



El Líder Mundial en Tecnología de Cuerda Vibrante

48 Spencer Street
Lebanon, NH 03766, USA
Tel: 603•448•1562
Fax: 603•448•3216
E-mail: geokon@geokon.com
<http://www.geokon.com>

Manual de Instrucciones

Serie

Modelo 4500

Piezómetro de Cuerda Vibrante



No se puede reproducir ninguna parte de este manual de instrucciones por ningún medio sin el consentimiento por escrito de Geokon, Inc.

Se cree que la información aquí contenida es exacta y confiable. Sin embargo, Geokon, Inc. no asume ninguna responsabilidad por errores, omisiones o interpretación equivocada. Esta información está sujeta a cambios sin notificación.

Copyright © 1983, 1996, 2002, 2004, 2005, 2007, 2007, 2008, 2009 por Geokon, Inc.

(Doc Rev U 3/09)

Declaración de Garantía

Geokon, Inc. garantiza que sus productos están libres de defectos en cuanto a materiales y mano de obra, bajo uso normal y operación por un periodo de 13 meses a partir de la fecha de compra. En caso que la unidad no funcionara correctamente, debe regresarse a la fábrica para evaluación, con flete pre pagado. Después que Geokon la haya examinado, si se encuentra que la unidad está defectuosa, será reparada o reemplazada sin cargo alguno. Sin embargo, la GARANTIA es NULA si la unidad muestra evidencia de haber sido manipulada o muestra evidencia de que se dañó como resultado de excesiva corrosión o corriente, calor, humedad o vibración, especificación inapropiada, aplicación equivocada, mal uso u otras condiciones operativas fuera del control de Geokon. No están garantizados los componentes que se desgasten o se dañen por mal uso. Esto incluye fusibles y baterías.

Geokon manufactura instrumentos científicos cuyo uso inapropiado es potencialmente peligroso. Los instrumentos deberán ser instalados y usados solamente por personal calificado. No se ofrecen otras garantías aparte de las declaradas. No hay otras garantías, expresas o implícitas, incluyendo a manera enunciativa pero no limitativa las garantías implícitas de comerciabilidad e idoneidad para un propósito particular. Geokon, Inc. no es responsable por daños o pérdidas ocasionadas a otros equipos, ya sean directos, indirectos, incidentales, especiales o consecuenciales que el comprador pueda sufrir como resultado de la instalación o uso del producto. El único recurso del comprador por cualquier incumplimiento de este convenio por parte de Geokon, Inc. o por cualquier violación de cualquier garantía por parte de Geokon, Inc. no excederá el precio de compra pagado por el comprador a Geokon, Inc. por la unidad o unidades, o del equipo afectado directamente por dicha violación. Bajo ninguna circunstancia Geokon reembolsará al reclamante las pérdidas incurridas al retirar y/o reinstalar el equipo.

Se han tomado todas las precauciones en cuanto a exactitud en la preparación de manuales y/o software, sin embargo, Geokon, Inc. no asume responsabilidad alguna por omisiones o errores que puedan aparecer ni asume responsabilidad alguna por daños o pérdidas que resulten del uso de los productos de acuerdo con la información contenida en el manual o software.

INDICE

1. TEORIA DEL FUNCIONAMIENTO	1
2. INSTALACION	2
2.1 PRUEBAS PRELIMINARES	2
2.1.1 <i>Estableciendo una Lectura Inicial Cero</i>	3
2.1.2 <i>Verificando la Calibración</i>	4
2.2 INSTALACION EN TUBERIA O POZOS	4
2.3 INSTALACION EN BARRENOS.....	5
2.4 INSTALACION EN TERRAPLENES Y DIQUES	7
2.5 INSTALACION POR EMPUJE O PENETRACION EN SUELOS BLANDOS	8
2.6 BOQUILLAS DESAIREADORAS DEL FILTRO	9
2.6.1 <i>Filtro de Baja Admisión de Aire, Modelo 4500S y 4500PN</i>	9
2.6.2 <i>Filtro Desmontable de Cerámica, Modelo 4500S</i>	10
2.6.3 <i>Modelo 4500DP</i>	11
2.7 TRANSDUCTOR MODELO 4500H	11
2.8 CAJAS DE EMPALME Y CONEXIÓN	11
2.9 PROTECCION CONTRA RAYOS	12
3. TOMA DE LECTURAS	13
3.1 OPERACIÓN DE LA CONSOLA DE LECTURA GK-401	13
3.2 OPERACIÓN DE LA CAJA CONSOLA DE LECTURA GK-403	14
3.3 OPERACIÓN DE LA LECTORA MANUAL GK-404	14
3.4 MEDICION DE TEMPERATURAS	14
4. REDUCCION DE DATOS	15
4.1 CALCULO DE LA PRESION	15
4.2 CORRECCION DE LA TEMPERATURA	16
4.3 CORRECCION BAROMETRICA (REQUERIDA SOLO EN TRANSDUCTORES NO VENTeados).....	17
4.3.1 <i>Piezómetros venteados</i>	18
4.4 FACTORES AMBIENTALES	18
5. RESOLUCION DE PROBLEMAS	18
APENDICE A - ESPECIFICACIONES	20
APENDICE B - DERIVACION DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR A LA TEMPERATURA ESTÁNDAR	21
APENDICE C - NOTAS CON RESPECTO AL MODELO 4500 C	23
APENDICE D - NO LINEALIDAD Y EL USO DE POLINOMIO DE SEGUNDO GRADO PARA MEJORAR LA EXACTITUD DE LA PRESION CALCULADA	24
NOTA: SI SE USA LA ECUACION POLINOMICA ES IMPORTANTE QUE LOS VALORES DE C, EN LA ECUACION POLINOMICA, SE TOMEN EN EL CAMPO, SIGUIENDO LOS PROCEDIMIENTOS DESCRITOS EN LA SECCIÓN 2.1.1. EL VALOR DE CAMPO DE C SE CALCULA INSERTANDO LA LECTURA CERO INICIAL EN LA ECUACION POLINOMICA CON LA PRESION P, AJUSTADA A CERO.....	24
APENDICE E - INSTRUCCIONES RAPIDAS PARA INSTALAR UN PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE	26
APENDICE F - PIEZOMETRO MODELO 4500AR	27

