# Modelo Serie 4500

## Piezómetro de cuerda vibrante

Manual de instrucciones

GEOKON®

©1983, GEOKON. Todos los derechos reservados.
Rev del doc: RR.9 | Fecha de publicación: 10/6/26

## DECLARACIÓN DE GARANTÍA

GEOKON garantiza que sus productos están libres de defectos de materiales y mano de obra durante un período de 24 meses a partir de la fecha de compra, bajo uso normal. Si un producto requiere servicio, debe devolverse a GEOKON—con el flete pagado—para su evaluación. Si se confirma un defecto de fabricación, GEOKON reparará o reemplazará el producto sin costo.

Esta garantía queda anulada si el producto ha sido manipulado o dañado debido a corrosión excesiva, sobrecarga eléctrica, calor, humedad, vibración, especificaciones inadecuadas, aplicación incorrecta, uso indebido u otras condiciones fuera del control de GEOKON. Los componentes de desgaste—incluidos fusibles y baterías—no están cubiertos.

Los instrumentos GEOKON están diseñados para ser utilizados por personal capacitado y calificado. No se ofrecen otras garantías distintas a las aquí establecidas, incluidas las garantías implícitas de comerciabilidad o idoneidad para un propósito particular.

GEOKON no es responsable de daños directos, indirectos, incidentales, especiales o consecuentes derivados de la instalación o uso de sus productos. El único recurso del comprador se limita al precio de compra original del producto afectado. GEOKON no reembolsa los costos asociados con la extracción o reinstalación de equipos.

Si bien se hace todo lo posible para garantizar la exactitud de nuestros manuales y software, GEOKON no asume responsabilidad por errores u omisiones, ni por los impactos resultantes de su uso.

No se puede reproducir ninguna porción de este manual de instrucciones, por ningún medio, sin el consentimiento por escrito de GEOKON. La información contenida en este documento se considera precisa y confiable. Sin embargo, GEOKON no asume responsabilidad alguna por errores, omisiones o malas interpretaciones. La información en este documento está sujeta a cambios sin aviso previo.

El logotipo y el nombre comercial GEOKON® son marcas comerciales registradas en la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de los Estados Unidos.

# ÍNDICE


1. INTRODUCCIÓN ..... 1

2. INSTRUCCIONES DE INICIO RÁPIDO ..... 2

3. ANTES DE LA INSTALACIÓN ..... 3

3.1 INSTALACIÓN OPCIONAL DE TAPÓN DE CONGELACIÓN ..... 3

3.2 SATURACIÓN DE PUNTAS DE FILTROS ..... 3

3.2.1 SATURACIÓN DE FILTROS ESTÁNDAR ..... 4

3.2.2 SATURACIÓN DE FILTROS DE CERÁMICA DE ALTA ADMISIÓN DE AIRE ..... 4

3.2.3 SATURACIÓN DE PUNTAS DE FILTRO DEL MODELO 4500C ..... 5

3.3 CÓMO ESTABLECER UNA LECTURA INICIAL CERO ..... 6

3.3.1 MÉTODO RECOMENDADO PARA ESTABLECER LA LECTURA INICIAL CERO ..... 6

3.3.2 PRIMER MÉTODO ALTERNATIVO ..... 6

3.3.3 SEGUNDO MÉTODO ALTERNATIVO ..... 7

3.3.4 TERCER MÉTODO ALTERNATIVO ..... 7

3.4 VERIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL PIEZÓMETRO ..... 7

4. INSTALACIÓN ..... 9

4.1 INSTALACIÓN EN TUBERÍAS O POZOS ..... 9

4.2 INSTALACIÓN EN BARRENOS ..... 9

4.3 INSTALACIÓN EN RELLENOS Y DIQUES ..... 11

4.4 INSTALACIÓN POR EMPUJE O PENETRACIÓN EN SUELOS BLANDOS ..... 12

4.5 TRANSDUCTOR MODELO 4500H Y MODELO 4500HH ..... 13

4.6 CAJAS DE EMPALME Y CONEXIÓN ..... 13

4.7 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS ..... 14

4.8 PROTECCIÓN CONTRA CONGELAMIENTO ..... 15

5. TOMA DE LECTURAS ..... 16

5.1 LECTURAS Y REGISTRADORES DE DATOS COMPATIBLES ..... 16

5.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURAS ..... 16

6. REDUCCIÓN DE DATOS ..... 18

6.1 CÁLCULO DE DATOS ..... 18

6.1.1 CÁLCULO LINEAL ..... 18

6.1.2 CÁLCULO POLINÓMICO ..... 18

**6.2 CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA (SOLO SE REQUIERE EN TRANSDUCTORES NO VENTILADOS)** 19

**6.3 PIEZÓMETROS VENTILADOS, MODELO 4500SV** 20

**6.4 CÁLCULOS OPCIONALES** 21

6.4.1 CORRECCIÓN DE LA TEMPERATURA 21

6.4.2 CONVERSIÓN DE UNIDADES DE INGENIERÍA 21

**6.5 FACTORES AMBIENTALES** 22

**7. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS** 23

**APÉNDICE A. ESPECIFICACIONES** 25

**A.1 ESPECIFICACIONES DEL MODELO 4500** 25

A.1.1 DIMENSIONES DEL MODELO 4500DPCT 25

**A.2 ESPECIFICACIONES DE LOS 4500INCO Y 4500TI (SENSORES RESISTENTES A LA CORROSIÓN)** 26

**A.3 TERMISTOR** 26

**A.4 CABLEADO DEL PIEZÓMETRO ESTÁNDAR** 26

**APÉNDICE B. DERIVACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR** 27

**B.1 RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 3KΩ** 27

**B.2 RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 10KΩ** 28

**APÉNDICE C. REPORTE DE CALIBRACIÓN TÍPICO** 29

**APÉNDICE D. NIVEL DE AGUA Y PRESIÓN DEL PIEZÓMETRO** 30

# 1. INTRODUCCIÓN

Los piezómetros de cuerda vibrante Modelo 4500 de GEOKON tienen como principal objetivo las mediciones a largo plazo de la profundidad de fluidos y la presión de los poros en tuberías, barrenos, diques, oleoductos y tanques de presión. Existen varios modelos disponibles para ajustarse a una variedad de aplicaciones geotécnicas. Se proporciona información de calibración con cada piezómetro.

Todos los piezómetros de cuerda vibrante de GEOKON utilizan un diafragma sensible de acero inoxidable (excepto el modelo 4500C, que utiliza fuelles) al cual está conectado el componente de cuerda vibrante. Durante su uso, los cambios en la presión sobre el diafragma pueden provocar desviaciones. Esta desviación se mide como un cambio en la tensión y frecuencia de vibración del componente de cuerda vibrante. El cuadrado de la frecuencia de vibración es directamente proporcional a la presión aplicada sobre el diafragma. Un filtro evita la entrada de partículas sólidas y previene el daño sobre el sensible diafragma. Los filtros estándar son de acero inoxidable de 50 micras. Filtros con alto nivel de admisión de aire están disponibles a pedido.

Dos bobinas, una con un aditamento tipo imán y la otra con un aditamento polar, están instaladas cerca de la cuerda vibrante. Al usarse, se aplica una pulsación de frecuencia variable (frecuencia de barrido) a estas bobinas, provocando que la cuerda vibre principalmente a su frecuencia de resonancia. Al terminar el estímulo, la cuerda continúa vibrando. Durante la vibración, se induce una señal sinusoidal en las bobinas y se transmite a una consola de lectura, en donde es acondicionada y desplegada.

Existen unidades de lectura portátiles disponibles que producen el estímulo, acondicionamiento de señal y lectura del instrumento. También están disponibles sistemas de registro de datos, que permiten la recolección de información remota y sin supervisión de varios sensores.

Contáctese con GEOKON para obtener información adicional.

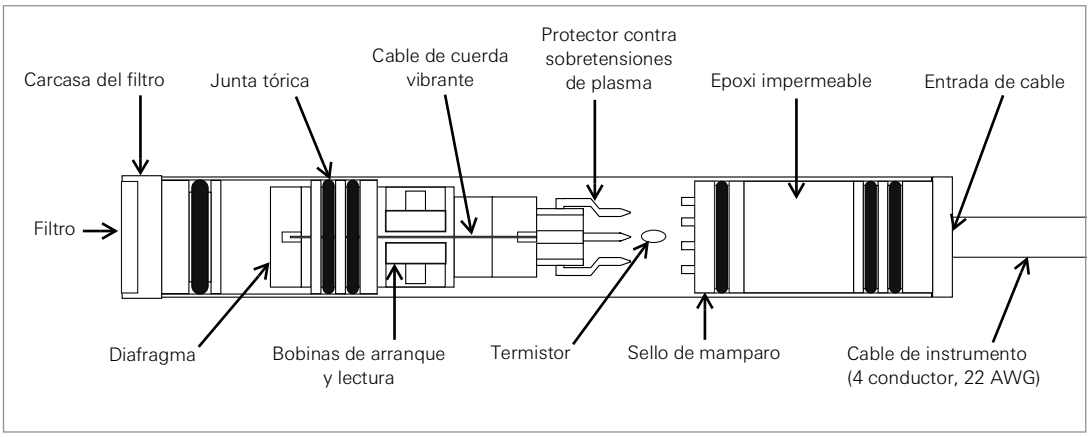


***FIGURA 1:*** *Piezómetro de cuerda vibrante Modelo 4500S*

Todos los componentes expuestos están hechos con acero inoxidable resistente a la corrosión. Si se siguen las técnicas adecuadas de instalación, el dispositivo debería tener una vida ilimitada.

En agua salada, podría ser necesario el uso de materiales especiales para el diafragma y la carcasa. Los piezómetros Serie 4500INCO y Serie 4500 TI están especialmente diseñados para usarse en este tipo de entornos. Por ejemplo, ambos modelos incorporan sellos mejorados en la entrada del cable y la conexión del filtro; el 4500INCO utiliza un sello de junta tórica doble personalizado, mientras que el 4500TI tiene una construcción totalmente soldada.

# 2. INSTRUCCIONES DE INICIO RÁPIDO

Las personas familiarizadas con los instrumentos geotécnicos y su instalación pueden usar las siguientes instrucciones de inicio rápido. Para obtener instrucciones más detalladas, vea la Sección 3.

1. Sature el filtro del piezómetro (vea la Sección 3.2).

**¡Advertencia!** ¡No permita que el piezómetro se congele una vez que la piedra filtrante esté saturada! Consulte la Sección 3.1 para obtener información sobre cómo proteger el piezómetro si se instalará en condiciones de congelación conocidas.

2. Antes de la instalación, permita que el piezómetro alcance un equilibrio térmico durante al menos 15 minutos. (De manera alternativa, si el instrumento está conectado a la consola de lectura, espere hasta que la lectura del piezómetro se estabilice).
3. Registre la temperatura, la presión atmosférica y la lectura del piezómetro cuando este tenga una presión (atmosférica) de cero. Esto se conoce como lectura "inicial cero".
4. Verifique que la lectura inicial cero del piezómetro coincida con la lectura cero proporcionada de fábrica en el reporte de calibración.
5. Con cuidado, mida y marque el cable en donde coincida con la parte superior del barreno, pozo o tubería cuando el piezómetro haya alcanzado la profundidad deseada. (El diafragma del piezómetro se encuentra a 3/4 de pulgada por encima de la punta del piezómetro).
6. Para instalación en tuberías o pozos, consulte laSección 4.1. Para perforaciones, consulte la Sección 4.2. Para rellenos y diques, vea la Sección 4.3.

# 3. ANTES DE LA INSTALACIÓN

## 3.1 INSTALACIÓN OPCIONAL DE TAPÓN DE CONGELACIÓN

Si el piezómetro se va a utilizar en lugares sujetos a congelación, GEOKON puede proporcionar tapones anticongelantes que protegerán el diafragma del piezómetro. Para instalar los tapones anticongelantes:

1. Retire la carcasa del filtro del cuerpo del sensor.
2. Inserte los dos tapones de diámetro pequeño en la carcasa del filtro (no aplicable para el Modelo 4500HD).
3. Inserte el tapón delgado de silicona en el cuerpo del sensor, debe hacer contacto directamente con el diafragma.
4. Inserte el tapón de diámetro grande restante en el cuerpo del sensor (tres tapones para el Modelo 4500HD).
5. Vuelva a instalar la carcasa del filtro.

