exactitud nominal y la precisión combinadas de PiezoClamping® (± 4 %). Nota: El rango de medición de carga del equipo es de 0,0 a ± 190,0 uC.

La calibración con el accesorio PiezoClamping® Calibration Kit tiene una incertidumbre similar a la Auto-prueba, pero es más robusta porque incluye cuatro cargas (5,5, 11,0, 16,5 y 22,0 uC) en el rango de carga de los transductores con 2 cerámicas piezoeléctricas. Por ejemplo, un transductor con dos cerámicas PZT-8 y una precompresión de 45 MPa desplazará una carga de aproximadamente 18,75 uC con la precarga del perno. La calibración del PiezoClamping® con el accesorio Calibration Kit puede ser realizada esporádicamente por el usuario, lo que permite extender el intervalo de calibración del equipo o incluso enviar el Calibration Kit para calibración en lugar del PiezoClamping®.

La capacidad de calibración con un capacitor y una fuente de voltaje de precisión es similar al kit de calibración PiezoClamping®, pero con mayor flexibilidad cuanto a las cargas de calibración para abarcar la carga típica de los transductores que se fabrican. Sin embargo, el procedimiento experimental es más elaborado y requiere elementos específicos, lo que limita esta opción a usuarios con buena infraestructura metrológica.

El servicio de calibración proporcionado por la ATCP Ingeniería Física es el más simple desde el punto de vista de la ejecución del cliente y proporciona la incertidumbre más baja (típica de ± 3,1 %). Sin embargo, es un servicio más costoso y requiere la interrupción del uso y envío del equipo. El intervalo de calibración recomendado por la ATCP es de 3 años cuando el equipo se usa en un entorno de laboratorio y de 1 año cuando se usa en la planta de producción. Nota: El intervalo ideal debe ser determinado por el usuario en función de las particularidades de su aplicación.

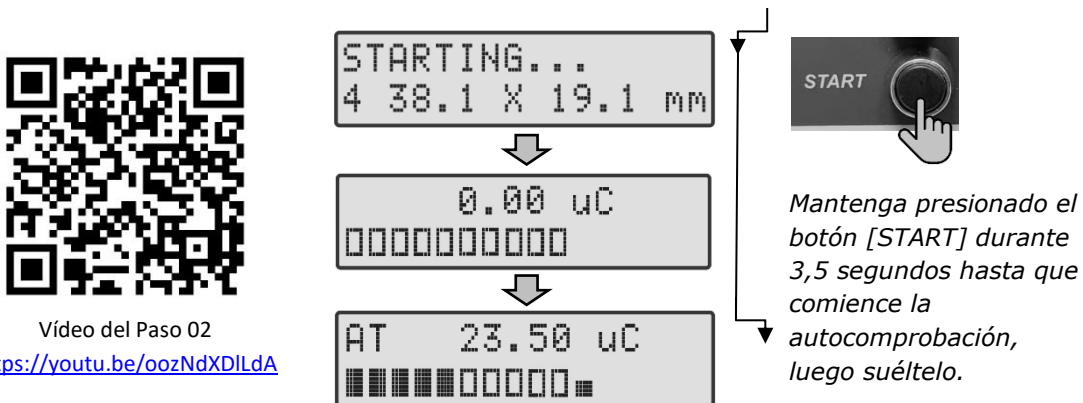
9.1. Auto-prueba

Para garantizar la calidad en aplicaciones críticas, el PiezoClamping® es capaz de auto probarse, lo que implica descargar internamente y medir una carga de $47,0 \text{ uC} \pm 12 \%$. La evaluación de resultados por parte del equipo es automática.

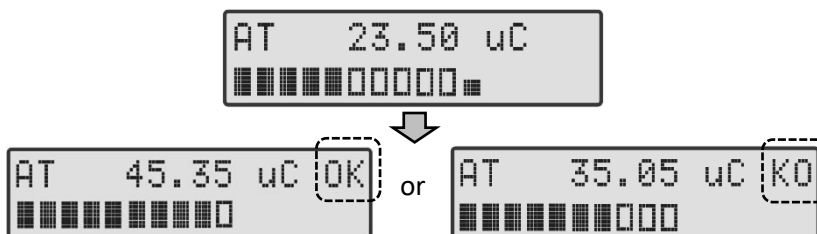
Paso a paso para la auto-prueba:

Paso 01 Encienda el PiezoClamping® y desconecte la sonda del conector BNC. *Nota: Para la auto-prueba, no conecte nada al conector BNC del panel del equipo.*

Paso 02 Mantenga presionado el botón [START] durante 3,5 segundos hasta que aparezca la última pantalla en la secuencia a continuación (la que tiene las letras "AT" al comienzo de la primera línea). Una vez iniciada la auto-prueba, suelte el botón. *Nota: La segunda pantalla puede diferir dependiendo de la última configuración.*



Paso 03 Verifique la información que se muestra al final de la primera línea después de que haya transcurrido el tiempo de descarga interna de 5 segundos. Si indica "OK", el equipo ha superado la auto-prueba, mientras que, si el mensaje mostrado indica "KO", el equipo ha fallado la auto-prueba. Después de mostrar el resultado, el equipo se reiniciará automáticamente.