LISTA DE FIGURAS, TABLAS Y ECUACIONES
--

FIGURA 1-1 PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE	1
FIGURA 2-1 HOJA DE EJEMPLO DE CALIBRACION	2
FIGURA 2-2 INSTALACIONES DE MONITOREO DE NIVEL TIPICO	5
FIGURA 2-3 INSTALACIONES TIPICAS EN BARRENOS	6
TABLA 1 - MUESTRA LAS RELACIONES DE CEMENTO/BENTONITA/GUA PARA DOS MEZCLAS DE LECHADA DE CEMENTO.....	7
FIGURA 2-4 INSTALACIONES TIPICAS EN PRESAS	8
FIGURA 2-5 INSTALACION TIPICA EN SUELOS BLANDOS.....	9
FIGURA 2-6 INSTALACION TIPICA DE PIEZOMETROS MULTIPLES.....	12
FIGURA 2-7 ESQUEMA RECOMENDADO PARA PROTECCION CONTRA RAYOS	13
ECUACION 4-1 CALCULO DE DIGITOS	15
ECUACION 4-2 CONVERSION DE DIGITOS A PRESION.....	15
TABLA 4-1 - FACTORES DE MULTIPLICACION DE UNIDADES DE INGENIERIA.....	16
ECUACION 4-3 - CORRECCION DE LA TEMPERATURA.....	16
ECUACION 4-4 - CORRECCION BAROMETRICA.....	17
ECUACION 4-5 - CALCULO DE LA PRESION CORREGIDA	17
TABLA A-1 ESPECIFICACIONES DEL PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE.....	20
TABLA B-1 - TEMPERATURA ESTÁNDAR DE LA RESISTENCIA DEL TERMISTOR VERSUS TEMPERATURA.....	21
TABLA B-2 - ALTA TEMPERATURA. TEMPERATURA VS. RESISTENCIA DEL TERMISTOR	22

Los datos de calibración se proporcionan con cada piezómetro para la conversión de lecturas de medición a unidades de ingeniería como la presión o nivel. Ver la Sección 4.

2. INSTALACION

(Para Instrucciones de Instalación Rápida ver el Apéndice E)

2.1 Pruebas Preliminares

Cuando reciba el piezómetro se debe verificar que la lectura esté en cero y anotada (ver las Secciones 3.1 a la 3.3 para instrucciones de lectura de salida). Dentro del cuerpo del piezómetro se incluye un termistor (Figura 1-1) para la medición de la temperatura (ver la Sección 3.4 para instrucciones).

Se incluyen los datos de calibración que se proporcionan con cada medidor y una lectura cero, a una temperatura y presión atmosférica específica. Las lecturas cero en el sitio deben coincidir con las lecturas de fábrica contenidos en los 20 dígitos después de efectuar las correcciones atmosféricas y de temperatura. La elevación de fábrica es +580 pies. Antes del 21 de marzo de 1995 las lecturas de la presión atmosférica de la fábrica se corrigieron para estar al nivel del mar; las lecturas después de esta fecha representan la presión absoluta, (la presión atmosférica cambia con respecto a la elevación a una tasa de $\approx 1/2$ psi por 1,000 pies). Ver la Figura 2-1, hoja de muestra de calibraciones.

GEOKON								
Calibración del Transductor de Presión de Cuerda Vibrante								
Modelo Número: <u>4500S-100</u>			Rango de Presión: <u>100 psi</u>					
Número de Serie: <u>48056</u>			Número de Fabr.: <u>8-3275</u>					
Cliente: _____			Temperatura: <u>21.1°C</u>					
ID del Cliente #: <u>n/a</u>			Presión Barométrica: <u>998.1 mbar</u>					
Trabajo Número: <u>13053</u>			Fecha: <u>Nov. 7, 1998</u>					
Control Estándar de Calidad <u>183,468</u>			Técnico: (Firma)					
Presión (psi)	Lectura 1er Ciclo	Presión (psi)	Lectura 2º Ciclo	Presión Promedio	Lectura Promedio	Cambio	Linealidad (%FS)	Ajuste Polinómico (%FS)
0	9136	0	9141	0	9139		0.18	-0.04
20	8453	20	8456	20	8455	684	0.03	0.08
40	7772	40	7774	40	7773	682	-0.19	-0.01
60	7085	60	7083	60	7084	689	-0.19	-0.01
80	6392	80	6390	80	6391	693	-0.08	-0.03
100	5694	100	5687	100	5691	701	0.25	0.03
Factor Lineal del Medidor (G): <u>0.029021</u> (psi/digito)			Regresión Cero: <u>9145</u>					
Factores Polinómicos del Medidor: A: <u>-1.40E-07</u>			B: <u>-0.026943</u>			C:* <u>257.8826</u>		
Factor Térmico: (K): <u>-0.004326</u> (psi/°C)								
Presiones Calculadas: Lineal, $P = G(R_0 - R_1) + K(T_1 - T_0) - (S_1 - S_0)$**								
Polinomio, $P = AR_1^2 + BR_1 + C + K(T_1 - T_0) - S_1 - S_0$**								
** No se requiere compensación barométrica con el transductor con ventilación								
Lectura Cero de Fábrica:								
GK-401 Pos. B o F(R ₀): <u>9128</u>			Temp(T ₀): <u>21.8</u> °C			Baro(S ₀): <u>1001.4 mbar</u> Fecha: <u>En. 27, 1997</u>		
*Se le aconseja al usuario establecer las condiciones cero en el campo registrando la lectura a una temperatura y presión barométrica conocidos								
Código de Cableado: Rojo y Negro: Medidor			Blanco y Verde: Termistor			Neutro: Blindaje		
El instrumento antes mencionado se ha calibrado mediante comparación con los estándares del Inst. de Estándares y Tec. (NIST) en cumplimiento con ANSI 2540-1								

Figura 2-1 Ejemplo de Hoja de Calibración

2.1.1 Estableciendo una Lectura Inicial Cero

Los Piezómetros de Cuerda Vibrante difieren de otros tipos de sensores de presión en que indican una lectura a cero presión. Por lo tanto es imperativo que se obtenga una lectura inicial de cero presión para cada piezómetro, ya que esta lectura se usará en toda reducción de datos posteriores.

Hay diferentes maneras de hacer esto, pero el elemento esencial en todos los métodos es que se permita que el piezómetro se estabilice térmicamente en una temperatura ambiente constante, en tanto que la presión en el piezómetro es solamente atmosférica. Debido a la manera en que el piezómetro está construido, la temperatura de todos los elementos diferentes tarda aproximadamente de 5 a 15 minutos en ecualizarse.

Es necesario medir la presión atmosférica solamente si el piezómetro es no venteado y si se va a instalar en un lugar que esté sujeto a cambios en la presión atmosférica que requieran correcciones, como en un pozo abierto. *Un piezómetro sellado en el sitio a profundidad podría estar registrando presiones en agua subterránea sin conexión hidráulica a la atmósfera y para lo cual una compensación de la presión atmosférica sería inapropiada.*

La manera recomendada para lograr una estabilidad de la temperatura es colgar el piezómetro en el barreno en un punto justo arriba del agua y esperar hasta que la lectura haya dejado de cambiar. Ahora tome la lectura cero y lea la temperatura indicada por el termistor que se encuentra dentro del piezómetro.