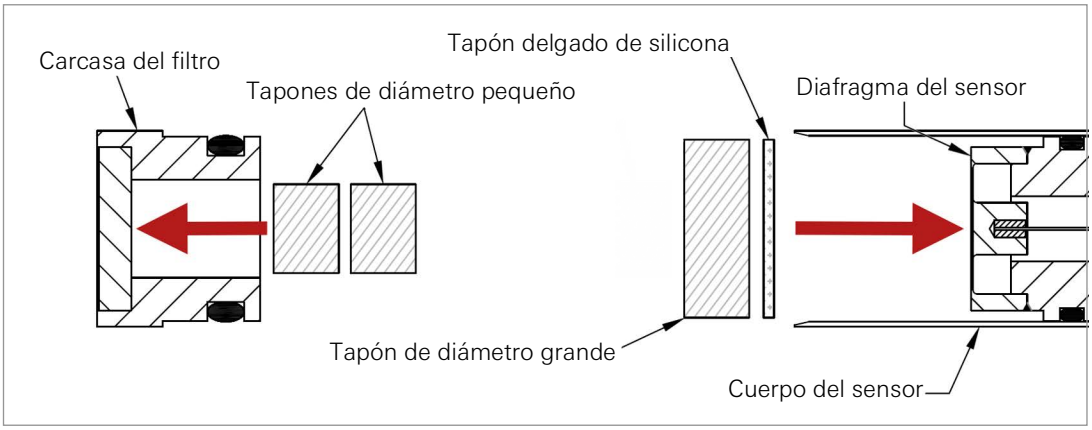


***FIGURA 2:*** *Instalación del tapón de congelación*

## 3.2 SATURACIÓN DE PUNTAS DE FILTROS

**¡Advertencia!** ¡No permita que el piezómetro se congele una vez que la piedra filtrante esté saturada! Consulte la Sección 3.1 para obtener información sobre cómo proteger el piezómetro si se instalará en condiciones de congelación conocidas.

La mayoría de las puntas de los filtros pueden removerse para realizar el proceso de saturación y luego volver a ensamblarse. Para mantener la saturación, la unidad debe permanecer bajo el agua hasta la instalación. Si el piezómetro se usará en una tubería en donde ascenderá y descenderá con frecuencia, la carcasa del filtro podría aflojarse con el tiempo y podría ser necesario un ensamble del filtro permanente. El filtro extraíble puede fijarse de forma permanente perforando el tubo del piezómetro a una distancia de entre 1/16" y 1/8" por detrás de la junta del ensamble del filtro.

Las sales en el agua pueden depositarse en la piedra del filtro provocando una obstrucción si se deja secar por completo. Las piedras del filtro pueden reemplazarse con rejillas para instalaciones en tuberías. Las rejillas de GEOKON disponibles tienen menos probabilidad de acumular sal y obstruirse que los filtros estándar.

### 3.2.1 SATURACIÓN DE FILTROS ESTÁNDAR

Para resultados precisos, es necesaria la saturación total del filtro. Conforme el piezómetro es introducido en el agua, el agua entra al filtro, comprimiendo el aire en el espacio entre la piedra del filtro y el diafragma sensible a la presión. Después de un periodo de tiempo, este aire se disolverá en el agua, llenando completamente de agua el filtro y el espacio sobre él.

Para acelerar el proceso de saturación, retire el filtro del piezómetro girando y jalando cuidadosamente el ensamble de la carcasa del filtro (o desatornillando la punta del piezómetro, en el caso del Modelo 4500DP). Sostenga el piezómetro con el filtro hacia arriba y llene de agua el espacio sobre el diafragma. Vuelva a colocar con cuidado la carcasa del filtro, permitiendo que el agua salga de la piedra del filtro conforme la instala. Para piezómetros con un rango menor a 10 psi, tome lecturas con una consola de lectura mientras vuelve a colocar la carcasa del filtro para asegurar que el rango del piezómetro no se sobrepase.

### 3.2.2 SATURACIÓN DE FILTROS DE CERÁMICA DE ALTA ADMISIÓN DE AIRE

Debido a las características de alta admisión de aire del filtro de cerámica, la extracción del aire es particularmente importante. Los diferentes grados de admisión de aire requieren diferentes procedimientos de saturación. Todos los filtros HAE pueden ser saturados en la fábrica por GEOKON.

En el caso de filtros de dos barras o más, donde el procedimiento adecuado para desairear y saturar estos filtros es algo complejo, GEOKON recomienda que la saturación se realice en la fábrica.

**Important! Si el piezómetro se satura en la fábrica, se aplica una tapa especial para mantener la saturación. Retire el tornillo y retire suavemente la tapa, luego instale inmediatamente el piezómetro o manténgalo en un recipiente con agua desaireada hasta la instalación.**

#### *FILTROS DE UN BAR*

Si es necesario llevar a cabo la saturación en el campo, siga cuidadosamente las instrucciones siguientes:

1. Retire el filtro del piezómetro girando y jalando cuidadosamente el ensamble de la carcasa del filtro.
2. Hierva el ensamble del filtro en agua a la que se le ha retirado el aire.
3. Vuelva a ensamblar el piezómetro bajo la superficie de un contenedor de agua a la que se le ha retirado el aire. Mientras instala lentamente el filtro, use una consola de lectura para monitorear la presión del diafragma. Si el piezómetro comienza a sobrepasarse, permita que la presión se disipe antes de continuar presionando.
4. Asegúrese de que no quede aire atrapado en la cavidad del transductor.
5. Después de la saturación, el transductor debe mantenerse en un contenedor de agua libre de aire hasta su instalación.

#### *FILTROS DE DOS Y MÁS BARES*

Si es necesario llevar a cabo la saturación en el campo, siga cuidadosamente las instrucciones siguientes:

1. Coloque el piezómetro ensamblado, con el filtro hacia abajo, en una cámara de vacío con un puerto en la parte inferior para entrada de agua a la que se le ha eliminado el aire.
2. Cierre la entrada de agua y vacíe la cámara. Debe monitorearse el transductor mientras la cámara se vacía.
3. Cuando se alcance el nivel máximo de vacío, permita la entrada de agua a la que se le ha eliminado el aire a la cámara hasta que llegue algunas pulgadas más arriba del filtro del piezómetro.
4. Cierre la entrada de agua.

5. Libere el vacío.
6. Observe la lectura del transductor. Podrían pasar hasta 24 horas antes de que el filtro se sature por completo y que la presión llegue a cero.
7. Después de la saturación, el transductor debe mantenerse en un contenedor de agua libre de aire hasta su instalación.

### 3.2.3 SATURACIÓN DE PUNTAS DE FILTRO DEL MODELO 4500C

**¡Advertencia!** La carcasa del filtro del 4500C no es removible. ¡Cualquier intento de retirar la piedra o la carcasa del filtro destruirá el transductor!

Si la presión que se va a medir es menor a 5 psi, la piedra del filtro debe estar saturada. Necesitará una bomba de vacío manual y un tubo quirúrgico corto de media pulgada. Las bombas manuales y los tubos están disponibles en la fábrica. (La bomba manual de MityvacII® de Lincoln Industries Corp. en St. Louis, MO., ha sido usada con éxito).

El proceso de saturación es el siguiente:

1. Fije el tubo al transductor como se muestra en la Figura 3.
2. Llene el tubo con unas dos pulgadas (cinco centímetros) de agua.
3. Fije el otro extremo del tubo a la bomba de vacío manual.
4. Sostenga el transductor de tal forma que el agua descanse en el filtro pero que no entre en la bomba, apriete la bomba manual para crear un vacío en el interior del tubo. Esto sacará el aire del filtro y de la parte de atrás de él, reemplazándolo con agua. Un vacío de 20" a 25" de Hg. (50 a 64 cm Hg.) es suficiente para una correcta evacuación del aire.

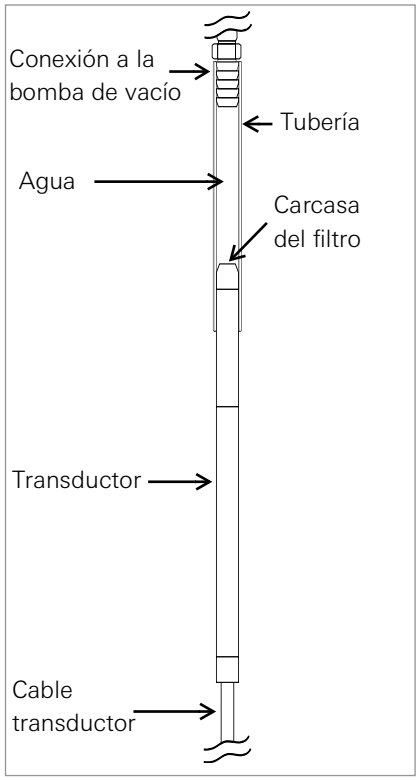


***FIGURA 3:*** *Saturación del 4500C*

## 3.3 CÓMO ESTABLECER UNA LECTURA INICIAL CERO

Los piezómetros de cuerda vibrante son diferentes a otros tipos de sensores de presión, ya que indican una lectura cuando no se ejerce ninguna presión en el sensor.

**Nota:** Es imperativo obtener una lectura inicial de cero para cada piezómetro, ya que esta lectura se utilizará para todas las reducciones de datos subsecuentes.

En general, la lectura inicial cero se obtiene leyendo el instrumento antes de su instalación. Existen varias formas diferentes de tomar una lectura inicial cero. El elemento esencial en todos los métodos es que el piezómetro necesita estabilizarse térmicamente en un ambiente con temperatura constante mientras la presión del piezómetro es solo atmosférica. El transductor suele tardar entre 15 y 20 minutos en igualar su temperatura.

Podría surgir la pregunta de qué hacer con la piedra del filtro al tomar lecturas cero. No importará si la piedra del filtro está saturada al usar un filtro estándar de acero inoxidable. Sin embargo, si el piezómetro está equipado con una piedra para filtro de cerámica de alta admisión de aire, la misma debe estar saturada al tomar lecturas cero.

Será necesario medir la presión atmosférica solo si el piezómetro no está ventilado y si se instalará en un lugar sujeto a cambios de presión atmosférica que pueden necesitar corrección, como en un pozo abierto. En la mayoría de los casos, un piezómetro sellado en profundidad se verá afectado por presiones en aguas subterráneas que no están conectadas hidráulicamente con la atmósfera, para las que la compensación de la presión barométrica sería inadecuada. Ver la Sección 6.2 para obtener más información sobre las correcciones barométricas.

Se proporciona información de calibración con cada medidor, se incluye una lectura cero de fábrica tomada a una temperatura específica y a una presión atmosférica absoluta. (Ver la Apéndice C para obtener un informe de calibración de muestra). Las lecturas cero en el sitio deberían coincidir con las lecturas de fábrica en 50 dígitos después de realizar las correcciones atmosféricas y de temperatura. Las presiones atmosféricas cambian con la elevación a un ritmo aproximado de 3,45 kPa (1/2 psi) por 300 metros (1.000 pies). La elevación de fábrica es de +580 pies. Todas las lecturas atmosféricas representan la presión absoluta sin correcciones para alturas sobre el nivel del mar. Dentro del cuerpo del piezómetro se incluye un termistor para la medición de la temperatura.

**NOTA SOBRE EL 4500C:** La construcción de este delgado transductor de cuerda vibrante requiere que las partes internas sean miniaturas. **Estos transductores son delicados; manipúlelos con cuidado durante el procedimiento de instalación.** A pesar de tomar todas las precauciones necesarias para garantizar que el transductor llegue sin daños, es posible que el cero cambie durante su traslado debido a una manipulación brusca. Sin embargo, las pruebas han demostrado que el cero puede cambiar, pero los factores de calibración no cambiarán. Por lo tanto, es doblemente importante tomar una lectura inicial de carga cero antes de la instalación.

### 3.3.1 MÉTODO RECOMENDADO PARA ESTABLECER LA LECTURA INICIAL CERO

1. Sature la piedra del filtro como se muestra en la Sección 3.2.

**¡Advertencia!** ¡No permita que el piezómetro se congele cuando la piedra del filtro haya sido saturada!

2. Reemplace la piedra del filtro.
3. Cuelgue el piezómetro en el barreno justo sobre el agua.
4. Espere hasta que la lectura del piezómetro deje de cambiar.
5. Tome las lecturas cero y de temperatura.

### 3.3.2 PRIMER MÉTODO ALTERNATIVO

1. Coloque el piezómetro bajo el agua en una cubeta.
2. Permita que pasen unos 15 o 20 minutos para que se estabilice la temperatura de la unidad.

3. Use el cable del instrumento para sacar el piezómetro del agua. No manipule la carcasa del piezómetro; el calor de las manos puede causar cambios temporales en la temperatura.
4. Tome inmediatamente las lecturas cero y de temperatura.

#### 3.3.3 SEGUNDO MÉTODO ALTERNATIVO

1. Permita que pasen unos 15 o 20 minutos para que se estabilice la temperatura de la unidad.
2. Levante el piezómetro solo por el cable. No manipule la carcasa del piezómetro; el calor de las manos puede causar cambios temporales en la temperatura.
3. Tome una lectura cero y de temperatura.