Notas: Para que el resultado sea "OK", la carga medida debe estar en el rango $41,36 - 52,64 \text{ uC}$ ($47,00 \text{ uC} \pm 12\%$). Debido a que la incertidumbre de descarga es de $\pm 12 \%$, es posible que el gráfico de barras no esté lleno o que haya un símbolo ">" delante y, sin embargo, el resultado sea "OK". Si el resultado es "KO", envíe el instrumento para que sea calibrado por Ingeniería Física de la ATCP.

9.2. Calibración

Este tema describe el procedimiento típico para calibrar el PiezoClamping®. Para realizar la calibración, necesitará el accesorio PiezoClamping® Calibration Kit o los siguientes elementos: un capacitor de precisión con una capacitancia nominal de 2,2 uF e incertidumbre conocida, y una fuente de voltaje de precisión con un voltaje entre 2,5 y 10 VDC e incertidumbre conocida. El PiezoClamping® Calibration Kit y la combinación de condensador y fuente de tensión mencionada proporcionan cargas en el rango de 5,5 a 22,0 uC, lo que coincide con el rango típico de cargas para transductores con 2 cerámicas piezoeléctricas. Por ejemplo, un transductor con dos cerámicas PZT-8 y una pre-compresión de 45 MPa desplazará aproximadamente 18,75 uC con precarga. Para la calibración con otras cargas, se pueden usar capacitancias más grandes o más pequeñas según sea necesario.

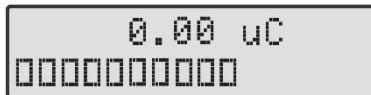
Paso a paso para la calibración con el PiezoClamping® Calibration Kit:

La siguiente imagen muestra el PiezoClamping® Calibration Kit. A continuación, se resumen los pasos para su uso. Para obtener detalles, consulte su manual.

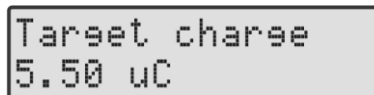


Kit de calibración PiezoClamping®

Paso 01 Encienda el PiezoClamping® y presione el botón [▼] para acceder a la opción de carga, como se muestra a continuación.



Paso 02 En la fuente de voltaje de precisión, seleccione el valor de carga deseado (5.50, 11.00, 16.50 o 22.00 uC). En el PiezoClamping®, presione el botón [SELECT] para acceder a la pantalla "Target charge" e ingrese el valor de carga esperado (Q_E). *Nota: El valor de carga esperado Q_E es igual al valor de carga seleccionado en el PiezoClamping® Calibration Kit o el informado en su certificado de calibración.*

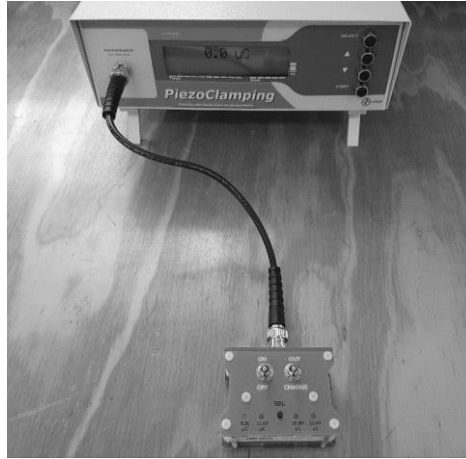


Paso 03 Utilice la Ecuación (1) para calcular la incertidumbre combinada (I_{QE}) de la carga que el kit de calibración descargará en el PiezoClamping®, teniendo en cuenta la incertidumbre de medición del propio PiezoClamping®.

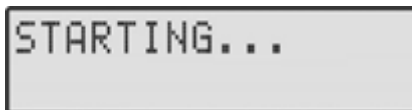
$$I_{QE} = 2 * Q_E * \sqrt{\left(\frac{I_{CK}}{100}\right)^2 + \left(\frac{I_{PZC}}{100}\right)^2} \quad (1)$$

Donde I_{CK} es el porcentaje de incertidumbre del PiezoClamping® Calibration Kit e I_{pzc} es el porcentaje de incertidumbre de medición del PiezoClamping®. La incertidumbre del PiezoClamping® se puede considerar del 4% (exactitud + precisión). La incertidumbre del Calibration Kit es del 5%, pero puede ser menor si ha sido calibrado con una referencia de mayor precisión (verificar certificado de calibración respectivo).

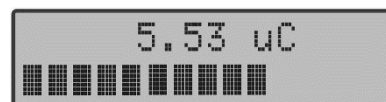
Paso 04 Encienda el Kit de Calibración y conéctelo al PiezoClamping® usando un cable BNC-BNC. *Nota: si el kit de calibración está descargado, recárguelo con un cargador de teléfono celular y un cable micro-USB.*



Paso 05 Presione el botón [START] para reiniciar el equipo e iniciar una nueva medición de carga.



Paso 06 Descargue el Calibration Kit en el PiezoClamping® y registre la carga medida por el equipo. Repita los pasos 05 y 06 cinco veces y calcule la media de los resultados ($\overline{Q_m}$).