Otra manera es colocar el piezómetro bajo agua en una cubeta y dejar pasar 5 a 15 minutos para que la temperatura se estabilice, después levante el piezómetro del agua e inmediatamente tome la lectura. Al hacer eso, levante el piezómetro solamente por el cable, no toque la carcasa del piezómetro ya que el calor corporal de la mano podría ocasionar transiciones en la temperatura. Use el termistor dentro del piezómetro para medir la temperatura del agua

Otra manera es simplemente leer el piezómetro cuando está al aire mientras se asegura que la temperatura ha tenido tiempo de estabilizarse. Si opta por este método asegúrese que el piezómetro esté protegido de la luz solar o de cambios súbitos de temperatura. Se recomienda envolverlo con algún tipo de material aislante.

Todavía otra manera es bajar el piezómetro a una profundidad conocida marcada en el cable del piezómetro. (El diafragma dentro del piezómetro está ubicado aproximadamente a $\frac{3}{4}$ de pulgada (15mm), de la punta. Posteriormente utilice una cinta para medir la profundidad del nivel del agua. Ahora, después de que la temperatura esté estable, lea la presión del piezómetro y usando los factores constantes de fábrica para la calibración y un conocimiento de la presión (altura x densidad) de la columna de agua arriba del piezómetro, calcule ya sea la lectura cero equivalente de la presión, si se usa la regresión lineal, o el factor C, si se usa un polinomio de segundo grado.

Puede que se pregunte qué hacer con la piedra del filtro mientras se toman las lecturas cero. Si se está usando un filtro estándar de acero inoxidable, no importará si la piedra del filtro está saturada o no. Pero si se usa una piedra para filtro de cerámica de gran admisión de aire, entonces debe estar saturada mientras se toman las lecturas cero y no se debe permitir que se seque al extremo de que las consecuencias de la tensión de la superficie puedan afectar la lectura cero.

Precaución. - no permita que el piezómetro se congele una vez que se ha llenado de agua.

2.1.2 Verificando la Calibración

Se recomienda el siguiente procedimiento para verificar el factor de calibración de la manera que se proporciona en la hoja de calibración (Figura 2-1). Debe tener en mente que el piezómetro mide la presión del agua y que la conversión a un nivel de agua requiere un conocimiento exacto de la densidad del agua.

1. El mejor método es retirar la cubierta y la piedra del filtro de la punta del piezómetro, para lograrlo jale el anillo estriado. Como alternativa, sature la piedra del filtro y llene el espacio entre éste y el diafragma con agua (Sección 2.6).
2. Baje el piezómetro a un punto cercano al fondo del pozo lleno de agua del barreno, o debajo de la superficie de un cuerpo de agua. Es muy aconsejable usar un medidor sumergible para medir la profundidad efectiva del agua en el barreno.
3. Deje que pasen 15-20 minutos para que el piezómetro llegue a un equilibrio térmico. Usando una consola de lectura registre la lectura a ese nivel.
4. Levante el piezómetro en incrementos de profundidad conocidos. Registre la lectura de presión en cada incremento de profundidad. Calcule el factor de calibración in situ y compárelo en la hoja de calibración. Los dos valores deben estar de acuerdo dentro de $\pm 0.5\%$. Repita la prueba si es necesario.

Hay un par de cosas que pueden afectar la calibración in situ

- La densidad del agua en el sitio puede que no sea 1 gm/cc si es salina o turbia. Si este es el caso, se debe ajustar el factor de calibración de fábrica para que tome en cuenta la densidad efectiva del agua.
- **El nivel del agua dentro del barreno puede variar durante la prueba debido al desplazamiento del nivel del agua en lo que se levanta el cable y se baja en el barreno.** Este efecto será mayor cuando el diámetro del barreno es menor. Por ejemplo, un piezómetro Modelo 4500S-50 que se baja 50 pies/15.24 m debajo de la columna de agua en un tubo de 1 pulgada/2.54 cm (.875 pulgadas/2.2225 cm de diámetro interno) desplazará el nivel del agua ¡en más de 4 pies/10.16 cm! Si está disponible una cinta sumergible se debe usar para confirmar los niveles del agua en cada incremento de profundidad.

2.2 Instalación de Tubos o Pozos

- Primero se establece una lectura cero (siga los procedimientos resumidos en la Sección 2.1.1). La piedra del filtro está saturada (siga los procedimientos de la Sección 2.6). Cuando el piezómetro ha llegado a la profundidad deseada, haga una marca en el cable que estará opuesto a la parte superior del tubo de alimentación (pozo). (El diafragma del piezómetro está a $\frac{3}{4}$ de pulgada arriba de la punta del piezómetro).

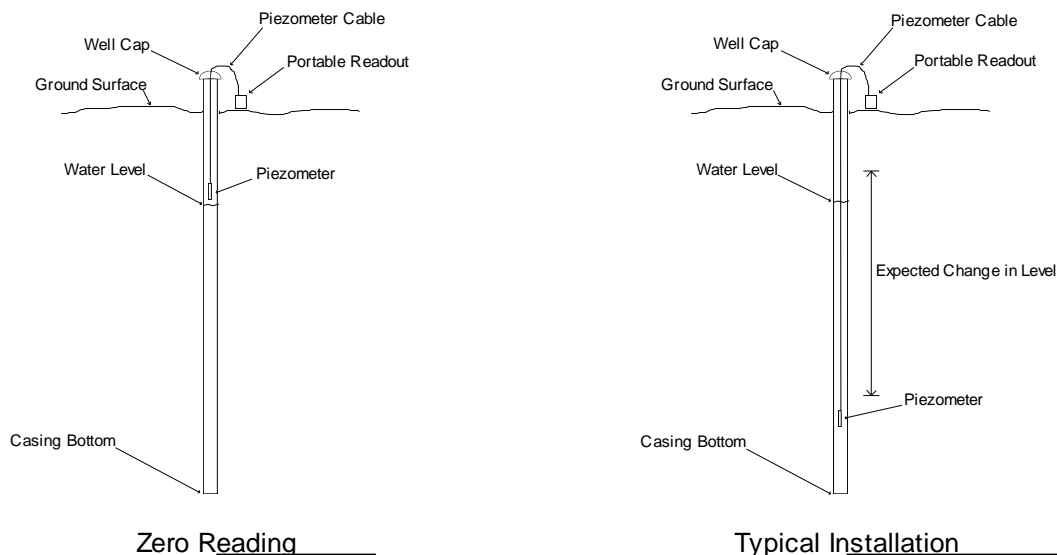


Figura 2-2 Instalaciones Típicas de Monitoreo de Nivel

Asegúrese que el cable está firmemente sujeto en la parte superior del pozo o podría haber error en las lecturas debido al deslizamiento del piezómetro en el pozo.

No se recomienda que se instalen los piezómetros en pozos o ductos donde esté presente una bomba eléctrica y/o el cable esté cerca. La interferencia eléctrica de estas fuentes puede ocasionar lecturas inestables. Si se puede evitar, se recomienda que el piezómetro se coloque dentro de una pieza de tubo de acero.

En situaciones donde se usan recubrimientos en tuberías se debe anotar la misma secuencia anterior y se debe tener cuidado especial para evitar que el recubrimiento corte el forro del cable ya que esto podría presentar una posible fisura para que posteriormente se presente una fuga.