   (Si elige esté método, asegúrese de proteger el piezómetro de la luz solar o de cambios bruscos de temperatura. Se recomienda envolverlo en algún material aislante).

#### 3.3.4 TERCER MÉTODO ALTERNATIVO

1. Baje el piezómetro a una profundidad conocida marcada en el cable del piezómetro. (El diafragma dentro del piezómetro está ubicado aproximadamente a 15 mm (3/4") de la punta).
2. Use un medidor del nivel del agua para medir con precisión la profundidad desde la superficie del agua.
3. Cuando se estabilice la temperatura, lea la presión del piezómetro.
4. Usando las constantes de calibración de fábrica y sabiendo la presión de la columna de agua sobre el piezómetro (altura x densidad), calcule la lectura de presión cero equivalente si está usando una regresión linear, o el factor C si está usando el polinomio de segundo grado.

### 3.4 VERIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL PIEZÓMETRO

Si se necesita una verificación aproximada del desempeño del piezómetro, le recomendamos el procedimiento siguiente:

1. Baje el piezómetro cerca del fondo del barreno lleno de agua o por debajo de la superficie del cuerpo de agua.
2. Permita que pasen unos 15 o 20 minutos para que se equilibre la temperatura del piezómetro.
3. Usando una consola de lectura, registre la lectura a la profundidad actual.
4. Suba el piezómetro en un incremento medido.
5. Registre la lectura de la consola de lectura a la nueva profundidad.
6. Usando el factor de calibración de fábrica, calcule el cambio en la profundidad del agua.
7. Compare el cambio de profundidad calculado con el incremento medido de la profundidad. Ambos valores deberían de ser más o menos iguales.

#### *MÉTODO ALTERNATIVO USANDO UN MEDIDOR DEL NIVEL DEL AGUA:*

1. Baje la punta del piezómetro a una profundidad medida bajo la superficie del agua.
2. Permita que pasen unos 15 o 20 minutos para que se equilibre la temperatura del piezómetro.
3. Usando una consola de lectura, registre la lectura a ese nivel.
4. Calcule la elevación de la superficie del agua usando el factor de calibración dado.
5. Compare la elevación calculada con la medida de la elevación usando un medidor del nivel del agua.

#### *FACTORES QUE PUEDEN AFECTAR ESTE PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN:*

- Si la densidad del agua es diferente a un gramo/centímetro cúbico.
- Si el agua es salada o turbia.

- El nivel del agua dentro del barreno puede variar durante la prueba. Esto se debe al desplazamiento del agua provocado por el cable conforme se baja y se sube en el barreno. El desplazamiento será mayor si el barreno es más pequeño. Por ejemplo, un piezómetro Modelo 4500S-50KPA que se baje a 50 pies por debajo de la columna de agua en una tubería de una pulgada (0,875 pulgadas de diámetro interno) **desplazará el nivel del agua en más de cuatro pies.**
- La humedad en las paredes laterales de una carcasa puede crear fricción que atasca el cable del piezómetro, de modo que no se mueve libremente a la profundidad designada. Se puede agregar peso adicional al piezómetro si esto se convierte en un problema.

# 4. INSTALACIÓN

## 4.1 INSTALACIÓN EN TUBERÍAS O POZOS

1. Sature la piedra del filtro y establezca una lectura inicial cero siguiendo los pasos descritos en la Sección 3.2 y en la Sección 3.3.

**¡Advertencia!** ¡No permita que el piezómetro se congele cuando la piedra del filtro haya sido saturada!

2. Marque el cable en donde coincida con la parte superior de la tubería o pozo cuando el piezómetro haya alcanzado la profundidad deseada. (El diafragma del piezómetro se encuentra a 3/4 de pulgada por encima de la punta del piezómetro).
3. Baje el piezómetro dentro de la tubería o pozo.
4. Asegúrese de que el cable esté ajustado con seguridad para evitar que el piezómetro se deslice demasiado dentro del pozo provocando un error en las lecturas.

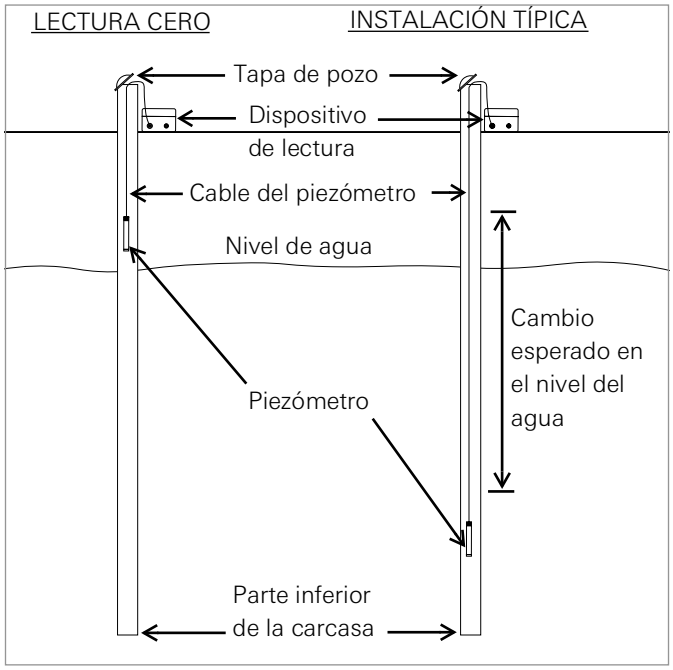


***FIGURA 4:*** *Instalación típica de monitoreo de nivel*

No es recomendable que se instalen piezómetros en pozos o tuberías con bombas eléctricas o cables cercanos. La interferencia eléctrica proveniente de estas fuentes puede provocar lecturas inestables. Si no se puede evitar, se recomienda que se coloque el piezómetro dentro de un tubo de acero. En situaciones en las que se usan obturadores en la tubería, debe tenerse especial cuidado para evitar cortar la cubierta exterior del cable con el obturador, ya que eso podría provocar una posible fuga de presión en el cable.

## 4.2 INSTALACIÓN EN BARRENOS

Los piezómetros GEOKON pueden instalarse en barrenos que tengan o no carcasa, ya sea en configuración simple o múltiple. Si se van a monitorear presiones de poro en un área en particular, debe ponerse especial atención a la técnica de sellado del barreno.

El barreno extenderse de 6 a 12 pulgadas por debajo del lugar propuesto para el piezómetro. Para el método de instalación A (mostrado a continuación), si se perforan los pozos utilizando fluido de perforación (barro), este fluido de perforación debe ser de un tipo que se degrade rápidamente con el tiempo. Limpie el pozo de los residuos de perforación.

A continuación se detallan dos métodos para aislar la zona que se va a monitorear.

### *INSTALACIÓN A*

Rellene el fondo del barreno con arena fina limpia hasta cubrir al menos seis pulgadas por debajo de la posición deseada de la punta del piezómetro. Después puede bajarse el piezómetro a su posición. Mientras mantiene el instrumento en posición (hacer una marca en el cable puede resultar de ayuda) llene el barreno de arena fina limpia hasta cubrir al menos 6 pulgadas sobre el piezómetro.

Inmediatamente por encima del área llena de arena fina limpia, conocida como la "zona de recolección", el agujero de perforación debe ser sellado por una capa impermeable de bentonita de dos a tres pies que esté suficientemente hidratada, compactada en su lugar durante aproximadamente 0,6 m (2'), seguida de lechada de cemento-bentonita (vea la Figura 5).

Si se van a usar varios piezómetros en un solo orificio, la bentonita y la arena deben ser apisonadas en su lugar por debajo y sobre los piezómetros superiores y también a intervalos entre las áreas de recolección. Al usar herramientas para apisonar se debe tener especial cuidado para garantizar que las cubiertas exteriores del cable del piezómetro no se corten durante la instalación, ya que eso podría provocar una posible fuga de presión en el cable. Para algunas instalaciones, puede resultar rentable utilizar una lechada de cemento y bentonita entre las múltiples áreas de recolección. Se recomienda hidratar los sellos de bentonita por encima y por debajo de las áreas de recolección antes de colocar la lechada.

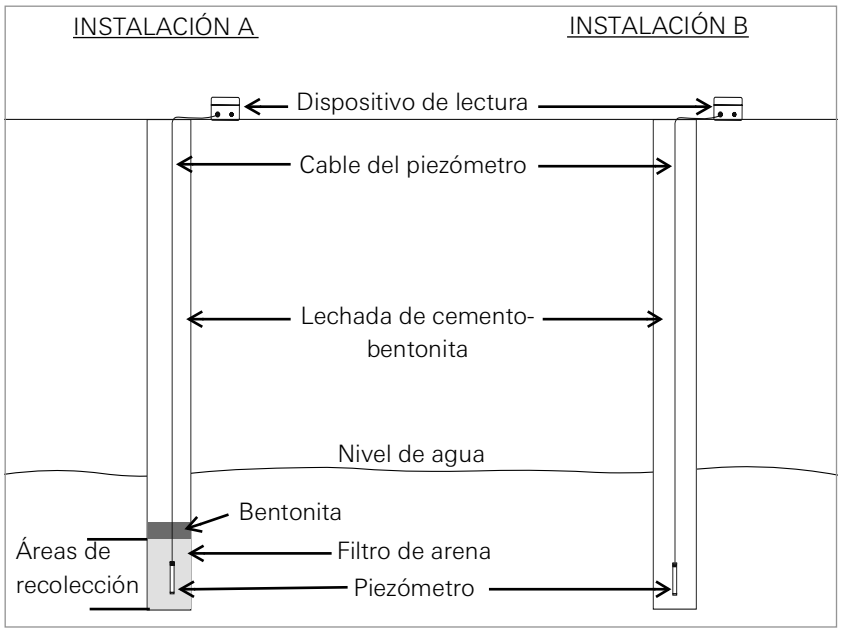


***FIGURA 5:*** *Instalaciones típicas en barrenos*

### *INSTALACIÓN B*

Dado que el piezómetro de cuerda vibrante es en esencia un instrumento sin flujo, no se requieren áreas de recolección de tamaño considerable. El piezómetro puede colocarse en contacto directo con la mayoría de los materiales, siempre y cuando los materiales finos no puedan desplazarse a través del filtro. Por lo tanto, no es necesario prever áreas de recolección de arena; el piezómetro se puede inyectar directamente en el barreno.

Se sugiere una mezcla de lechada de cemento y bentonita para rellenar un barreno. La lechada de cemento y bentonita utiliza cualquier tipo de polvo de bentonita combinado con cemento Portland de tipo I o II. La cantidad exacta de bentonita necesaria variará.

Las mezclas de lechada deben determinarse y ajustarse para que tengan parámetros similares a los del suelo circundante. A lo largo de la profundidad de un barreno, el suelo circundante no suele tener la misma resistencia y permeabilidad. Sin embargo, el uso de varios tipos de mezclas de lechada

dentro del mismo barreno puede no ser rentable ni práctico. A menos que sea necesario hacerlo, identifique un tipo de mezcla de lechada que sea aplicable a toda la longitud del barreno.

La siguiente tabla muestra dos posibles mezclas para resistencias de 50 psi y 4 psi.

| | Lechada de 50 psi para suelos medianos a duros | | Lechada de 4 psi para suelos blandos | |
|---|---|---|---|---|
| | **Cantidad** | **Relación por peso** | **Cantidad** | **Relación por peso** |
| **Agua** | 30 galones | 2,5 | 75 galones | 6,6 |
| **Cemento Portland** | 94 lb (Un saco) | 1 | 94 lb (Un saco) | 1 |
| **Bentonita** | 25 lb (según se necesite) | 0,3 | 39 lb (según se necesite) | 0,4 |
| **Nota:** | La resistencia de esta mezcla a la compresión a los 28 días es de alrededor de 50 psi, similar a la de una arcilla muy rígida a dura. El coeficiente es alrededor de 10,000 psi. | | La resistencia de esta mezcla a la compresión a los 28 días es de 4 psi aproximadamente, similar a la de una arcilla muy suave. | |

***TABLA 1:*** *Proporciones de Cemento / Bentonita / Agua*

Realice los siguientes pasos para mezclar la lechada de cemento y bentonita:

1. Agregue la cantidad medida de agua limpia al barril y luego agregue gradualmente el cemento en la proporción de peso correcta. Mezcle bien el cemento con el agua.

   Consejo: La forma más efectiva de mezclar ambas sustancias es usar una bomba de perforación para hacer circular la mezcla en un barril o tubo de entre 50 y 200 galones.