Paso 08 La media de las medidas ($\overline{Q_m}$) debe estar dentro del rango dado por la Ecuación 2:

$$(Q_E - I_{QE}) \leq \overline{Q_m} \leq (Q_E + I_{QE}) \quad (2)$$

Repita los pasos del 1 al 8 para las cargas restantes del kit de calibración. Si las medidas de PiezoClamping® están fuera del rango anterior o de la precisión deseada, es necesario ajustar el PiezoClamping® para la medida de carga. Ver tema "10. Ajustes" o envíe el equipo para ATCP Ingeniería Física.

Ejemplo de calibración con el PiezoClamping® Calibration Kit

Parámetros y rango de aceptación para la carga de 5,50 uC:

Parámetro	Valor	Nota
Q _E	5,50 uC	
I _{CK}	5%	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	0,704 uC (12,8 % de 5,5 uC)	Calc. by eq. (3)
Q _E + I _{QE}	6,204 uC	
Q _E - I _{QE}	4,796 uC	
Rango de aceptación	$4,80 \leq \overline{Q_m} \leq 6,20 \mu\text{C}$	

Parámetros y rango de aceptación para la carga de 11,00 uC:

Parámetro	Valor	Nota
Q _E	11,00 uC	
I _{CK}	5%	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	1,408 uC (12,8 % de 11,00 uC)	Calc. by eq. (3)
Q _E + I _{QE}	12,41 uC	
Q _E - I _{QE}	9,59 uC	
Rango de aceptación	$9,59 \leq \overline{Q_m} \leq 12,41 \mu\text{C}$	

Parámetros y rango de aceptación para la carga de 16,50 uC:

Parámetro	Valor	Nota
Q _E	16,50 uC	
I _{CK}	5%	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	2,112 uC (12,8 % de 16,50 uC)	Calc. by eq. (3)
Q _E + I _{QE}	18,61 uC	
Q _E - I _{QE}	14,39 uC	
Rango de aceptación	$14,39 \leq \overline{Q_m} \leq 18,61 \mu\text{C}$	

Parámetros y rango de aceptación para la carga de 22,00 uC:

Parámetro	Valor	Nota
Q _E	22,00 uC	
I _{CK}	5%	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	2,816 uC (12,8 % de 22,00 uC)	Calc. by eq. (3)
Q _E + I _{QE}	24,82 uC	
Q _E - I _{QE}	19,18 uC	
Rango de aceptación	$19,18 \leq \overline{Q_m} \leq 24,82 \mu\text{C}$	

Cargas medidas versus rangos de aceptación:

Carga nominal	Rango de aceptación	Carga media ($\overline{Q_m}$)	Evaluación
5,50 μC	$4,80 \leq \overline{Q_m} \leq 6,20 \mu\text{C}$	5,53 μC	En el rango
11,00 μC	$9,59 \leq \overline{Q_m} \leq 12,41 \mu\text{C}$	11,30 μC	En el rango
16,50 μC	$14,39 \leq \overline{Q_m} \leq 18,61 \mu\text{C}$	16,93 μC	En el rango
22,00 μC	$19,18 \leq \overline{Q_m} \leq 24,82 \mu\text{C}$	22,58 μC	En el rango

Como los valores medidos por PiezoClamping® están dentro de los rangos esperados, lo más probable es que el equipo esté en orden. Si estuviera apagado, sería necesario ajustar la medida de carga como se describe en el tema 10.



Se recomienda calibrar el PiezoClamping® Calibration Kit.

Paso a paso usando un capacitor y una fuente de voltaje de precisión:

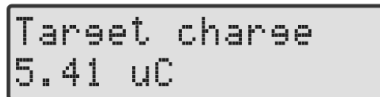
Paso 01 Encienda el PiezoClamping® y presione el botón [▼] para acceder a la opción de carga que se muestra a continuación.



Paso 02 Utilice la ecuación (3) a continuación para calcular la carga esperada (Q_E) en función de la capacitancia (C) y el voltaje (V) utilizados.

$$Q_E = C \times V \quad (3)$$

Presione el botón [SELECT] para acceder a la pantalla "Target charge" e ingrese la carga esperada calculada (Q_E) como se muestra a continuación.



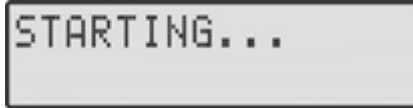
Paso 03 Use la Ecuación (4) para calcular la incertidumbre combinada (I_{QE}) de la carga que se descargará en el PiezoClamping® y la propia incertidumbre del PiezoClamping®.

$$I_{QE} = 2 * Q_E * \sqrt{\left(\frac{I_V}{100}\right)^2 + \left(\frac{I_C}{100}\right)^2 + \left(\frac{I_{PZC}}{100}\right)^2} \quad (4)$$