2.3 Instalación en Barrenos.

Los piezómetros Geokon se pueden instalar en barrenos ya sea en forma simple o múltiple por barreno, con tubo de ademe ó sin él ver la Figura 2-3. Se debe prestar atención especial a las técnicas de sellado en los barrenos si se va a monitorear las presiones de poro en una zona particular.

Los barrenos se deben perforar sin lodo o con un material que se degrade rápidamente con el tiempo, como Revert™. El barreno se debe extender desde 6 pulgadas/15.24 cm hasta 12 pulgadas/30.48 cm debajo del lugar propuesto para el piezómetro y se debe limpiar de los residuos de la perforación. Después se debe rellenar el fondo del barreno con arena fina y limpia hasta que cubra 6 pulgadas/15 cm debajo de la punta del piezómetro. El piezómetro entonces se puede bajar, como se entregó, a su

posición. De preferencia, el piezómetro puede estar encapsulado en una bolsa de tela de lona que contenga arena limpia, saturada y entonces se podrá bajar a su posición.

Mientras que se sostiene el instrumento en posición (una marca en el cable sirve de ayuda) se debe colocar arena limpia alrededor del piezómetro hasta que cubra 6 pulgadas/15cm encima de él. La Figura 2-3 detalla dos métodos de aislar la zona que se va a monitorear.

Instalación A

Inmediatamente arriba de la “zona de registro” se debe sellar el barreno con capas alternantes de bentonita y relleno de arena apisonada aproximadamente 1 pie/30cm y enseguida realizar un relleno común o una mezcla impermeable de lechada con bentonita y cemento. Se si van a usar múltiples piezómetros en un barreno los tapones de bentonita-arena se deben apisonar debajo y encima de los piezómetros superiores y también a intervalos entre las zonas de los piezómetros. Cuando se diseñan y usan herramientas para apisonar se debe tener especial cuidado para asegurarse que las cubiertas de los cables de los piezómetros no se corten durante la instalación.

Instalación B

Inmediatamente arriba de la “zona de registro” se debe llenar el barreno con una lechada impermeable de bentonita.

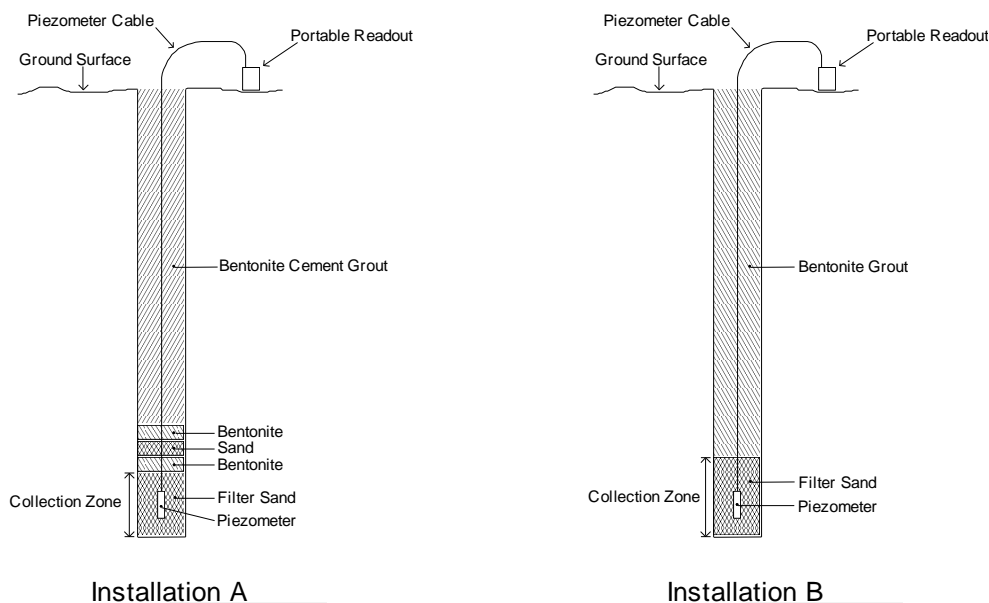


Figura 2-3 Instalaciones Típicas en Barrenos

Instalación C

Se debe tomar nota que debido a que el piezómetro de cuerda vibrante es básicamente un instrumento de no flujo, no se requieren zonas de registro de tamaño apreciable y el piezómetro, de hecho, puede colocarse directamente en contacto con la mayoría de los materiales siempre que las partículas finas o polvos con partículas menores no puedan migrar a través del filtro. La más reciente opinión (*Mikkelson*

AND Green, *Piezómetros en barrenos Totalmente Lechadeados. Procedimientos de FMGM 2003, Mediciones de Campo en Geomecánica, Oslo, Noruega, Sep. 2003. Contacte a Geokon si quiere una copia de este estudio*) menciona que no es necesario proveer zonas de arena y que al piezómetro se le puede lechadear directamente en el barreno usando solamente una lechada de bentonita-cemento.

La regla general para instalar piezómetros de esta manera es usar una lechada de bentonita que imite la resistencia del suelo circundante. El cuidado debe estar en controlar la proporción de agua-cemento. Esto se logra **mezclando primero el cemento con agua**. La manera más efectiva de hacer la mezcla en un tambo de 200 o 800 litros o tubo usando la bomba para perforadora para circular la mezcla. Se puede usar cualquier clase de polvo de bentonita para hacer el lodo para sondeos, combinado con el cemento Portland Tipo 1 o 2. La cantidad exacta de bentonita añadida variará algo. La siguiente tabla muestra 2 mezclas posibles para resistencias de 50 psi y 4 psi.

Añada la cantidad medida de agua limpia al tambo y añada gradualmente el cemento en la relación de peso correcta. A continuación añada el polvo de bentonita poco a poco para que no se formen grumos. Siga añadiendo la bentonita hasta que la mezcla llegue a una consistencia aceitosa/viscosa. Deje que la mezcla espese otros cinco o diez minutos. Añada más bentonita según sea necesario hasta que tome la forma de una pasta suave y cremosa como la de los hot cakes. Ahora está pesada y es viable de ser bombeada. Cuando bombee la lechada retire el embudo/tubo, a menos que se vaya a dejar, después de cada tanda, en una cantidad correspondiendo al nivel de lechada en el barreno.

Aplicación	Lechada para Suelos Medianos a Duros		Lechada para Suelos Suaves	
	Peso	Proporción por Peso	Peso	Proporción por Peso
Agua	30 galones	2.5	75 galones	6.6
Cemento Portland	94 lbs. (1 saco)	1	94 lbs. (1 saco)	1
Bentonita	25 lbs. (según se requiera)	0.3	39 lbs. (según se requiera)	0.4
Notas	La resistencia a la compresión a los 28 días de esta mezcla es aproximadamente 50 psi, similar a la arcilla de muy tiesa a dura. El coeficiente es aprox. 10,000 psi		La resistencia a la compresión a los 28 días de esta mezcla es aproximadamente 4 psi, similar a una arcilla muy suave.	