2. Mientras se mezcla, agregue lentamente el polvo de bentonita para que no se formen grumos. Siga agregando bentonita hasta que la mezcla líquida adquiera una consistencia aceitosa/ viscosa. Continúe mezclando durante aproximadamente 5 a 10 minutos para que la lechada se espese.

3. Agregue más bentonita según se requiera hasta que la mezcla sea una crema espesa y suave similar a la masa para hot cakes, que sea tan fuerte como fácil de bombear.

Al bombear la lechada (a menos que la tubería tremie se vaya a quedar en su lugar), retire la tubería tremie después de cada tanda, la cantidad correspondiente al nivel de la lechada en el barreno.

**¡Advertencia!** Si se bombea la lechada dentro del orificio, en lugar de a través de una tubería tremie, existe el peligro de que el piezómetro quede sobrepasado y se dañe. La lechada también puede segregarse si se bombea hacia la parte superior del barreno y es posible que no rellene ni encapsule completamente el piezómetro. Una buena práctica es tomar la lectura del piezómetro mientras se bombea.

Para más información sobre la lechada, consulte "Piezómetros en barrenos totalmente lechados" de Mikkelson y Green, procedimientos del FMGM, Oslo, 2003. Hay copias disponibles en GEOKON.

## 4.3 INSTALACIÓN EN RELLENOS Y DIQUES

Los piezómetros GEOKON se proporcionan normalmente con un cable adecuado para enterrarse directamente en rellenos como diques de carreteras y presas, tanto en los materiales del núcleo como en los circundantes.

Para instalación en materiales de relleno no cohesivos, el piezómetro puede colocarse directamente en el relleno, o si existen conglomerados de grandes dimensiones, en una bolsa de arena saturada en el relleno. Si se instala en conglomerados grandes, es posible que deban tomarse medidas adicionales para proteger al cable de daños.

Los cables se instalan normalmente dentro de zanjas con materiales de relleno que consisten en conglomerados de menor tamaño. El relleno alrededor del cable se compacta cuidadosamente con la mano. Se colocan tapones de bentonita a intervalos regulares para evitar que el agua se desplace a lo largo de la ruta del cable. En zonas de alto tráfico y en materiales que presentan una "ondulación" pronunciada, deben usarse cables blindados resistentes.

Dependiendo del tipo de filtro instalado en el piezómetro, el material utilizado y el contacto del filtro pueden variar.

### *FILTRO ESTÁNDAR*

En rellenos parcialmente saturados (si solo se medirá la presión de poro del aire), basta con la punta estándar. Debe tomarse en cuenta que la punta estándar mide la presión del aire cuando hay una diferencia entre la presión de poro del aire y la presión de poro del agua. La diferencia entre estas dos presiones se debe a la succión capilar del suelo. La opinión general es que la diferencia normalmente no tiene consecuencias sobre la estabilidad del dique.

La punta estándar es adecuada para la mayoría de las mediciones de rutina, y pueden utilizarse las instalaciones de entrada de aire estándar y alta que se muestran en la Figura 6.

### *FILTRO DE ALTA ENTRADA DE AIRE (HAE)*

En rellenos como núcleos impermeables de presas, en donde podría ser necesario medir la presión de poro subatmosférica del agua, (en lugar de la presión de poro del aire), suele usarse una punta de cerámica con alto nivel de admisión de aire. Este tipo de filtro debe colocarse con cuidado en contacto directo con el material de relleno compactado. (Ver Figura 6).

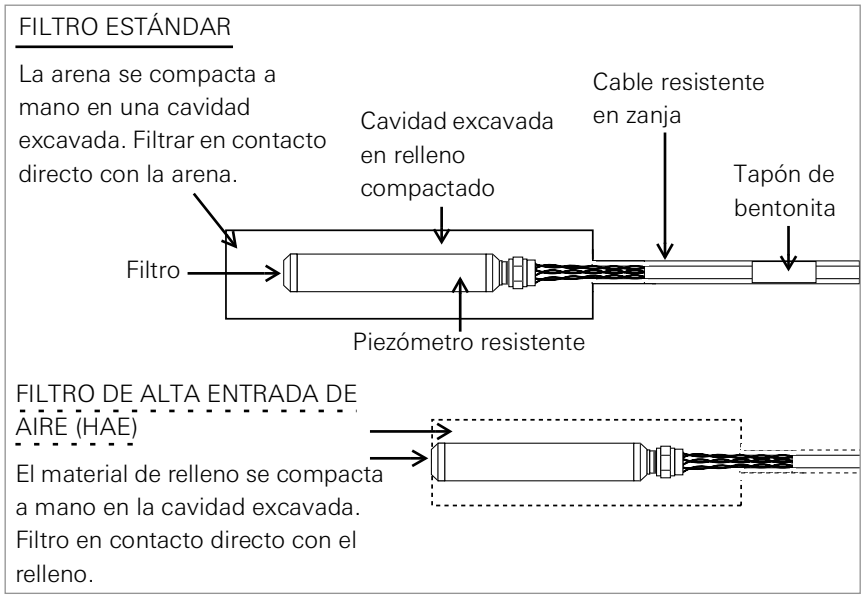


***FIGURA 6:*** *Filtros de entrada de aire estándar y alta*

## 4.4 INSTALACIÓN POR EMPUJE O PENETRACIÓN EN SUELOS BLANDOS

El piezómetro modelo 4500DP está diseñado para ser empujado en suelos blandos. En suelos blandos, puede ser difícil mantener abierto un barreno. El 4500DP podría eliminar por completo la necesidad de un barreno. La unidad está conectada directamente al tubo de perforación (AW, EW u otra) y es empujado dentro del suelo, ya sea a mano o a través de un sistema hidráulico (vea la Figura 7). GEOKON sugiere que estas unidades no se claven en el suelo, ya que existe la posibilidad de que la fuerza empleada cambie la lectura cero.

El suelo debe ser relativamente blando para que el 4500DP sea eficaz. Los suelos blandos (como arcilla o cieno) con un conteo de 10 golpes en un Sondeo de Penetración Estándar (SPT) son ideales. En suelos más firmes, es posible hacer una perforación y luego empujar el 4500DP a solo unos pies por debajo del fondo del orificio. Si el suelo es demasiado firme, el sensor podría sobrepasarse o romperse.

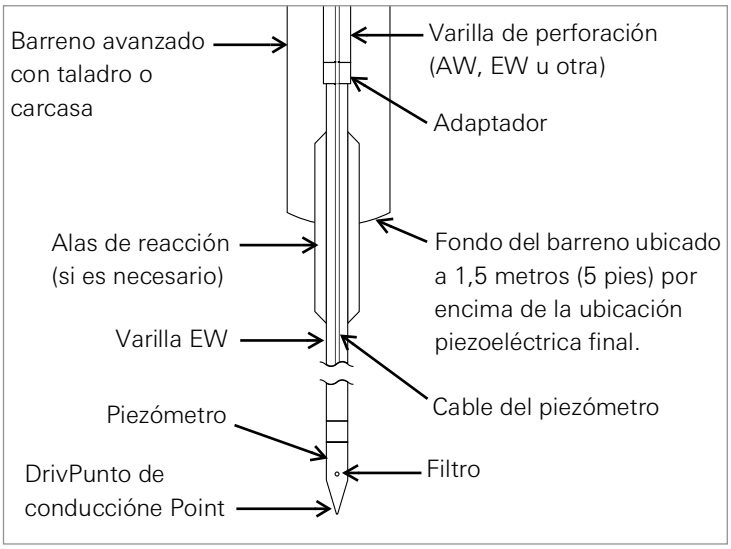


***FIGURA 7:*** *Instalación típica en suelos blandos*

El piezómetro debe estar conectado a una consola de lectura que debe ser monitoreada durante el proceso de instalación. Si la presión alcanza o excede el rango calibrado, debe interrumpirse la instalación para permitir que se disipe la presión.

El tubo de perforación puede dejarse en el lugar o retirarse. Si se va a retirar, se fija directamente a la punta del piezómetro una sección especial de cinco pies de tubo EW (o AW) con aletas de reacción y de rosca izquierda. Esta sección se separa del resto de la cuerda de perforación girándola en el sentido de las manecillas del reloj. Las aletas de reacción evitan que el tubo EW gire. Un adaptador LH/RH está disponible en GEOKON. El adaptador y la cuerda de perforación se retiran.

## 4.5 TRANSDUCTOR MODELO 4500H Y MODELO 4500HH

Cuando se conecta el transductor Modelo 4500H a accesorios externos, el accesorio debe ajustarse a un puerto de entrada de 1/4-18 NPT usando una llave inglesa en las partes planas de la carcasa del transductor. Evite apretar en un sistema cerrado; el proceso de apretar los accesorios podría sobrepasar o dañar permanentemente el transductor. En caso de duda, conecte los cables del medidor a una consola de lectura y tome lecturas conforme aprieta. Se recomienda el uso de cinta de PTFE (o de plomero) en las roscas para una conexión más fácil y segura con el transductor. La presión máxima para el 4500H es de 3 MPa.

El Modelo 4500HH de GEOKON está diseñado para entornos de alta presión. Este modelo usa un accesorio de entrada de 7/16-20, hembra, de presión media, a 60 grados. La presión máxima para el 4500HH es de 100 MPa.

**¡Advertencia!** Todos los sensores de alta presión son potencialmente peligrosos. Debe tenerse cuidado de que no sobrepasen su rango de calibración. Los sensores son probados a un 150% de su rango para proporcionar un factor de seguridad.

## 4.6 CAJAS DE EMPALME Y CONEXIÓN

Debido a que la señal de salida de la cuerda vibrante es una frecuencia y no una corriente o voltaje, las variaciones en la resistencia del cable tienen muy poco efecto sobre las lecturas del medidor.

Por lo tanto, empalmar los cables no tiene efecto alguno y, en ciertos casos, de hecho puede ser conveniente. Por ejemplo, si se instalan varios piezómetros en un barreno y la distancia del barreno a la caja de bornes o registrador de datos es muy grande, puede hacerse un empalme (o caja de conexión) para conectar los cables individuales a un solo cable multiconductor. Este cable multiconductor podría después correrse hasta la estación de lectura. Para este tipo de instalaciones,

se recomienda que el piezómetro venga con cable suficiente para alcanzar la profundidad de la instalación, y cable adicional para pasar a través de equipos de perforación (tubos, varillas, etc.).

El cable usado para empalmes debe ser cable par trenzado de alta calidad, con blindaje del 100% y un hilo de drenaje reforzado integral. **Al hacer empalmes, es muy importante que los cables de drenaje blindados se empalmen juntos.** Los kits de empalme recomendados por GEOKON incorporan moldes que se posicionan alrededor del empalme y luego se rellenan con epoxi para impermeabilizar las conexiones. Cuando están bien hechos, este tipo de empalmes equivalen o son mejores que los cables en fuerza y propiedades eléctricas. Contáctese con GEOKON para obtener materiales para empalmes e instrucciones adicionales para el empalme de cables.

Las cajas de conexión y las cajas de bornes están disponibles en GEOKON para todo tipo de aplicaciones. También hay consolas de lectura portátiles y registradores de datos disponibles. Contáctese con GEOKON para obtener información específica sobre las aplicaciones.

## 4.7 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

En lugares expuestos, es muy importante proteger al piezómetro contra descargas de rayos. Un supresor de sobretensión tripolar de plasma, que protege contra picos de voltaje a través de los conductores de entrada, está integrado en el cuerpo del piezómetro (vea la Figura 1).

Otras medidas de protección contra rayos incluyen:

- La colocación de un tablero supresor de rayos (Modelo 4999-12L), alineado con el cable y lo más cerca posible del piezómetro instalado (vea la Figura 8). Estas unidades utilizan supresores de tensión y diodos transzorbs como protección adicional para el piezómetro. Este es el método recomendado de protección contra rayos.

- Las cajas de bornes disponibles en GEOKON pueden ordenarse con protección contra rayos integrada. El tablero de bornes usado para crear las conexiones del medidor cuenta con una forma para instalar supresores de sobretensión de plasma. También puede incorporarse tableros supresores de rayos (Modelo 4999-12L) a la caja de bornes. La caja de bornes debe contar con una conexión a tierra para que estos niveles de protección sean efectivos.

- Si la lectura del instrumento se va a hacer manualmente con un dispositivo de lectura portátil (no una caja de bornes), una forma sencilla de ayudar a proteger contra daños ocasionados por rayos es conectar los conductores del cable con conexión a tierra cuando no se estén usando. Esto ayudará a desviar las cargas pasajeras inducidas en el cable con conexión a tierra y lejos del instrumento.