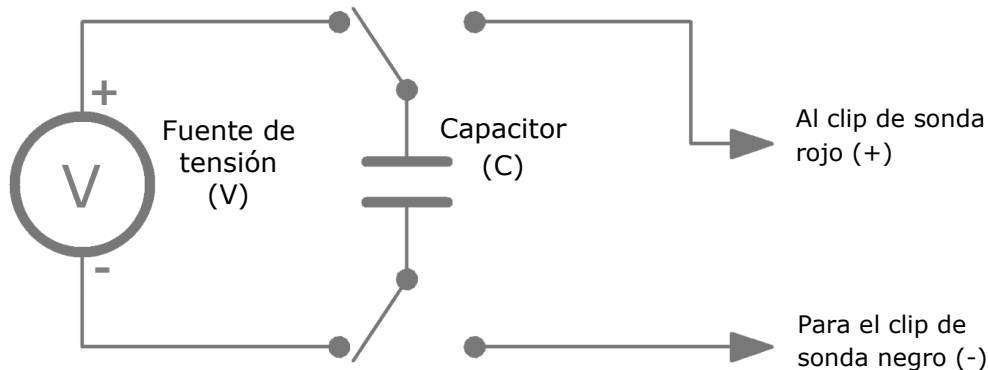
Donde I_V es el porcentaje de incertidumbre de la fuente de voltaje, I_C es el porcentaje del capacitor e I_{PZC} es el porcentaje de incertidumbre de medición de PiezoClamping®. La incertidumbre de PiezoClamping® se puede considerar igual al 4% (su exactitud más su precisión).

Paso 04 Conecte el cable de prueba suministrado con el equipo al conector "PIEZOCERAMICS" ubicado en el panel frontal del instrumento.

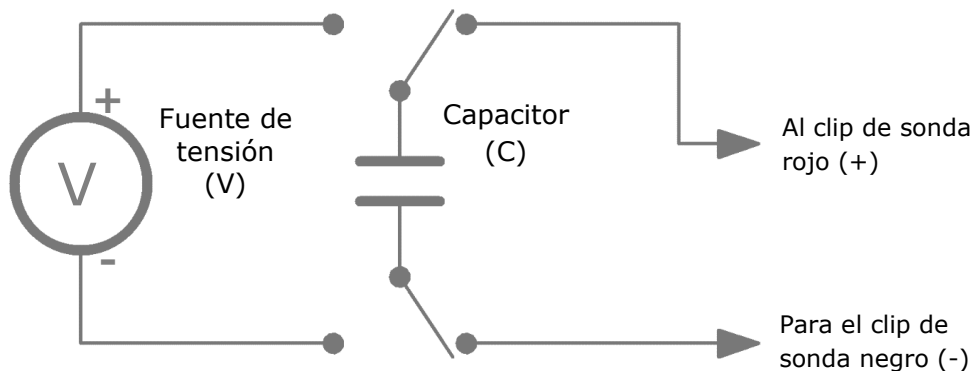
Paso 05 Presione el botón [START] para reiniciar el equipo e iniciar una nueva medición de carga.



Paso 06 Cargue el capacitor conectándolo a la fuente de voltaje como se muestra a continuación.



Paso 07 Desconecte el capacitor de la fuente de voltaje y conéctelo a la entrada del PiezoClamping® como se muestra a continuación, la carga del capacitor será descargada y medida por el PiezoClamping®. No toque los terminales del condensador durante el proceso. Después de la descarga, anote el valor obtenido. Repita los pasos 06 y 07 cinco veces y calcule la media ($\overline{Q_m}$).



Paso 08 La media de las medidas del PiezoClamping® ($\overline{Q_m}$) debe estar en el rango dado por la Ecuación 5:

$$(Q_E - I_{QE}) \leq \overline{Q_m} \leq (Q_E + I_{QE}) \quad (5)$$

Si la media de las mediciones de PiezoClamping® está fuera del rango de la ecuación (5), es necesario ajustar lo PiezoClamping® para la medición de carga. Ver tema "10. Ajustes" o enviar el equipo para calibración para ATCP Ingeniería Física

Ejemplo de calibración con condensador y fuente de tensión

Dispositivos utilizados:

- Condensador bipolar de 2,1630 uF con 2,7% de incertidumbre (modelo comercial equivalente: KEMET F461DO225G250L).
- Referencia de tensión modelo AD584-M (4 tensiones de salida seleccionables: 2,5000 V; 5,0000 V; 7,5000 V y 10,0000 V con 0,1% de incertidumbre).

Cálculo del rango de aceptación:

Parámetros y rango de aceptación para la carga de 5.41 uC:

Parameter	Value	Note
C	2,1630 uF	
V	2,5000 V	
Q _E	5,41 uC	
I _v	0,1 %	
I _c	2,7 %	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	0,522 uC (9,65 % de 5,41 uC)	By eq. (3)
Q _E + I _{QE}	5,932 uC	
Q _E - I _{QE}	4,888 uC	
Rango de aceptación	$4,89 \leq \overline{Q}_m \leq 5,93 \mu\text{C}$	

Parámetros y rango de aceptación para la carga de 10.81 uC:

Parâmetro	Valor	Note
C	2,1630 uF	
V	5,0000 V	
Q _E	10,81 uC	
I _v	0,1 %	
I _c	2,7 %	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	1,043 uC (9,65 % de 10,81 uC)	By eq. (3)
Q _E + I _{QE}	11,85 uC	
Q _E - I _{QE}	9,77 uC	
Rango de aceptación	$9,77 \leq \overline{Q}_m \leq 11,85 \mu\text{C}$	