Tabla1 - Muestra las proporciones de Cemento/bentonita/agua para dos mezclas de lechada.

(Para más detalles sobre este método de instalación pida una copia del estudio FMGM)

2.4 Instalación en Terraplenes y Diques

Los piezómetros Geokon normalmente se proporcionan con un cable adecuado para enterrarse directamente para su colocación como en terraplenes de carreteras y diques, tanto en los materiales base como en los circundantes.

En instalaciones en materiales de relleno no cohesivos, el piezómetro se puede colocar directamente en el terreno o, si se trata de mayores conglomerados, en una bolsa saturada de arena en el relleno. Si se instala en grandes conglomerados, pueden ser necesarias medidas adicionales para proteger al cable de daños.

En terraplenes tales como, corazones impermeables en la cortina de una presa en donde se puede requerir que se mida la presión subatmosférica del agua intersticial (en contraposición a la presión atmosférica intersticial) a menudo se usa una boquilla de cerámica con un alto valor de admisión de aire, la cual se debe colocar cuidadosamente en contacto directo con el material de relleno compactado (ver Instalación A de la Figura 2-4). En terraplenes parcialmente saturados si solamente se va a medir la presión de poro, la boquilla estándar es satisfactoria. Se debe notar que la boquilla gruesa mide la presión atmosférica cuando existe una diferencia entre la presión atmosférica intersticial y la presión del agua intersticial, y que la diferencia entre las dos presiones se debe a la succión capilar en el suelo. El consenso general es que la diferencia normalmente no es de consecuencia para la estabilidad del dique. Como regla general la boquilla gruesa (baja admisión de aire) es adecuada para las mediciones más rutinarias, y en suelos cohesivos finos no se deben usar bolsas de arena alrededor de la punta del piezómetro (ver Instalación B de la Figura 2-4). En áreas de gran tráfico y en material que presenta una “ondulación” pronunciada, se debe usar un cable blindado de alta resistencia.

Normalmente los cables se instalan dentro de zanjas poco profundas con el material de relleno que consiste de un conglomerado de menor tamaño. Este relleno se compacta manualmente alrededor del cable. Se colocan tapones de bentonita a intervalos regulares para evitar la migración del agua alrededor de la ruta del cable.

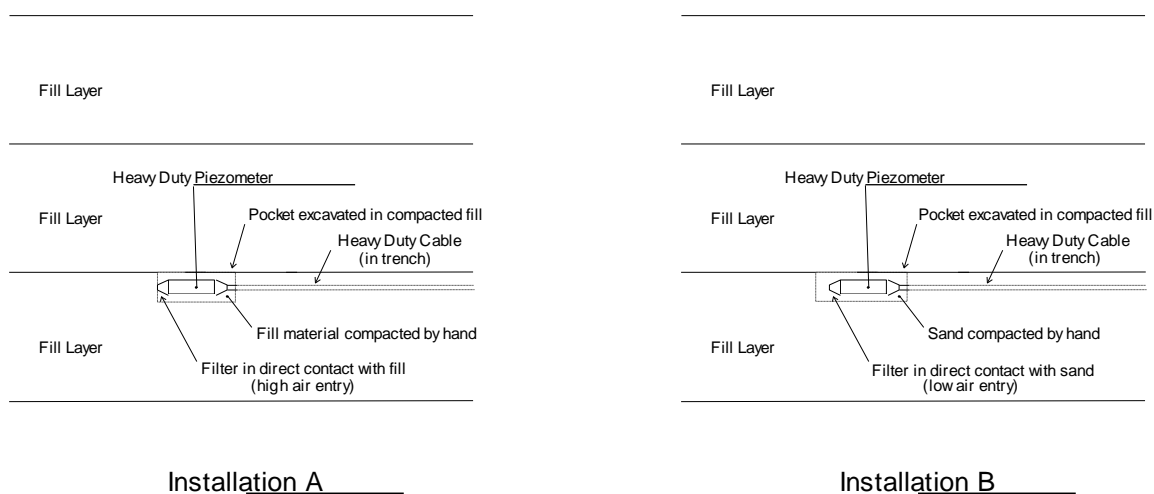


Figura 2-4 Instalaciones Típicas en Diques

2.5 Instalación por Empuje o Penetración en Suelos Blandos

El piezómetro Modelo 4500DP está diseñado para que penetre en suelos blandos. Ver la Figura 2-5. La unidad se conecta directamente a la varilla de perforación (AW, EW u otra) y se presiona en la tierra ya sea manualmente o por medio de una perforadora hidráulica. Las unidades también se pueden impulsar aunque existe la posibilidad de un desvío a cero debido a las fuerzas directrices existentes.

El piezómetro se debe conectar a una consola de lectura y monitorear mientras se inicia el proceso de impulsión. Si las presiones de presión alcanzan o exceden el rango de calibración, la impulsión debe de suspenderse y dejar que se disipe la presión permitida antes de continuar.