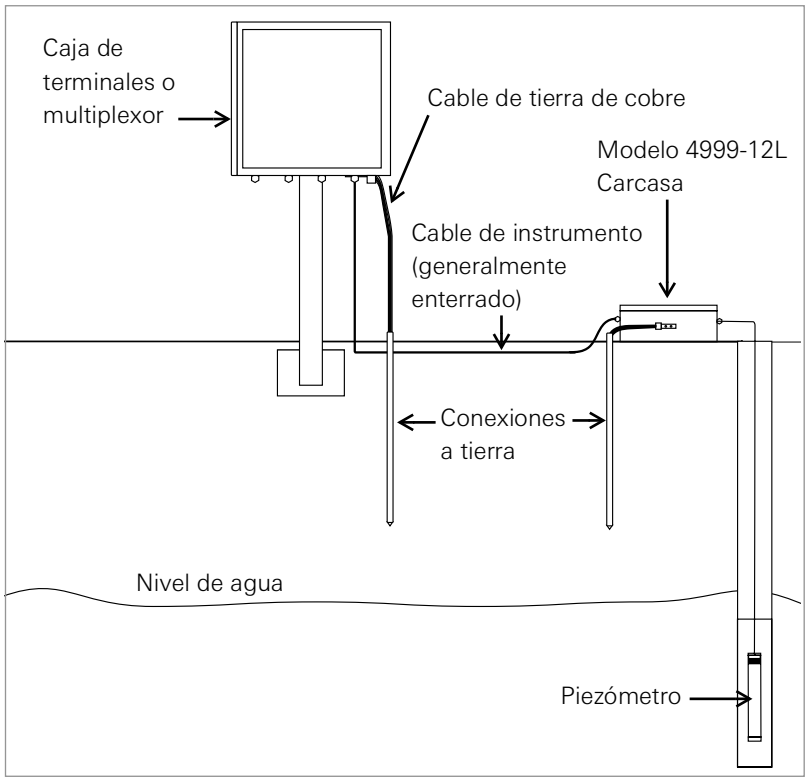


***FIGURA 8:*** *Esquema de protección contra rayos recomendado*

## 4.8 PROTECCIÓN CONTRA CONGELAMIENTO

El congelamiento del agua alrededor del piezómetro podría dañar el diafragma del piezómetro, provocando grandes cambios en la lectura cero. Si el piezómetro va a ser utilizado en lugares sujetos a congelación, GEOKON puede proporcionar una modificación especial que protegerá el diafragma del piezómetro (ver Sección 3.1).

# 5. TOMA DE LECTURAS

## 5.1 LECTURAS Y REGISTRADORES DE DATOS COMPATIBLES

GEOKON puede proporcionar varias opciones de lectura y registradores de datos. Los dispositivos compatibles con este producto se enumeran a continuación. Para más detalles e instrucciones consulte el(los) Manual(es) correspondiente(s) en geokon.com/Readouts y geokon.com/Dataloggers.

***LECTURAS DIGITALES:***

- **GK-404**

  La consola de lectura de cuerda vibrante Modelo GK-404 es una unidad portátil, de bajo uso de energía, capaz de operar durante 20 horas continuas con dos baterías AA. Está diseñada para las lecturas de todos los instrumentos de cuerda vibrante GEOKON y tiene la capacidad de mostrar las lecturas en dígitos, frecuencia (Hz), períodos (µs), o microdeformaciones (µε). El GK-404 muestra la temperatura del transductor (incorporado en el termistor) con una resolución de 0,1 °C.

- **GK-406**

  El modelo GK-406 es un dispositivo listo para el campo capaz de medir rápidamente un sensor, guardar datos y comunicar resultados con informes PDF y hojas de cálculo personalizados. Las mediciones están geolocalizadas con el GPS integrado, lo que permite al GK-406 verificar ubicaciones y guiar al usuario a las ubicaciones de los sensores. La gran pantalla a color y tecnología VSPECT™ crean confianza para obtener la mejor medición posible tanto en el campo como en la oficina.

***REGISTRADORES DE DATOS:***

- **Serie GeoNet**

  La serie GeoNet está diseñada para recopilar y transferir datos de instrumentos de alambre vibrante, RS-485 y analógicos. GeoNet ofrece una amplia gama de opciones de telemetría, incluyendo LoRa, celular, Wi-Fi, satélite y local. Los registradores pueden trabajar juntos para operar en una configuración de red, o ser utilizados por separado como unidades independientes. Los dispositivos GeoNet llegan de la fábrica listos para su implementación y pueden comenzar con la adquisición de datos en minutos.

  Los datos se transfieren a una plataforma de almacenamiento en la nube segura donde se pueden acceder a través de la OpenAPI de GEOKON. Software de visualización de datos líder en la industria, como el software gratuito geokon Agent, se puede utilizar con la OpenAPI para la visualización y generación de informes de datos. También están disponibles registradores de datos sin capacidades de red.

- **Serie 8600**

  El Registrador de datos MICRO-6000 está diseñado para realizar la lectura de una gran cantidad de instrumentos de cuerda vibrante GEOKON para diversas aplicaciones de recopilación de datos desatendidas mediante el uso de Multiplexores GEOKON Modelo 8032. El embalaje resistente a la intemperie permite instalar la unidad en entornos de campo donde prevalecen condiciones inhóspitas. La carcasa Nema 4X también dispone de un dispositivo de bloqueo para limitar el acceso al personal de campo responsable.

## 5.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURAS

Todos los instrumentos de cuerda vibrante GEOKON están equipados con un termistor para leer la temperatura. El termistor ofrece una salida de resistencia variable según cambia la temperatura. Los conductores blanco y verde del cable del instrumento generalmente se conectan con el termistor interno.

Las consolas de lectura GK-404 y GK-406 leerán el termistor y mostrarán la temperatura en grados centígrados.

### *CÓMO LEER LAS TEMPERATURAS USANDO UN OHMÍMETRO:*

Conecte un ohmímetro a los conductores verde y blanco del termistor que provienen del instrumento. Debido a que los cambios en la resistencia por temperatura son muy grandes, el efecto de la resistencia de los cables generalmente es insignificante. En el caso de los cables más largos, se puede aplicar una corrección, equivalente aproximadamente a 48,5Ω por km (14,7Ω por cada 1000 pies) a 20 °C. Multiplique estos factores por dos para contabilizar ambas direcciones.

Busque las temperaturas de la resistencia medida en el Apéndice B.

# 6. REDUCCIÓN DE DATOS

## 6.1 CÁLCULO DE DATOS

Las unidades básicas que utiliza GEOKON para la medición y reducción de datos de este sensor son dígitos. El cálculo de dígitos se basa en la siguiente ecuación:

$$\text{dígitos} = \frac{\text{Hz}^2}{1000} \quad \text{o} \quad \text{dígitos} = \left(\frac{1}{\text{Periodo}}\right)^2 \times 10^{-3}$$

***ECUACIÓN 1:*** *Cálculo de dígitos*

Tome en cuenta que en la ecuación anterior, el periodo se expresa en segundos; las consolas de lectura de GEOKON muestran microsegundos. Por ejemplo, un piezómetro con una lectura de 8000 dígitos corresponde a un periodo de 354 µs y una frecuencia de 2828 Hz.

En instalaciones típicas, el cálculo lineal es más que suficiente. Sin embargo, si se desea la máxima precisión, puede usarse el cálculo polinómico. Cabe señalar que cuando se monitorean los cambios en el nivel del agua, existe poca diferencia si se usa el coeficiente lineal o la expresión polinómica. Consulte la sección correspondiente a continuación.

### 6.1.1 CÁLCULO LINEAL

Para convertir dígitos a presión, se aplica la siguiente ecuación:

$$P = G(R_1 - R_0)$$

***ECUACIÓN 2:*** *Cálculo lineal de la presión*

Donde:
G = El factor del medidor que se encuentra en el reporte de calibración, normalmente expresado en kPa, MPa o psi por dígito.

$R_1$ = La lectura actual en dígitos.
$R_0$ = La lectura inicial del campo cero en dígitos.

***EJEMPLO:***

La lectura inicial ($R_0$) al momento de instalar el sensor es de 9082 dígitos. La lectura actual ($R_1$) es de 6749 dígitos. El factor de calibración (G) es de -0,1795. El cambio de presión es:

$$P = G(R_1 - R_0)$$

$$P = -(0,1795)(6749 - 9082)$$

$$P = 418,8 \text{ kPa}$$

Una presión creciente (positiva) indica un aumento de profundidad de 42,7 m (si se calcula para agua dulce) usando la conversión de unidades de ingeniería de la Sección 6.4.2.

### 6.1.2 CÁLCULO POLINÓMICO

Para convertir dígitos a presión usando la expresión polinómica, se aplica la siguiente ecuación:

$$P = AR_1^2 + BR_1 + C$$

***ECUACIÓN 3:*** *Cálculo polinómico de la presión*

Donde:
$R_1$ = La lectura actual en dígitos.
A, B = Los factores polinómicos del medidor que se encuentran en el reporte de calibración.
C = El factor polinómico del medidor que debe calcularse (ver abajo).

Para realizar el cálculo polinómico, primero debe calcularse el factor del medidor "C". Esto se hace usando la ecuación anterior, pero reemplazando "P" con un valor de cero y "$R_1$" con el valor de "$R_0$".

$$0 = AR_0^2 + BR_0 + C$$

***ECUACIÓN 4:*** *Cálculo del factor polinómico del medidor "C"*

Donde:
$R_0$ = La lectura inicial del campo cero en dígitos.
A, B = Los factores polinómicos del medidor que se encuentran en el reporte de calibración.

Si no hay una lectura cero de campo disponible, el valor de C puede calcularse usando la lectura de cero presión en el reporte de calibración.

El valor calculado de "C" puede usarse entonces en la Ecuación 3 para obtener el valor preciso de la presión (P).

***EJEMPLO:***

Los factores polinómicos del medidor dados en la calibración son:

A = -7,113E-07

B = –0,1694

La lectura inicial ($R_0$) al momento de instalar el sensor es de 9082 dígitos. La lectura actual ($R_1$) es de 6749 dígitos.

Primero, calcule C:

$$0 = AR_0^2 + BR_0 + C$$

$$0 = (-7,113\times10^{-07})(9082)^2 + (-(0,1694))(9082) + C$$

$$0 = -(1597,2) + C$$

$$C = 1597,2$$

El cambio de presión es:

$$P = AR_1^2 + BR_1 + C$$

$$P = (-7,113\times10^{-07})(6749)^2 + (-(0,1694))(6749) + 1597,2$$

$$P = 421,5 \text{ kPa}$$

Una presión creciente (positiva) indica un aumento de profundidad de 43 m (si se calcula para agua dulce) usando la conversión de unidades de ingeniería de la Sección 6.4.2.

## 6.2 CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA (SOLO SE REQUIERE EN TRANSDUCTORES NO VENTILADOS)

Dado a que el piezómetro estándar está herméticamente sellado, responde a cambios en la presión atmosférica. Podrían ser necesarias correcciones, en particular para los modelos sensibles y de baja presión. Por ejemplo, un cambio de 29 a 31 pulgadas de mercurio en la presión atmosférica resultaría en un error de aproximadamente 1 psi (o ≈ 2,3 pies si se está monitoreando el nivel del agua en un pozo). Se aconseja tomar y registrar la lectura de la presión atmosférica cada vez que se lea el piezómetro. Tener un barómetro en el lugar también permite monitorear los cambios atmosféricos para evaluar qué tanto podrían afectar la lectura. Para este propósito, también puede usarse un transductor de presión (piezómetro) separado que se mantenga fuera del agua.

Se realiza la siguiente ecuación de corrección atmosférica y, posteriormente, el resultado se resta del cálculo de la presión (Ecuación 2 o Ecuación 3):

$$P_B = (S_1 - S_0)F$$

***ECUACIÓN 5:*** *Corrección atmosférica*

Donde:

$S_1$ = El barómetro actual.

$S_0$ = El barómetro inicial cero de campo.

F = Factor de conversión

Si convirtió las unidades de ingeniería, recuerde aplicar la misma conversión a la corrección atmosférica calculada.

La presión atmosférica se registra normalmente en pulgadas de mercurio. El factor de conversión de pulgadas de mercurio a psi es de 0,491, y de pulgadas de mercurio a kPa es de 3,386. La Tabla 2 en la Sección 6.4.2 enumera otros factores de conversión comunes.

Se le debe advertir al usuario que este esquema de corrección asume condiciones ideales. Las condiciones no siempre son ideales. Por ejemplo, si el pozo está sellado, los efectos atmosféricos al nivel del piezómetro podrían ser mínimos o ser atenuados por los cambios reales en la superficie. Por consiguiente, podría haber errores al aplicar una corrección que no sea necesaria. En estos casos, GEOKON recomienda registrar de forma independiente los cambios en la presión atmosférica y correlacionar estos cambios con los cambios en la presión observados para llegar al factor de corrección.