Parámetros y rango de aceptación para la carga de 16.22 uC:

Parâmetro	Valor	Note
C	2,1630 uF	
V	7,5000 V	
Q _E	16,22 uC	
I _v	0,1 %	
I _c	2,7 %	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	1,565 uC (9,65 % de 16,22 uC)	By eq. (3)
Q _E + I _{QE}	17,78 uC	
Q _E - I _{QE}	14,56 uC	
Rango de aceptación	$14,56 \leq \overline{Q}_m \leq 17,78 \mu\text{C}$	

Parâmetros y rango de aceptación para la carga de 21,63 uC:

Parâmetro	Valor	Not0
C	2,1630 uF	
V	10,0000 V	
Q _E	21,63 uC	
I _v	0,1 %	
I _c	2,7 %	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	2,087 uC (9,65 % de 21,63 uC)	By eq. (3)
Q _E + I _{QE}	23,71 uC	
Q _E - I _{QE}	19,54 uC	
Rango de aceptación	$19,54 \leq \overline{Q}_m \leq 23,71 \text{ uC}$	

Cargas medidas versus rangos de aceptación:

Carga nominal	Rango de aceptación	Carga media (\overline{Q}_m)	Evaluación
5,50 µC	$4,89 \leq \overline{Q}_m \leq 5,93 \text{ µC}$	5,54 µC	In the range
11,00 µC	$9,77 \leq \overline{Q}_m \leq 11,85 \text{ uC}$	11,06 µC	In the range
16,50 µC	$14,56 \leq \overline{Q}_m \leq 17,78 \text{ µC}$	16,75 µC	In the range
22,00 µC	$19,54 \leq \overline{Q}_m \leq 23,71 \text{ uC}$	22,04 µC	In the range

Como los valores medidos por PiezoClamping® están dentro de los rangos, lo más probable es que el equipo esté en orden. Si estuviera fuera, sería necesario ajustar la medida de carga como se describe en el tema 10.



Se recomienda calibrar el capacitor y la fuente de voltaje.

(Esta página fue intencionalmente dejada en blanco)

10. Ajustes

10.1. Ajuste de la medida de carga eléctrica

Es posible ajustar el PiezoClamping® para la medición de carga eléctrica. Este ajuste es necesario cuando el PiezoClamping® falla en la auto-prueba o en la calibración. Para ello, se requiere una fuente de carga de precisión. En ATCP, como parte del proceso de fabricación, ajustamos el PiezoClamping® con la descarga de $\pm 21,63 \mu\text{C} \pm 3\%$.

Paso a paso:

Paso 01 Acceda al menú de ajuste encendiendo el PiezoClamping® usando el interruptor [POWER] mientras mantiene presionados los botones [SELECT] y [\blacktriangle] simultáneamente. Suelte los botones [SELECT] y [\blacktriangle] solo cuando el equipo muestre el factor de corrección "Z adjust" en la primera línea como se muestra a continuación. Establezca el factor de "Z adjust" en 1000 y apague y encienda para guardar y salir del modo de ajuste.



Notes: Los valores pueden diferir de los ilustrados. La segunda línea informa la versión de firmware del equipo.

Paso 02 Mida la carga de referencia 10 veces, 5 veces con polaridad invertida, y calcule la media y la desviación estándar del valor absoluto de los resultados para obtener \overline{Q}_m por la ecuación (6).

$$\overline{Q}_m = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} |Q_m| \quad (6)$$

Paso 03 Calcule el nuevo factor "Z adjust" usando la ecuación (7). El "Z adjust" es un factor multiplicativo de la medida de carga/pre-compresión y debe cambiarse en la proporción inversa de la desviación observada en la medida de la carga eléctrica utilizando la ecuación (6). Q_e es la carga esperada e igual a la carga eléctrica descargada.

$$Z \text{ adjust}_{new} = \left(\frac{Q_e}{\overline{Q}_m} \right) Z \text{ adjust}_{current} \quad (7)$$

Nota: El valor máximo para el parámetro "Z adjust" es 1050 y el mínimo 950. Si el valor requerido está fuera de este rango, el equipo puede estar averiado y el ajuste será imposible sin reparación.

Paso 04 Acceda nuevamente al menú de ajuste encendiendo el PiezoClamping® con el interruptor [POWER] mientras mantiene presionadas las teclas [SELECT] y [\blacktriangle] simultáneamente. Ingrese el nuevo factor "Z adjust" calculado por la ecuación (7). Apague y encienda para guardar y salir del modo de ajuste.

Paso 05 Realice una auto-prueba o calibración para confirmar que el ajuste se realizó correctamente.

Ejemplo de ajuste

Los dispositivos utilizados para el ajuste fueron el conmutador de carga, la década capacitiva y la fuente de voltaje que se muestra a continuación. Se seleccionó la década capacitiva para 0,2219 uF y la fuente de voltaje para 10,000 Volts. Tanto la década como la fuente fueron calibradas con trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades. Este conjunto es capaz de generar una carga de referencia de $\pm 21,63 \text{ uC} \pm 3\%$ y se utiliza en el ATCP en el ajuste del PiezoClamping®.