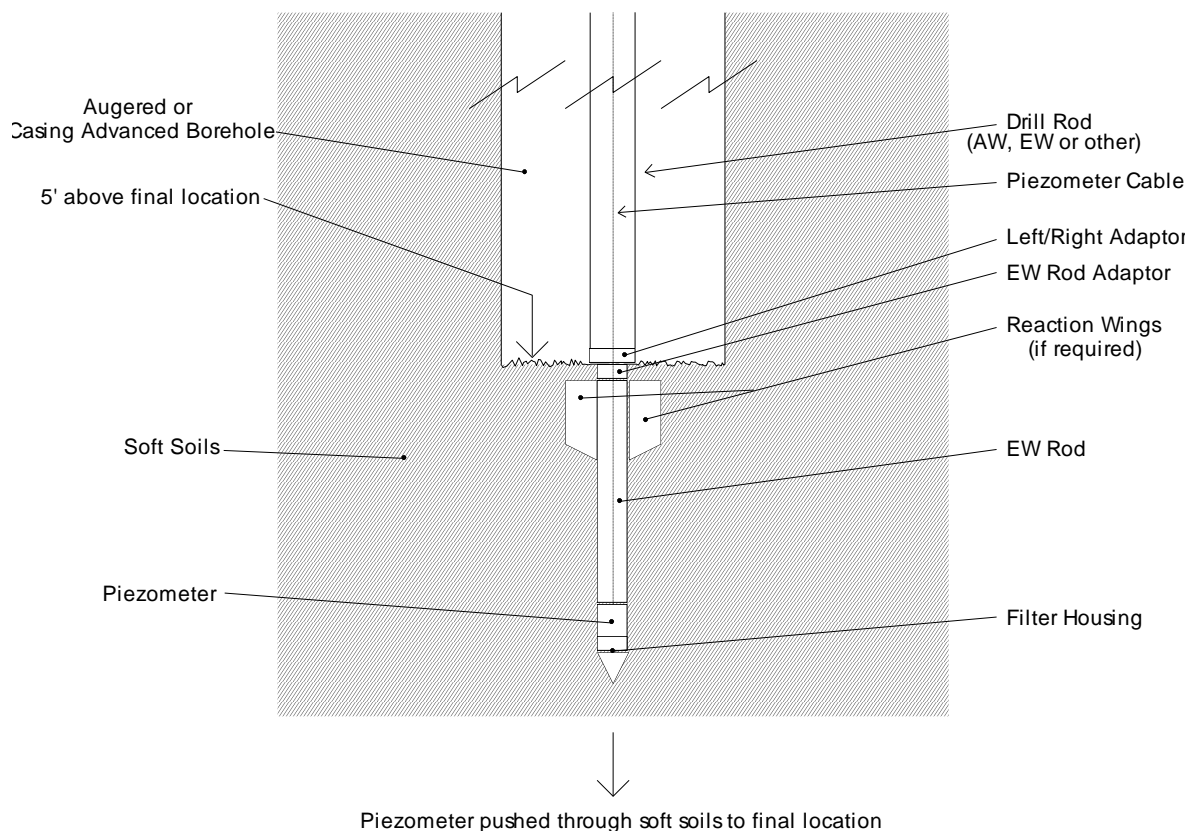


Figura 2-5 Instalación Típica en Suelos Blandos

La varilla de perforación se puede dejar puesta o se puede retirar. Si se va a retirar, se fija directamente a la punta del piezómetro una sección especial de 5 pies de vástago EW (o AW) con aletas con rosca izquierda. Esta sección se separa del resto de la cuerda de perforación girándola en el sentido de las manecillas del reloj. La rosca a derechas entonces se aflojará. Las aletas evitan que el vástago especial EW gire. Un adaptador especial LH/RH está disponible de Geokon. El adaptador se retira junto con la cuerda de perforación.

2.6 Boquillas de Filtro de Extracción de Aire

Precaución.- No permita que el piezómetro se congele una vez que se ha llenado con agua. La mayoría de las boquillas de filtros se pueden retirar cuando están saturadas y se van a volver a montar. Los procedimientos son los siguientes:

2.6.1 Filtro de Baja Admisión de Aire, Modelo 4500S y 4500PN

Para resultados exactos, es necesaria la saturación total del filtro. Para el filtro de baja admisión de aire que normalmente se proporciona, esta saturación ocurre cuando la boquilla se sumerge bajo al agua. El

agua entra al filtro comprimiendo el aire en el espacio entre la piedra del filtro y el diafragma sensible del sensor de presión. Después de un periodo de tiempo, este aire se disolverá en el agua hasta que el espacio y el filtro están totalmente llenos de agua. Para acelerar el proceso de saturación, retire el montaje del filtro y llene el espacio arriba del diafragma con agua, después vuelva a colocar lentamente la cubierta del filtro permitiendo que el agua se escurra a través de la piedra del filtro. Con piezómetros con rango de baja presión menores a (<10 psi) tome las lecturas con una consola de lectura mientras que empuja la cubierta del filtro a manera de no sobrepasar el rango de presión del sensor.

Para mantener la saturación, la unidad se debe mantener bajo agua hasta su instalación.

Si el piezómetro 4500S se va a usar en tubería y se sube y baja muchas veces, el filtro se puede aflojar. Se necesitará un filtro de montaje permanente. El filtro desmontable se puede fijar permanentemente al tubo del piezómetro aproximadamente 1/16" a 1/8" detrás de la unión del montaje del filtro.

También están disponibles cedazos para instalaciones en tubos de alimentación. A diferencia de los filtros estándar, es menos probable que los cedazos se obstruyan cuando se depositan las sales en el agua si se permite que el filtro se seque completamente.

2.6.2 Filtro de Cerámica Desmontable, Modelo 4500S

El filtro de cerámica en el piezómetro 4500S también se puede desmontar para extracción de aire. Debido a las características de gran admisión de aire, la extracción de aire es particularmente importante para este montaje de filtro. Los filtros con diferentes valores de admisión de aire requieren procedimientos diferentes.

Filtros de 1 Bar de Presión

1. Retire el filtro del piezómetro dándole vuelta cuidadosamente y jalándolo del montaje de la cubierta del filtro.
2. Hierva el montaje del filtro en agua a la que se la ha extraído el aire.
3. Vuelva a montar la cubierta del filtro y el piezómetro bajo la superficie de un contenedor de agua a la que se la extraído el aire. Asegúrese de que no quede aire atrapado en la cavidad del transductor. Mientras empuja el filtro use una consola de lectura para monitorear la presión del diafragma. Permita que la sobrepresión se disipe antes de volver a empujar.
4. Para mantener la saturación, la unidad debe permanecer inmersa hasta su instalación.

Filtros de 2 Bar y Superiores

El procedimiento adecuado para extraer el aire de estos filtros y saturarlos es algo complejo y lo debe hacer Geokon en la fábrica o siguiendo cuidadosamente las siguientes instrucciones:

1. Coloque el piezómetro ensamblado, con el filtro abajo, en una cámara de vacío con un puerto de entrada en el fondo del agua a la que se ha extraído el aire.

2. Cierre la entrada de agua y vacíe la cámara. Se debe monitorear el transductor mientras se vacía la cámara.
3. Cuando se ha logrado un vacío máximo, permita que el agua libre de aire entre a la cámara y llegue a una elevación de unas cuantas pulgadas arriba del filtro del piezómetro.
4. Cierre el puerto de entrada. Libere el vacío.
5. Observe la salida del transductor. El filtro tardará 24 horas en saturarse completamente (5 bars) y que la presión alcance el cero.
6. Después de la saturación se debe guardar el transductor en un contenedor de agua libre de aire hasta su instalación. Si la extracción de aire se efectuó en la fábrica, se aplica un tapón especial al piezómetro para mantener la saturación.

2.6.3 Modelo 4500DP

Se efectúa la extracción de aire al Modelo 4500DP de la misma manera que los modelos anteriores, primero desatornillando la punta del montaje del piezómetro y después siguiendo las instrucciones para el modelo 4500S.