Una alternativa para realizar las correcciones atmosféricas es usar piezómetros ventilados a la atmósfera (vea la Sección 6.3). Sin embargo, los piezómetros ventilados solo tienen sentido si se encuentran en un pozo o tubería abierta y al usuario solo le interesa el nivel del agua. Si el piezómetro está enterrado, no es seguro que el efecto completo del cambio atmosférico se sienta inmediatamente en el instrumento y lo más probable es que se atenúe o retrase, en cuyo caso un piezómetro ventilado aplicaría automáticamente una corrección demasiado grande, demasiado pronto.

## 6.3 PIEZÓMETROS VENTILADOS, MODELO 4500SV

***FIGURA 9:*** *Piezómetros ventilados*

El piezómetro ventilado Modelo 4500SV está diseñado para eliminar el efecto de los cambios en la presión atmosférica sobre las medidas del nivel de agua en pozos, depósitos y barrenos conectados directamente a la atmósfera. Son más adecuados para aplicaciones de monitoreo del nivel de agua y, por lo general, no están destinados a usarse para monitorear la presión de los poros.

El espacio dentro del transductor no está herméticamente sellado y evacuado, como en el piezómetro estándar Modelo 4500, en lugar de eso, está conectado a través de un tubo (integrado con el cable) a la atmósfera. Una cámara con cápsulas desecantes está adherida al extremo exterior de este tubo para evitar que la humedad entre a la cavidad del transductor. Se empalma un cable

azul de 2,5 pies de longitud al final del tubo, lo que permite una conexión estándar a un lector o registrador de datos según sea necesario. Los piezómetros ventilados requieren más mantenimiento que los no ventilados, ya que siempre existe el peligro de que la humedad entre en el transductor y lo arruine.

La instalación del piezómetro se realiza bajándolo hasta el nivel deseado dentro del pozo, depósito o barreno. Si se desea, el piezómetro puede colocarse dentro de una bolsa de tela llena de arena.

La cámara con cápsulas desecantes debe colocarse en una carcasa de algún tipo para que se mantenga seca. GEOKON puede proveer carcasas adecuadas a pedido.

Para mantener fresco el desecante durante el almacenamiento y transportación, el extremo de la cámara desecante se cierra por medio de un tornillo obturador antes de salir de la fábrica. **ESTE TORNILLO OBTURADOR DEBE RETIRARSE ANTES DE PONER EL PIEZÓMETRO A FUNCIONAR.**

Las cápsulas desecantes son azules cuando están frescas. Se volverán rosas gradualmente conforme absorban humedad. Cuando se hayan tornado color rosa claro, deberán ser reemplazadas. Contacte a GEOKON para solicitar cápsulas de repuesto.

## 6.4 CÁLCULOS OPCIONALES

### 6.4.1 CORRECCIÓN DE LA TEMPERATURA

Los materiales usados en la construcción de los piezómetros de cuerda vibrante GEOKON han sido cuidadosamente seleccionados para minimizar los efectos térmicos; sin embargo, la mayoría de las unidades todavía tienen un ligero coeficiente de temperatura. Consulte el reporte de calibración proporcionado con el instrumento para obtener el coeficiente para un piezómetro específico.

Dado que los piezómetros suelen instalarse en un entorno de temperatura tranquila y constante, normalmente no se requieren correcciones. Si este no es el caso para la instalación seleccionada, pueden hacerse correcciones usando el termistor interno para la medición de la temperatura. Se realiza la siguiente ecuación de corrección térmica y, posteriormente, el resultado se suma al cálculo de la presión (Ecuación 2 o Ecuación 3):

$$T_{Corrección} = K(T_1 - T_0)$$

***ECUACIÓN 6:*** *Corrección térmica para la presión*

Donde:
K = El factor térmico que se encuentra en el reporte de calibración, normalmente expresado en kPa, MPa o psi por °C.

$T_1$ = La lectura de temperatura actual en °C.
$T_0$ = La lectura de la temperatura inicial del campo en °C.

Si convirtió las unidades de ingeniería, recuerde aplicar la misma conversión a la corrección de la temperatura calculada.

Por ejemplo, si la temperatura inicial fue de 22 °C, la temperatura actual es de 15 °C y el factor térmico (K en el reporte de calibración) es de +0,1319 kPa por incremento de °C. La corrección de la temperatura es de +0,1319(15–22) = -0,92 kPa. Consulte el reporte de calibración proporcionado con el instrumento para obtener el factor térmico.

### 6.4.2 CONVERSIÓN DE UNIDADES DE INGENIERÍA

Para convertir a una unidad de ingeniería diferente, tome el resultado del cálculo de datos (después de haber completado los demás cálculos opcionales, si corresponde) y multiplíquelo por el multiplicador de conversión correspondiente de la Tabla 2.

| Desde / Hasta | psi | "$H_2O$ | '$H_2O$ | mm $H_2O$ | m $H_2O$ | "HG | mm HG | atm | mbar | bar | kPa | MPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **psi** | 1 | ,036127 | ,43275 | ,0014223 | 1,4223 | ,49116 | ,019337 | 14,696 | ,014503 | 14,5039 | ,14503 | 145,03 |
| **"$H_2O$** | 27,730 | 1 | 12 | ,039372 | 39,372 | 13,596 | ,53525 | 406,78 | ,40147 | 401,47 | 4,0147 | 4016,1 |
| **'$H_2O$** | 2,3108 | ,08333 | 1 | ,003281 | 3,281 | 1,133 | ,044604 | 33,8983 | ,033456 | 33,4558 | ,3346 | 334,6 |
| **mm $H_2O$** | 704,32 | 25,399 | 304,788 | 1 | 1000 | 345,32 | 13,595 | 10332 | 10,197 | 10197 | 101,97 | 101970 |
| **m $H_2O$** | ,70432 | ,025399 | ,304788 | ,001 | 1 | ,34532 | ,013595 | 10,332 | ,010197 | 10,197 | ,10197 | 101,97 |
| **"HG** | 2,036 | ,073552 | ,882624 | ,0028959 | 2,8959 | 1 | ,03937 | 29,920 | ,029529 | 29,529 | ,2953 | 295,3 |
| **mm HG** | 51,706 | 1,8683 | 22,4196 | ,073558 | 73,558 | 25,4 | 1 | 760 | ,75008 | 750,08 | 7,5008 | 7500,8 |
| **atm** | ,06805 | ,002458 | ,029499 | ,0000968 | ,0968 | ,03342 | ,001315 | 1 | ,000986 | ,98692 | ,009869 | 9,869 |
| **mbar** | 68,947 | 2,4908 | 29,8896 | ,098068 | 98,068 | 33,863 | 1,3332 | 1013,2 | 1 | 1000 | 10 | 10000 |
| **bar** | ,068947 | ,002490 | ,029889 | ,0000981 | ,098068 | ,033863 | ,001333 | 1,0132 | ,001 | 1 | ,01 | 10 |
| **kPa** | 6,8947 | ,24908 | 2,98896 | ,0098068 | 9,8068 | 3,3863 | ,13332 | 101,320 | ,1 | 100 | 1 | 1000 |
| **MPa** | ,006895 | ,000249 | ,002988 | ,0000098 | ,009807 | ,003386 | ,000133 | ,101320 | ,0001 | ,1 | ,001 | 1 |

***TABLA 2:*** *Factores de multiplicación para unidades de ingeniería*

**Nota:** Debido a los cambios en la gravedad específica con temperatura, los factores para mercurio y agua en la tabla anterior son aproximados.

## 6.5 FACTORES AMBIENTALES

Como el propósito de la instalación es monitorear las condiciones del sitio, siempre deberían observarse y registrarse los factores que pueden afectar estas condiciones. Algunos efectos aparentemente menores pueden tener una gran influencia en el comportamiento de la estructura objeto del monitoreo y podrían ser indicaciones tempranas de problemas potenciales. Algunos de estos factores incluyen, entre otros: detonaciones, lluvias, niveles de las mareas, niveles y secuencias de excavación y relleno, tráfico, cambios atmosféricos y de temperatura, cambios en el personal, actividades de construcción cercanas, cambios estacionales, etc.

# 7. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

El mantenimiento y la resolución de problemas del piezómetro de cuerda vibrante está restringido a revisiones periódicas de las conexiones del cable y el mantenimiento de las terminales. Los transductores están sellados y no hay partes que los usuarios puedan revisar o reparar. **Los medidores no deberán abrirse en el campo.**

En caso de que surjan dificultades, consulte la siguiente lista de problemas y posibles soluciones. Visite geokon.com/Technical-Support para obtener ayuda adicional para la resolución de problemas.

### *SÍNTOMA: LA RESISTENCIA DEL TERMISTOR ES DEMASIADO ALTA*

☐ Verifique si existe un circuito abierto. Revise todas las conexiones, terminales y enchufes. Si hay un corte en el cable, únalo siguiendo las instrucciones de la Sección 4.6.

### *SÍNTOMA: LA RESISTENCIA DEL TERMISTOR ES DEMASIADO BAJA*

☐ Verifique si existe un corto circuito. Revise todas las conexiones, terminales y enchufes. Si encuentra algún corto en el cable, únalo siguiendo las instrucciones de la Sección 4.6.

☐ Es posible que el agua haya penetrado en el interior del piezómetro. No hay solución.

### *SÍNTOMA: LA LECTURA DEL PIEZÓMETRO ES INESTABLE*

☐ Asegúrese de que el cable blindado de drenaje esté conectado a la pinza azul en los conductores sueltos.

☐ Aisle el dispositivo de lectura de la tierra colocándolo en una pieza de madera u otro aislante.

☐ Busque fuentes cercanas de ruido eléctrico como motores, generadores, antenas o cables de electricidad. Si es posible, aleje el cable del piezómetro de estas fuentes. Contacte a la fábrica para conocer el equipo de filtrado y blindaje disponible.

☐ El piezómetro puede haber sido dañado por un rango excesivo o una descarga eléctrica. Busque daños en el diafragma y carcasa.

☐ El cuerpo del piezómetro pudo haber hecho corto circuito con la carcasa. Verifique la resistencia entre el cable de drenaje reforzado y la carcasa del piezómetro. Si la resistencia es demasiado baja, los conductores del medidor pueden tener un corto.

### *SÍNTOMA: EL PIEZÓMETRO NO MUESTRA UNA LECTURA*

☐ Use la consola de lectura con otro medidor para asegurarse de que funciona correctamente.

☐ El piezómetro puede haber recibido un rango excesivo o una descarga eléctrica. Busque daños en el diafragma y carcasa.

☐ Revise la resistencia del cable conectando un ohmímetro en las cabezas del sensor. La resistencia es de aproximadamente 48,5Ω por km (14,7Ω por 1000 pies). Si la resistencia es demasiado alta o infinita, el cable probablemente está roto. Si la resistencia es demasiado baja, los conductores del medidor pueden tener un corto. Si existe algún corte o corto, únalo siguiendo las instrucciones de la Sección 4.6. Refiérase a la resistencia esperada para varias combinaciones de cables a continuación.

**Niveles de cabezas del sensor de cuerda vibrante**

Los valores de resistencia de la bobina roja/negra pueden variar según el modelo de medidor:

- Estándar: ≅180 Ω
- 4500C: ≅100 Ω

Verde/Blanco 3000 Ω a 25 °C

Cualquier otra combinación de cables tendrá como resultado una medición de resistencia infinita.

**Nota:** Las pruebas deben realizarse con un multímetro de calidad para mostrar con precisión las posibilidades de cortocircuitos. Los sensores deben desconectarse de otros equipos mientras se realizan pruebas de resistencia, esto incluye módulos de sobretensión, terminales, multiplexores y registradores de datos. Los dedos no pueden tocar los cables del multímetro ni los cables del sensor durante la prueba.

La Tabla 3 muestra la resistencia esperada para varias combinaciones de cables.