Conmutador de carga, década capacitiva y fuente de tensión de precisión.

La siguiente tabla presenta los resultados de las mediciones de carga después de que el equipo tenga el parámetro "Z adjust" establecido en 1000. *Nota: Como la precisión nominal de PiezoClamping® es del 1%, se espera que la desviación estándar de las mediciones sea menor que 1% (era 0,7%).*

Resultados después de que el equipo tenga el parámetro "Ajuste Z" configurado a 1000.

Medida	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga (uC)	22,25	22,28	22,49	22,41	21,99	-22,30	-22,28	-22,42	-22,19	-22,08

- Media del valor absoluto de la carga medida: 22,27 uC;
- Desviación estándar del módulo de la carga medida: 0,15 uC (0,7 %).

Cálculo del valor ideal para el factor "Z adjust" por la ecuación (7):

$$Z_{adjust_{new}} = \left(\frac{21,63}{22,27} \right) 1000 = 971$$

$$Z_{adjust_{new}} = 971$$

La siguiente tabla presenta los resultados de las mediciones de carga de referencia después de que el equipo tenga el parámetro "Ajuste Z" ajustado al valor calculado de 971.

Resultados después de que el instrumento tiene el parámetro "Ajuste Z" establecido en 971

Medida	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga (uC)	21,54	21,86	21,73	21,53	21,73	-21,52	-21,33	-21,71	-21,39	-21,39

- Media del módulo: 21,57 uC (0,3% por debajo de la carga de referencia, que es muy inferior a la incertidumbre nominal del equipo del (4%);
- Desviación estándar del módulo: 0,18 uC (0,8 %).

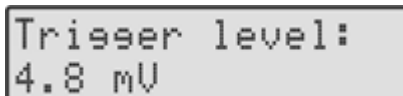
Note que la desviación de la carga media medida a la carga de referencia fue solo -0,3 %, que es mucho menor que la incertidumbre nominal del equipo (4 %) y menos de 1/3 de la precisión nominal (1 %).

10.2. Ajuste del nivel de disparo de medición

Es posible ajustar el nivel de disparo para la adquisición de señales por PiezoClamping® cambiando el parámetro "Nivel de disparo". Este procedimiento puede ser necesario en entornos con niveles de interferencia electromagnética capaces de disparar la medición sin un transductor conectado o siendo precargado.

Paso a paso:

Paso 01 Acceda al menú de ajuste encendiendo el PiezoClamping® usando el interruptor [POWER] mientras mantiene presionados los botones [▼] y [▲] simultáneamente. Suelte los botones solo cuando el equipo muestre el parámetro "Nivel de disparo" como se muestra a continuación (la configuración de fábrica es 4,8 mV):



Paso 02 Ajuste el parámetro "Nivel de disparo" usando los botones [▼] y [▲]. El "nivel de disparo" es el parámetro de referencia que utiliza PiezoClamping® para determinar si el voltaje en el conector de entrada es una señal real o ruido.

Paso 03 Apague y encienda para guardar el nuevo "Nivel de activación" y salir del modo de ajuste.

El ajuste del nivel de activación rara vez es necesario. Por lo general, los problemas con la medición del ruido están relacionados con la falta de conexión a tierra en el tomacorriente, que es fácilmente corregible sin necesidad de solucionarlo ajustando el nivel de disparo.



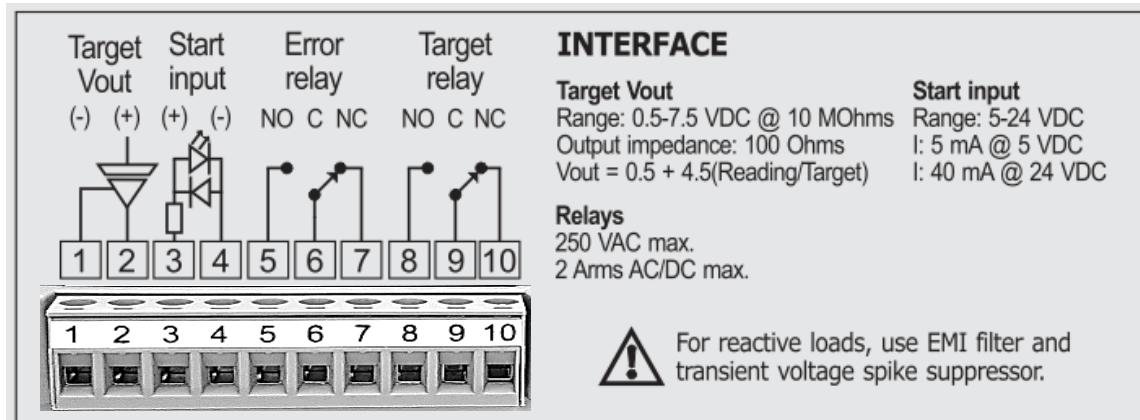
El parámetro "nivel de disparo" debe mantenerse lo más cerca posible de 4,8 mV; los valores anteriores provocarán la pérdida de información y el decremento de la precisión del equipo.