2.7 Transductor Modelo 4500H

Cuando se conecta el transductor Modelo 4500H a accesorios externos, se debe apretar el accesorio a una rosca de $\frac{1}{4}$ "-NPT con una llave inglesa en las partes planas de la caja del transductor. También, evite apretar en un sistema cerrado ya que el proceso de apretar los accesorios podría ocasionar un daño permanente al transductor. En caso de duda, conecte los cables del medidor a la consola de lectura y tome las lecturas en lo que aprieta. La cinta de teflón en las roscas hace que la conexión al transductor sea más fácil y más segura. **PRECAUCION: Todos los sensores de alta presión son potencialmente peligrosos y se debe tener cuidado de no sobrepasar su rango calibrado. Los sensores se prueban a 150% del rango para proporcionar un factor de seguridad.**

2.8 Cajas de Empalme y Conexión

Debido a que la señal de salida de la cuerda vibrante es más una frecuencia que una corriente o voltaje, las variaciones en la resistencia del cable tienen poco efecto en las lecturas del medidor, y por lo tanto, el empalme de los cables tampoco tiene efecto alguno, y en algunos casos, puede ser benéfico. Por ejemplo, si se instalan múltiples piezómetros en un barreno y la distancia entre el barreno y la caja terminal o datalogger es muy grande, se podría hacer un empalme (o caja de conexión, ver Figura 2-6) para conectar los cables individuales a un solo cable multiconductor. Este cable multiconductor entonces se podría correr a la estación de lectura. Para estas instalaciones se recomienda que el piezómetro venga suministrado con cable suficiente para llegar a la profundidad de la instalación más cable extra para pasarlo a través del equipo de perforación (varillas, tubos de ademe, etc.). El cable usado para hacer empalmes debe ser de un par torcido de alta calidad 100% blindado (con cable de toma a tierra). Cuando se hace un empalme, es muy importante que los cables de purga estén empalmados juntos. Los juegos de empalmes recomendados por Geokon incorporan piezas fundidas colocadas alrededor del empalme y después rellenadas con pasta epóxica para que las conexiones sean a prueba de agua. Este tipo de empalme, cuando se ha hecho adecuadamente, es igual o superior al mismo cable en su esfuerzo y propiedades eléctricas. Contacte Geokon para obtener materiales de empalme e instrucciones adicionales para empalme de cables.

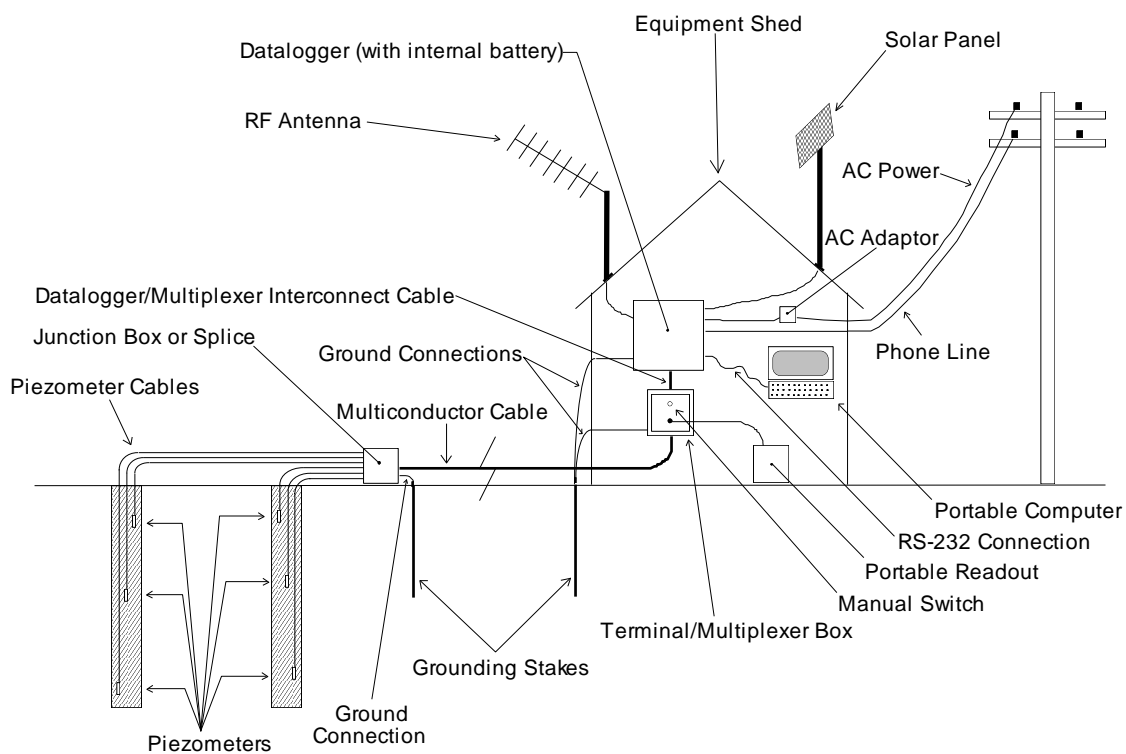


Figura 2-6 Instalación Típica de Piezómetros Múltiples

Las cajas de conexión y cajas de cables están disponibles de Geokon para todo tipo de aplicaciones. Además, equipo portátil de lectura y hardware de almacenamiento de datos están disponibles. Ver la Figura 2-6. Contacte Geokon para obtener información sobre una aplicación específica.

2.9 Protección Contra Rayos

En lugares expuestos es vital que el piezómetro esté protegido contra descargas de rayos.

Un supresor de sobretensión tripolar de plasma (Figura 1-1) está construido en el cuerpo del piezómetro y protege contra picos de voltaje a través de los conductores de entrada. A continuación se mencionan las medidas adicionales disponibles de protección contra rayos:

1. Si la lectura de los instrumentos se va a hacer manualmente con un lector portátil (sin caja terminal) una manera simple de ayudar a proteger contra daños ocasionados por rayos es conectar los conductores del cable a tierra cuando no están en uso. Esto ayudará a desviar a tierra las corrientes momentáneas inducidas en el cable con lo cual se protege el instrumento.
2. Las cajas de cables disponibles en Geokon se pueden ordenar con una protección integrada contra rayos. Hay dos niveles de protección:

- El tablero de cables usado para hacer las conexiones del medidor cuenta con la facilidad para la instalación de supresores de sobretensión de plasma (similares al dispositivo dentro del piezómetro).
- Se pueden incorporar Tableros de Supresores de Rayos (LAB-3) en la caja de cables. Estas unidades utilizan supresores de sobretensiones y diodos transil (transzorb) como protección adicional para el piezómetro.

En los casos anteriores la caja terminal estaría conectada a tierra.

3. El mejorar la protección usando LAB-3 se puede lograr al colocar el tablero en línea con el cable lo más cerca posible al piezómetro instalado (ver la Figura 2-7). Este es el método recomendado para protección contra rayos.

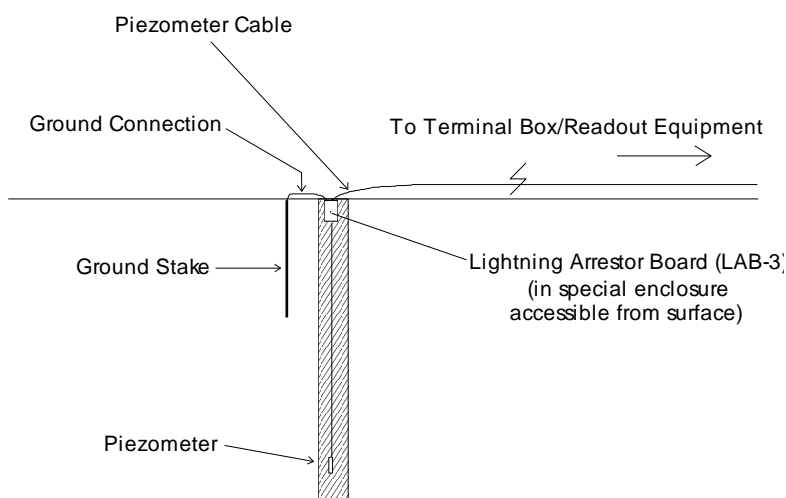


Figura 2-7 Esquema Recomendado para Protección contra Rayos

3. TOMA DE LECTURAS

3.1 Funcionamiento de la Consola de Lectura GK-401

La consola GK-401 es una lectura básica para todos los medidores de cuerda vibrante.