La Tabla 4 se proporciona para que el usuario la complete con la resistencia real encontrada.

| **Matriz de cabezas del sensor de cuerda vibrante: VALORES DE MUESTRA** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Rojo** | **Negro** | **Blanco** | **Verde** | **Protección** |
| **Rojo** | | | | | |
| **Negro** | **≅180 Ω** | | | | |
| **Blanco** | Infinito | Infinito | | | |
| **Verde** | Infinito | Infinito | **3000 Ω a 25°C** | | |
| **Protección** | Infinito | Infinito | Infinito | Infinito | |

***TABLA 3:*** *Resistencia de la muestra*

| **Matriz de cabezas del sensor de cuerda vibrante: NOMBRE DEL SENSOR/##** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Rojo** | **Negro** | **Blanco** | **Verde** | **Protección** |
| **Rojo** | | | | | |
| **Negro** | | | | | |
| **Blanco** | | | | | |
| **Verde** | | | | | |
| **Protección** | | | | | |

***TABLA 4:*** *Hoja de trabajo de la resistencia*

# APÉNDICE A. ESPECIFICACIONES

## A.1 ESPECIFICACIONES DEL MODELO 4500

| **Modelo** | **4500S** | **4500SH** | **4500SV** | **4500AL / ALV** | **4500B** | **4500BV** | **4500C** | **4500DP** | **4500HD** | **4500H**[1] | **4500HH**[1] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rangos disponibles[2] | 350, 700 kPa; 1, 2, 3 MPa | 350, 700 kPa; 1, 2, 3, 5, 7,5, 10, 20 MPa | 350, 700 kPa | 70, 170 kPa | 350, 700 kPa; 1, 2, 3 MPa | 350, 700 kPa; 2 MPa | 350, 700 kPa | 70, 170, 350, 700 kPa; 1, 2, 3 MPa | 70, 170, 350, 700 kPa; 1, 2, 3, 5, 7,5 MPa | 70, 170, 350, 700 kPa; 1, 2, 3 MPa | 5, 7.5, 10, 20, 35, 75, 100 MPa |
| Rango excesivo | 1,5 × Presión nominal | | | | | | | | | | |
| Resolución | 0,025% F.S. | | | | | | 0,05% F.S. | 0,025% F.S. | | | |
| Exactitud[3] | ±0,1% F.S. | | | | | | | | | | |
| Linealidad | < 0,5% F.S. (±0,1% F.S. opcional) | | | | | < 0,5% F.S. | < 0,5% F.S. (±0,1% F.S. opcional) | | | | |
| Rango de temperatura | -20 a + 80 °C | | | | | | | | | | |
| Coeficiente térmico | <0,05% F.S./°C | | | <0,1% F.S./°C | <0,05% F.S./°C | | | | | | |
| Desplazamiento del diafragma | < 0,001 $cm^3$ en F.S. | | | | | | | | | | |
| Rango de frecuencia | 1400-3500 Hz | | | | | | | | | | |
| Largo x Diámetro | 133 x 19,1 mm (5,25 x 0,75") | 194 x 25,4 mm (7,64 x 1") | 146 x 19,1 mm (5,75 x 0,75") | 133 x 25,4 mm (5,24 x 1") | 133 x 17,5 mm (5,24 x 0,69") | 133 x 17,5 mm (5,24 x 0,69") | 165 x 11 mm (6,50 x 0,43") | 187 x 33,3 mm (7,36 x 1,31")<br>Consulte la Sección A.1.1 para las dimensiones del Modelo 4500DPCT | 203 x 38,1 mm (8 x 1,5") | **70 y 170 kPa:** 140 x 32 mm (5,51 x 1,26")<br>**Todas las demás gamas:** 140 x 25,4 mm (5,51 x 1") | 143 x 25,4 mm (5,63 x 1") |
| Masa | 0,12 kg | 0,44 kg | 0,20 kg | 0,25 kg | 0,10 kg | 0,10 kg | 0,09 kg | 0,90 kg | 1,50 kg | 0,30 kg | 0,30 kg |

***TABLA 5:*** *Especificaciones del piezómetro de cuerda vibrante 4500*

**Nota:**

PSI = kPa × 0,14503, o MPa × 145,03. Los piezómetros con un rango de 350 kPa y superior son capaces de leer presiones negativas de hasta -100 kPa. Contacte con GEOKON para obtener más información.

[1] Todos los sensores de alta presión son potencialmente peligrosos y se debe tener cuidado de no sobrepasar su rango calibrado. Los sensores son probados a un 150% del rango para proporcionar un factor de seguridad.

[2] Otros rangos disponibles sobre pedido.

[3] Precisión establecida en condiciones de laboratorio.

### A.1.1 DIMENSIONES DEL MODELO 4500DPCT

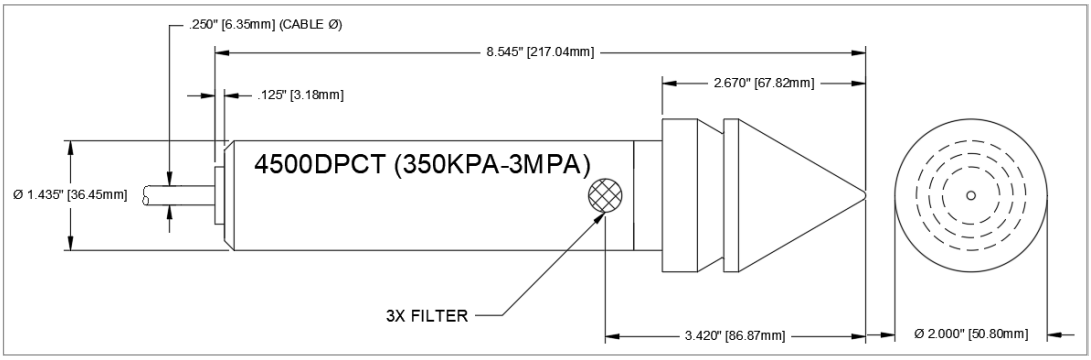


***FIGURA 10:*** *Dimensiones del Modelo 4500DPCT*

## A.2 ESPECIFICACIONES DE LOS 4500INCO Y 4500TI (SENSORES RESISTENTES A LA CORROSIÓN)

| Modelo | 4500INCO | 4500TI |
|---|---|---|
| Rangos disponibles[1] | 70, 170, 350, 700 kPa<br>1, 2, 3, 5, 7,5, 10, 20 MPa | 350, 700 kPa<br>1, 2, 3, 5, 7,5, 10 MPa |
| Rango excesivo | 1,5 × Presión nominal | |
| Resolución | 0,025% F.S. | |
| Exactitud[2] | 0,1% F.S. | |
| Linealidad | < 0,5% F.S. | |
| Rango de temperatura[3] | –20 a + 80 °C | |
| Coeficiente térmico | **70 y 170 kPa:**<br>< 0,1% F.S./°C<br>**Todas las demás gamas:**<br>< 0,05% F.S./°C | < 0,1% F.S./°C |
| Desplazamiento del diafragma | < 0,001 $cm^3$ en F.S. | |
| Rango de frecuencia | 1400-3500 Hz | |
| Largo x Diámetro | **70 y 170 kPa:**<br>133 x 25,4 mm (5,24 x 1")<br>**350 kPa a 5 MPa:**<br>133 x 19,1 mm (5,25 x 0,75")<br>**7.5 a 20 MPa:**<br>194 x 25,4 mm (7,64 x 1") | **350 kPa a 3 MPa:**<br>125 x 25,4 mm (4,92 x 1")<br>**5 a 10 MPa:**<br>168 x 25,4 mm (6,61 x 1") |
| Masa | **70 y 170 kPa:** 0,25 kg<br>**350 kPa a 5 MPa:** 0,12 kg<br>**7,5 a 20 MPa:** 0,44 kg | **350 kPa a 3 MPa:** 0,19 kg<br>**5 a 10 MPa:** 0,28 kg |

***TABLA 6:*** *Especificaciones de los piezómetros de cuerda vibrante resistentes a la corrosión 4500INCO y 4500TI*

**Nota:**

PSI = kPa × 0,14503, o MPa × 145,03. Los piezómetros con un rango de 350 kPa y superior son capaces de leer presiones negativas de hasta -100 kPa. Contacte con GEOKON para obtener más información.

[1] Otros rangos disponibles sobre pedido.

[2] Precisión establecida en condiciones de laboratorio.

[3] -40 a +80 °C con tipos de cables alternativos.

## A.3 TERMISTOR

(Ver Apéndice B también)

Rango: –80 a +150 °C

Exactitud: ±0,5 °C

## A.4 CABLEADO DEL PIEZÓMETRO ESTÁNDAR

| Pin | Función | Color del cable |
|---|---|---|
| A | Medidor de cuerda vibrante + | Rojo |
| B | Medidor de cuerda vibrante – | Negro |
| C | Termistor + | Blanco |
| D | Termistor – | Verde |
| E | Blindaje del cable | Blindaje |
| F-K | Sin uso | |

***TABLA 7:*** *Cableado del piezómetro estándar*

# APÉNDICE B. DERIVACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR

## B.1 RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 3KΩ

Los tipos de termistores incluyen YSI 44005, Dale #1C3001–B3, Alpha #13A3001–B3, y Honeywell 192–302LET–A01

Ecuación para obtener la resistencia a la temperatura:

$$T = \frac{1}{A + B(LnR) + C(LnR)^3} - 273,15$$

***ECUACIÓN 7:*** *Resistencia de termistor de 3KΩ*

Donde:
T = Temperatura en °C
LnR = Registro natural de la resistencia del termistor
A = 1,4051 x $10^{-3}$
B = 2,369 x $10^{-4}$
C = 1,019 x $10^{-7}$
**Nota:** Los coeficientes se calculan entre los –50 y los +150 °C.

| Ohmios | Temp | Ohmios | Temp | Ohmios | Temp | Ohmios | Temp | Ohmios | Temp |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 201,1K | -50 | 15,72K | -9 | 2221 | 32 | 474,7 | 73 | 137,2 | 114 |
| 187,3K | -49 | 14,90K | -8 | 2130 | 33 | 459,0 | 74 | 133,6 | 115 |
| 174,5K | -48 | 14,12K | -7 | 2042 | 34 | 444,0 | 75 | 130,0 | 116 |
| 162,7K | -47 | 13,39K | -6 | 1959 | 35 | 429,5 | 76 | 126,5 | 117 |
| 151,7K | -46 | 12,70K | -5 | 1880 | 36 | 415,6 | 77 | 123,2 | 118 |
| 141,6K | -45 | 12,05K | -4 | 1805 | 37 | 402,2 | 78 | 119,9 | 119 |
| 132,2K | -44 | 11,44K | -3 | 1733 | 38 | 389,3 | 79 | 116,8 | 120 |
| 123,5K | -43 | 10,86K | -2 | 1664 | 39 | 376,9 | 80 | 113,8 | 121 |
| 115,4K | -42 | 10,31K | -1 | 1598 | 40 | 364,9 | 81 | 110,8 | 122 |
| 107,9K | -41 | 9796 | 0 | 1535 | 41 | 353,4 | 82 | 107,9 | 123 |
| 101,0K | -40 | 9310 | 1 | 1475 | 42 | 342,2 | 83 | 105,2 | 124 |
| 94,48K | -39 | 8851 | 2 | 1418 | 43 | 331,5 | 84 | 102,5 | 125 |
| 88,46K | -38 | 8417 | 3 | 1363 | 44 | 321,2 | 85 | 99,9 | 126 |
| 82,87K | -37 | 8006 | 4 | 1310 | 45 | 311,3 | 86 | 97,3 | 127 |
| 77,66K | -36 | 7618 | 5 | 1260 | 46 | 301,7 | 87 | 94,9 | 128 |
| 72,81K | -35 | 7252 | 6 | 1212 | 47 | 292,4 | 88 | 92,5 | 129 |
| 68,30K | -34 | 6905 | 7 | 1167 | 48 | 283,5 | 89 | 90,2 | 130 |
| 64,09K | -33 | 6576 | 8 | 1123 | 49 | 274,9 | 90 | 87,9 | 131 |
| 60,17K | -32 | 6265 | 9 | 1081 | 50 | 266,6 | 91 | 85,7 | 132 |
| 56,51K | -31 | 5971 | 10 | 1040 | 51 | 258,6 | 92 | 83,6 | 133 |
| 53,10K | -30 | 5692 | 11 | 1002 | 52 | 250,9 | 93 | 81,6 | 134 |
| 49,91K | -29 | 5427 | 12 | 965,0 | 53 | 243,4 | 94 | 79,6 | 135 |
| 46,94K | -28 | 5177 | 13 | 929,6 | 54 | 236,2 | 95 | 77,6 | 136 |
| 44,16K | -27 | 4939 | 14 | 895,8 | 55 | 229,3 | 96 | 75,8 | 137 |
| 41,56K | -26 | 4714 | 15 | 863,3 | 56 | 222,6 | 97 | 73,9 | 138 |
| 39,13K | -25 | 4500 | 16 | 832,2 | 57 | 216,1 | 98 | 72,2 | 139 |
| 36,86K | -24 | 4297 | 17 | 802,3 | 58 | 209,8 | 99 | 70,4 | 140 |
| 34,73K | -23 | 4105 | 18 | 773,7 | 59 | 203,8 | 100 | 68,8 | 141 |
| 32,74K | -22 | 3922 | 19 | 746,3 | 60 | 197,9 | 101 | 67,1 | 142 |
| 30,87K | -21 | 3748 | 20 | 719,9 | 61 | 192,2 | 102 | 65,5 | 143 |
| 29,13K | -20 | 3583 | 21 | 694,7 | 62 | 186,8 | 103 | 64,0 | 144 |
| 27,49K | -19 | 3426 | 22 | 670,4 | 63 | 181,5 | 104 | 62,5 | 145 |
| 25,95K | -18 | 3277 | 23 | 647,1 | 64 | 176,4 | 105 | 61,1 | 146 |
| 24,51K | -17 | 3135 | 24 | 624,7 | 65 | 171,4 | 106 | 59,6 | 147 |
| 23,16K | -16 | 3000 | 25 | 603,3 | 66 | 166,7 | 107 | 58,3 | 148 |
| 21,89K | -15 | 2872 | 26 | 582,6 | 67 | 162,0 | 108 | 56,8 | 149 |
| 20,70K | -14 | 2750 | 27 | 562,8 | 68 | 157,6 | 109 | 55,6 | 150 |
| 19,58K | -13 | 2633 | 28 | 543,7 | 69 | 153,2 | 110 | | |
| 18,52K | -12 | 2523 | 29 | 525,4 | 70 | 149,0 | 111 | | |
| 17,53K | -11 | 2417 | 30 | 507,8 | 71 | 145,0 | 112 | | |
| 16,60K | -10 | 2317 | 31 | 490,9 | 72 | 141,1 | 113 | | |