(Esta página fue intencionalmente dejada en blanco)

11. Interfaz para automatización

11.1. Descripción de entradas y salidas

El PiezoClamping® tiene una interfaz para la automatización, como se detalla a continuación. Esta interfaz permite el control remoto del equipo y la transmisión en tiempo real de la pre-compresión y de la carga porcentuales en relación con el objetivo.



La interfaz en el panel trasero de PiezoClamping®.

Entradas y salidas:

“Target Vout”: Salida de tensión analógica aislada proporcional a la variable seleccionada (pre-compresión o carga). El rango de tensión de salida es de 0,5 a 7,5 V CC para carga de alta impedancia (para 1 k Ohmios, la tensión de salida máxima es de aproximadamente 7,3 V CC). La ecuación (8) describe la correlación entre Vout a altas impedancias, la variable seleccionada (Reading) y el objetivo (Target).

$$\text{Target Vout} = 0,5 + 4,5 \left(\frac{\text{Reading}}{\text{Target}} \right) \quad (8)$$

La medida de la señal debe realizarse en la posición del conector '2' (+), la posición '1' es la referencia (-). *Nota: Esta salida se puede calibrar en dependencia de la impedancia del circuito acoplado, según el procedimiento descrito en el apartado 11.2.*

“Start input”: Entrada aislada para iniciar una nueva medida. Actúa de la misma forma que el botón START [6]. El rango de entrada es de 5 a 24 VDC. La señal debe inyectarse en la posición del conector '3' (+), la '4' es la referencia (-).

“Error relay”: Salida aislada donde se activa un relé SPDT cuando ocurre un error o sobrecarga. Es posible utilizar el contacto normalmente cerrado (NC, posición del conector '7') o el contacto normalmente abierto (NA, posición del conector '5'). El contacto común (C) está disponible en la posición del conector '6'.

“Target relay”: Salida aislada donde se activa un relé SPDT cuando se alcanza el objetivo (“Target prestress” o “Target charge”). Es posible utilizar el contacto normalmente cerrado (NC, posición del conector '10') o el contacto normalmente abierto (NA, posición del conector '8'). El contacto común (C) está disponible en la posición del conector '9'.

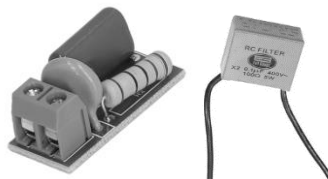
Para la conexión eléctrica externa con la interfaz PiezoClamping®, utilice el conector proporcionado como accesorio (modelo de conector MSTB 2.5/10-STZ-5.08, PN# 1764303, Phoenix Contact).

A continuación, se muestra una tabla con las especificaciones de entradas y salidas.

Especificaciones de las entradas y de las salidas.

Target Vout	Posiciones '1' (-) e '2' (+). Rango de voltaje de salida: 0,5 - 7,5 VDC @ 10 MOhms. Impedancia de salida: 100 Ohms. <i>Note: Se recomienda que la impedancia del circuito acoplado sea igual o superior a 1 k Ohmios.</i>
Start input	Posiciones '3' (+) e '4' (-). Rango de voltaje de entrada: 5-24 VDC. I: 50 mA @ 5 VDC / I: 40 mA @ 24 VDC.
Error relay	Posiciones '5' (NO), '6' (C) y '7' (NC). 250 VAC max. / 2 Arms AC/DC max.
Target relay	Posiciones '8' (NO), '9' (C) y '10' (NC). 250 VAC max. / 2 Arms AC/DC max.

Para la conmutación de cargas reactivas utilizando el "Error relay" o el "Target relay", incluya supresores de transitorios y filtros EMI en el circuito externo para evitar que afecten el funcionamiento del PiezoClamping® y comprometan su integridad y confiabilidad. A continuación, se muestran algunos ejemplos.



Ejemplos de "snubbers" que se pueden utilizar en el circuito externo en el caso de conmutación de cargas reactivas con la interfaz del PiezoClamping®.



Ejemplo de filtro EMI que se puede incluir en el circuito externo en el caso de conmutar cargas reactivas con la interfaz PiezoClamping®.

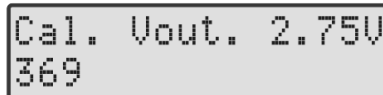
11.2. Calibración de la salida analógica "Target Vout"

Es posible calibrar la salida analógica proporcional "Target Vout" del PiezoClamping® para compensar la impedancia del circuito acoplado. Esta calibración se realiza en dos puntos, a 2,75 y 5,00 VDC como se detalla a continuación. Recomendamos que la impedancia del circuito acoplado sea igual o superior a 1 k Ohmios.

Paso a paso:

Paso 01 Conecte un voltímetro de CC calibrado a la salida "Target Vout" (pines '1' (-) y '2' (+) del conector de la interfaz) en paralelo con el circuito de automatización o con una resistencia equivalente.

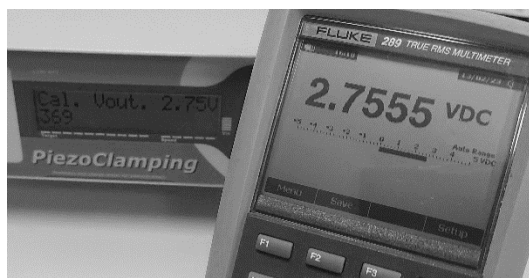
Paso 02 Acceda al menú de ajuste encendiendo el PiezoClamping® usando el interruptor [POWER] mientras mantiene presionados los botones [SELECT] y [▼] simultáneamente. Suelte los botones [SELECT] y [▼] solo cuando el equipo muestre "Cal. Vout 2.75V" en la pantalla como se muestra.



```
Cal. Vout. 2.75V
369
```

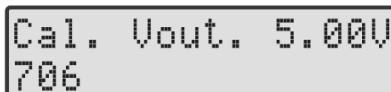
Nota: La segunda línea muestra el valor del convertidor de analógico a digital de 10 bits del equipo.

Paso 03 Ajuste el valor que se muestra en la segunda línea hasta que el voltaje medido por el voltímetro sea igual a 2,75 VDC, como se muestra.



Nota: El valor de la segunda línea para que la salida sea igual a 2,75 VDC dependerá de la impedancia del circuito conectado a la salida. En el ejemplo, la impedancia fue de 1k Ohmios y el valor fue de 369 (el rango de ajuste es de 0 a 470).

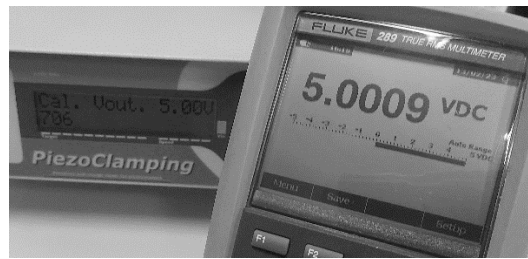
Paso 04 Pulse el botón [SELECT] para acceder al siguiente menú "Cal. Vout. 5,00 V" como se muestra a continuación.



```
Cal. Vout. 5.00V
706
```

Nota: La segunda línea muestra el valor del convertidor de analógico a digital de 10 bits del equipo.

Paso 05 Ajuste el valor que se muestra en la segunda línea hasta que el voltaje medido por el voltímetro sea igual a 5,00 VDC, como se muestra a continuación.



Nota: El valor de la segunda línea para que la salida sea igual a 5,00 VDC dependerá de la impedancia del circuito conectado a la salida. En el ejemplo, la impedancia fue de 1 k Ohmios y el valor fue de 706 (el rango de ajuste es de 480 a 1023).

Paso 06 Apague y encienda PiezoClamping® para guardar los ajustes y salir del modo de calibración.



Video del paso a paso para
calibrar la salida analógica
"Target Vout"

<https://youtu.be/s8xzTZ3yo0g>

12. Asistencia técnica, plazo de garantía y términos de responsabilidad

Si el equipo está defectuoso o funciona mal, compruebe que el problema está relacionado con los mencionados en el tema 8 (solución de problemas). Si todavía no es posible encontrar una solución, póngase en contacto con ATCP Ingeniería Física para el análisis y realización de las reparaciones.

La ATCP Ingeniería Física ofrece 02 años de garantía a partir de la fecha de compra por defectos de material y/o fabricación. Después de la expiración del período de garantía, los servicios, las piezas y los gastos serán cobrados. Factores que implican la pérdida de la garantía:

- Falta de los cuidados recomendados en este manual con relación a la instalación y operación del equipo.
- Accidente, queda, instalación inadecuada o cualquier otro daño provocado por el uso incorrecto o acción de agentes naturales.
- Manipulación, reparación o cualquier otra modificación o alteración realizada en el equipo o piezas por personal no autorizado por la ATCP Ingeniería Física.

La ATCP Ingeniería Física asume la plena responsabilidad técnica y legal del producto PiezoClamping® y declara que toda la información contenida en este manual de instalación y operación es verdadera.

▲ La lectura de toda la información de este manual de instalación y operación es indispensable para el correcto uso del equipo.

▲ No utilizar el equipo para otras finalidades que no sean las indicadas en este manual.

(Esta página fue intencionalmente dejada en blanco)

13. Referencias

- [1] LANGEVIN, P.; Procédé et appareils d'émission et de réception des ondes élastiques sous-marines à l'aide des propriétés piézo-électriques du quartz Procédé et appareils d'émission et de réception des ondes élastiques sous-marines à l'aide des propriétés piézo-électriques du quartz, French Patent 505.703,1920.
- [2] FREDERICK, J.; Ultrasonic Engineering: John Wiley & Sons, Inc. - 1965.
- [3] PROKIC, M.; Piezoelectric Converters Modeling and Characterization, 2° edição, MPI Interconsulting, august 2004.
- [4] PIEZOELECTRIC CERAMICS Properties & Applications. Morgan Advanced Materials.
- [5] BUNAI, C.; The Torque-Tension Relationship Gets Stretched, American Fastener Journal, May/June 2012 Issue - Vol. 28 No. 3.