***TABLA 8:*** *Resistencia de termistor de 3KΩ*

## B.2 RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 10KΩ

Tipo de termistor: US Sensor 103JL1A

Ecuación para obtener la resistencia a la temperatura:

$$T = \frac{1}{A + B(LnR) + C(LnR)^3 + D(LnR)^5} - 273,15$$

***ECUACIÓN 8:*** *Resistencia de termistor de 10kΩ*

Donde:
T = Temperatura en °C
LnR = Registro natural de la resistencia del termistor
A = 1,127670 x $10^{-3}$
B = 2,344442 x $10^{-4}$
C = 8,476921 x $10^{-8}$
D = 1,175122 x $10^{-11}$
**Nota:** Los coeficientes optimizados para un termistor curva J entre las temperaturas de 0 ºC y +250 ºC.

| Ohmios | Temp | Ohmios | Temp | Ohmios | Temp | Ohmios | Temp | Ohmios | Temp | Ohmios | Temp | Ohmios | Temp | Ohmios | Temp |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32.650 | 0 | 7.402 | 32 | 2.157 | 64 | 763,5 | 96 | 316,6 | 128 | 148,4 | 160 | 76,5 | 192 | 42,8 | 224 |
| 31.029 | 1 | 7.098 | 33 | 2.083 | 65 | 741,2 | 97 | 308,7 | 129 | 145,1 | 161 | 75,0 | 193 | 42,1 | 225 |
| 29.498 | 2 | 6.808 | 34 | 2.011 | 66 | 719,6 | 98 | 301,0 | 130 | 142,0 | 162 | 73,6 | 194 | 41,4 | 226 |
| 28.052 | 3 | 6.531 | 35 | 1.942 | 67 | 698,7 | 99 | 293,5 | 131 | 138,9 | 163 | 72,2 | 195 | 40,7 | 227 |
| 26.685 | 4 | 6.267 | 36 | 1.876 | 68 | 678,6 | 100 | 286,3 | 132 | 135,9 | 164 | 70,8 | 196 | 40,0 | 228 |
| 25.392 | 5 | 6.015 | 37 | 1.813 | 69 | 659,1 | 101 | 279,2 | 133 | 133,0 | 165 | 69,5 | 197 | 39,3 | 229 |
| 24.170 | 6 | 5.775 | 38 | 1.752 | 70 | 640,3 | 102 | 272,4 | 134 | 130,1 | 166 | 68,2 | 198 | 38,7 | 230 |
| 23.013 | 7 | 5.545 | 39 | 1.693 | 71 | 622,2 | 103 | 265,8 | 135 | 127,3 | 167 | 66,9 | 199 | 38,0 | 231 |
| 21.918 | 8 | 5.326 | 40 | 1.637 | 72 | 604,6 | 104 | 259,3 | 136 | 124,6 | 168 | 65,7 | 200 | 37,4 | 232 |
| 20.882 | 9 | 5.117 | 41 | 1.582 | 73 | 587,6 | 105 | 253,1 | 137 | 122,0 | 169 | 64,4 | 201 | 36,8 | 233 |
| 19.901 | 10 | 4.917 | 42 | 1.530 | 74 | 571,2 | 106 | 247,0 | 138 | 119,4 | 170 | 63,3 | 202 | 36,2 | 234 |
| 18.971 | 11 | 4.725 | 43 | 1.480 | 75 | 555,3 | 107 | 241,1 | 139 | 116,9 | 171 | 62,1 | 203 | 35,6 | 235 |
| 18.090 | 12 | 4.543 | 44 | 1.432 | 76 | 539,9 | 108 | 235,3 | 140 | 114,5 | 172 | 61,0 | 204 | 35,1 | 236 |
| 17.255 | 13 | 4.368 | 45 | 1.385 | 77 | 525,0 | 109 | 229,7 | 141 | 112,1 | 173 | 59,9 | 205 | 34,5 | 237 |
| 16.463 | 14 | 4.201 | 46 | 1.340 | 78 | 510,6 | 110 | 224,3 | 142 | 109,8 | 174 | 58,8 | 206 | 33,9 | 238 |
| 15.712 | 15 | 4.041 | 47 | 1.297 | 79 | 496,7 | 111 | 219,0 | 143 | 107,5 | 175 | 57,7 | 207 | 33,4 | 239 |
| 14.999 | 16 | 3.888 | 48 | 1.255 | 80 | 483,2 | 112 | 213,9 | 144 | 105,3 | 176 | 56,7 | 208 | 32,9 | 240 |
| 14.323 | 17 | 3.742 | 49 | 1.215 | 81 | 470,1 | 113 | 208,9 | 145 | 103,2 | 177 | 55,7 | 209 | 32,3 | 241 |
| 13.681 | 18 | 3.602 | 50 | 1.177 | 82 | 457,5 | 114 | 204,1 | 146 | 101,1 | 178 | 54,7 | 210 | 31,8 | 242 |
| 13.072 | 19 | 3.468 | 51 | 1.140 | 83 | 445,3 | 115 | 199,4 | 147 | 99,0 | 179 | 53,7 | 211 | 31,3 | 243 |
| 12.493 | 20 | 3.340 | 52 | 1.104 | 84 | 433,4 | 116 | 194,8 | 148 | 97,0 | 180 | 52,7 | 212 | 30,8 | 244 |
| 11.942 | 21 | 3.217 | 53 | 1.070 | 85 | 421,9 | 117 | 190,3 | 149 | 95,1 | 181 | 51,8 | 213 | 30,4 | 245 |
| 11.419 | 22 | 3.099 | 54 | 1.037 | 86 | 410,8 | 118 | 186,1 | 150 | 93,2 | 182 | 50,9 | 214 | 29,9 | 246 |
| 10.922 | 23 | 2.986 | 55 | 1.005 | 87 | 400,0 | 119 | 181,9 | 151 | 91,3 | 183 | 50,0 | 215 | 29,4 | 247 |
| 10.450 | 24 | 2.878 | 56 | 973,8 | 88 | 389,6 | 120 | 177,7 | 152 | 89,5 | 184 | 49,1 | 216 | 29,0 | 248 |
| 10.000 | 25 | 2.774 | 57 | 944,1 | 89 | 379,4 | 121 | 173,7 | 153 | 87,7 | 185 | 48,3 | 217 | 28,5 | 249 |
| 9.572 | 26 | 2.675 | 58 | 915,5 | 90 | 369,6 | 122 | 169,8 | 154 | 86,0 | 186 | 47,4 | 218 | 28,1 | 250 |
| 9.165 | 27 | 2.579 | 59 | 887,8 | 91 | 360,1 | 123 | 166,0 | 155 | 84,3 | 187 | 46,6 | 219 | | |
| 8.777 | 28 | 2.488 | 60 | 861,2 | 92 | 350,9 | 124 | 162,3 | 156 | 82,7 | 188 | 45,8 | 220 | | |
| 8.408 | 29 | 2.400 | 61 | 835,4 | 93 | 341,9 | 125 | 158,6 | 157 | 81,1 | 189 | 45,0 | 221 | | |
| 8.057 | 30 | 2.316 | 62 | 810,6 | 94 | 333,2 | 126 | 155,1 | 158 | 79,5 | 190 | 44,3 | 222 | | |
| 7.722 | 31 | 2.235 | 63 | 786,6 | 95 | 324,8 | 127 | 151,7 | 159 | 78,0 | 191 | 43,5 | 223 | | |

***TABLA 9:*** *Resistencia de termistor de 10kΩ*

# APÉNDICE C. REPORTE DE CALIBRACIÓN TÍPICO

GEOKON®

## Vibrating Wire Pressure Transducer Calibration Report

Model Number: 4500S-350 kPa

Date of Calibration: November 09, 2023

This calibration has been verified/validated as of 11/13/2023

Serial Number: 2317618

Temperature: 20.80 °C

Calibration Instruction: CI-Pressure Transducer (7 kPa~3.5 MPa)

Barometric Pressure: 990.5 mbar

Cable Length: 40 feet

Technician: Dean O. Cowdery

| Applied Pressure (kPa) | Gauge Reading 1st Cycle | Gauge Reading 2nd Cycle | Average Gauge Reading | Calculated Pressure (Linear) | Error Linear (%FS) | Calculated Pressure (Polynomial) | Error Polynomial (%FS) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 | 8888 | 8888 | 8888 | 0.467 | 0.13 | 0.008 | 0.00 |
| 70.0 | 8293 | 8293 | 8293 | 69.96 | -0.01 | 69.99 | 0.00 |
| 140.0 | 7696 | 7696 | 7696 | 139.7 | -0.07 | 140.0 | 0.01 |
| 210.0 | 7096 | 7097 | 7097 | 209.7 | -0.09 | 210.0 | -0.01 |
| 280.0 | 6494 | 6495 | 6495 | 280.0 | 0.00 | 280.1 | 0.01 |
| 350.0 | 5891 | 5892 | 5892 | 350.5 | 0.13 | 350.0 | -0.01 |

**(kPa) Linear Gauge Factor (G):** -0.1168 **(kPa/ digit)**

**Polynomial Gauge factors:** **A:** -3.415E-07 **B:** -0.1118 **C:**

**Thermal Factor (K):** -0.1028 **(kPa/ °C)**

**Calculate C by setting P=0 and $R_1$ = initial field zero reading into the polynomial equation**

**(psi) Linear Gauge Factor (G):** -0.01694 **(psi/ digit)**

**Polynomial Gauge Factors:** **A:** -4.953E-08 **B:** -0.01621 **C:**

**Thermal Factor (K):** -0.01491 **(psi/ °C)**

**Calculate C by setting P=0 and $R_1$ = initial field zero reading into the polynomial equation**

**Calculated Pressures:**

**Linear,** $P = G(R_1 - R_0) + K(T_1 - T_0) - (S_1 - S_0)^*$

**Polynomial,** $P = AR_1^2 + BR_1 + C + K(T_1 - T_0) - (S_1 - S_0)^*$

*Barometric pressures expressed in kPa or psi. Barometric compensation is not required with vented transducers.

**Factory Zero Reading:** 8894 **Temperature:** 21.6 °C **Barometer:** 990.5 mbar

The above instrument was found to be in tolerance in all operating ranges.
The above named instrument has been calibrated by comparison with standards traceable to the NIST, in compliance with ANSI Z540-1.

This report shall not be reproduced except in full without written permission of Geokon.

***FIGURA 11:*** *Reporte de calibración típico*

## APÉNDICE D. NIVEL DE AGUA Y PRESIÓN DEL PIEZÓMETRO

Al usar un medidor del nivel del agua para verificar el nivel del agua en un pozo abierto, con frecuencia ocurre que el nivel del agua, calculada con una lectura del piezómetro tomada en el fondo del pozo, no coincide con el nivel del agua medido directamente con el medidor del nivel del agua. Esto sucederá cuando la gravedad específica del agua no es de 1 gm/cc, cuando el agua es salada o turbia, o ambas. También ocurrirá cuando exista un flujo de agua hacia arriba o hacia abajo del barreno. Además, el piezómetro se retira para permitir la entrada del medidor del nivel del agua, el volumen del piezómetro y el cable desplaza un volumen igual de agua, lo que provoca cambios en el nivel del agua en un pozo de diámetro pequeño.

GEOKON
48 Spencer Street
Lebanon, New Hampshire
03766, USA

Teléfono: +1 (603) 448-1562
Email: teamsales@geokon.com
Sitio web: www.geokon.com

GEOKON
ies una compañía
**ISO 9001:2015** registrada