Conecte el Lector usando los cables volantes o en el caso de una estación de terminales, con un conector. Los caimanes rojos y negros son para el medidor de cuerda vibrante, el cable verde para el cable de toma a tierra. La GK-401 no puede leer el termistor (ver la Sección 3.4)

1. Gire el selector de la pantalla a la posición "B" (o "F"). La lectura es en dígitos (Ecuación 4-1).
2. Encienda la unidad y aparecerá una lectura en la ventana frontal de la pantalla. El último dígito puede cambiar uno o dos dígitos mientras se observa la lectura. Registre el valor desplegado. Si se muestran ceros o la lectura es inestable ver la sección 5 para sugerencias de solución de problemas.

3. La unidad se apagará automáticamente aproximadamente después de 4 minutos para conservar la energía.

3.2 Operación de la Consola de Lectura GK-403

La consola GK-403 puede almacenar lecturas del medidor y también aplicar los factores de calibración para convertir las lecturas a unidades de ingeniería. Consulte el Manual de Instrucciones GK-403 para información adicional en el Modo "G" del Lector. Las siguientes instrucciones explicarán como tomar las lecturas del medidor usando los Modos "B" y "F" (similares a las posiciones "B" y "F" del interruptor del GK-401).

Conecte el Lector usando los cables volantes o en el caso de una estación terminal, con un conector. Los caimanes rojo y negro son para la el medidor de cuerda vibrante, el cable verde para el cable de toma a tierra. El GK-401 no puede leer el termistor (ver la Sección 3.4)

1. Gire el selector de la pantalla a la posición "B" (o "F"). La lectura es en dígitos (Ecuación 4-1).
2. Encienda la unidad y aparecerá una lectura en la ventana frontal de la pantalla. El último dígito puede cambiar uno o dos dígitos mientras se observa la lectura. Oprima el botón "Guardar" para registrar el valor desplegado. Si no se muestra lectura o ésta es inestable ver la sección 5 para sugerencias de solución de problemas. El termistor se leerá y mostrará directamente datos de salida en grados centígrados.
3. La unidad se apagará automáticamente aproximadamente después de 2 minutos para conservar la energía.

3.3 Operación de la consola de lectura GK404

La consola de lectura GK404 es del tamaño de la palma de la mano que despliega el valor de la cuerda vibrante y la temperatura en grados centígrados.

La consola de lectura GK-404 se suministra con un cordón provisional para conectar los medidores de cuerda vibrante. Un extremo consistirá de un conector de 5 pines para conectarse a su enchufe respectivo de la lectora GK-404. El otro extremo consistirá de 5 cables que terminan con caimanes de conexión. Nótese que los colores de los caimanes de conexión son rojo negro, verde, blanco y azul. Los colores representan el cable positivo del medidor de cuerda vibrante (rojo), el cable negativo del medidor de cuerda vibrante (negro), el cable positivo del termistor (verde), el cable negativo del termistor (blanco) y el cable de toma a tierra del transductor (azul). Los caimanes se deben conectar a los colores respectivos de los cables del medidor de cuerda vibrante.

Use el botón **POS** (Posición) para seleccionar la posición **B** y el botón **MODE** para seleccionar **Dg** (dígitos).

Se pueden seleccionar otras funciones de acuerdo a lo descrito en el Manual GK-404.

La GK-404 continuará tomando medidas y desplegará las lecturas hasta que se oprima el botón **OFF**, o si está habilitado, cuando el temporizador Power-Off apague la GK-404.

La GK-404 monitorea continuamente el estado de las (2) baterías AA de 1.5V y cuando su voltaje combinado baje a 2V, se despliega el mensaje **Baterías Bajas** en la pantalla. En este punto se debe instalar un juego nuevo de baterías AA de 1.5V.

3.4 Midiendo las Temperaturas

Cada piezómetro de cuerda vibrante está equipado con un termistor para leer la temperatura. El termistor da una salida de resistencia variable en lo que la temperatura cambia. Usualmente los cables blanco y verde están conectados al termistor interno. Las versiones para alta temperatura usan un termistor diferente al de la versión estándar.

Las consolas de lectura GK-403 y GK-404, cuando se usan con el termistor **estándar**, desplegarán la temperatura en °C automáticamente. Esto **no** lo harán con termistores de alta temperatura. La consola de lectura GK 401 no leerá las temperaturas directamente, en su lugar se debe usar un ohmímetro.

1. Conecte el ohmímetro a los dos cables del termistor que salen del piezómetro. (Debido a que los cambios de la resistencia con la temperatura son tan considerables, el efecto de la resistencia del cable es usualmente insignificante. Para cables largos se puede aplicar una corrección - igual a 16 ohms por cada mil pies.)
2. Para modelos de temperatura estándar, vea la temperatura para la resistencia medida en la Tabla B-1 Página 21. Alternativamente, se podría calcular la temperatura usando la Ecuación B-1. Para modelos de alta temperatura use la Tabla B2 o la ecuación B2 en la página 22.

4. REDUCCION DE DATOS

4.1 Cálculo de la Presión

Los dígitos desplegados por las consolas de lectura Modelos Geokon GK-401 o GK-403 en el canal B se basan en la siguiente ecuación:

$$\text{Digits} = \left(\frac{1}{\text{Period}} \right)^2 \times 10^{-3} \quad \text{ir} \quad \text{Digits} = \frac{\text{Hz}^2}{1000}$$

Ecuación 4-1 Cálculo de Dígitos

Por ejemplo, un piezómetro que lee 8000 dígitos corresponde a un periodo de 354 μ y una frecuencia de 2828 Hz. Nótese que en la ecuación anterior, el periodo está en segundos: la lectora despliega microsegundos.

Debido a que los dígitos son directamente proporcionales a la presión aplicada,

$$\text{Presión} = (\text{Lectura Inicial} - \text{Lectura Actual}) \times \text{Factor de Calibración}$$

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

Ecuación 42 Convertir Dígitos a Presión

Dado que la linealidad de la mayoría de los sensores se encuentra dentro de 0.2% FS, los errores asociados con la no linealidad son de consecuencia menor. Sin embargo, para aquellas situaciones que requieren la más alta exactitud puede ser deseable usar un polinomio de segundo grado para obtener un mejor ajuste de los puntos de datos. El uso de un polinomio de segundo grado se explica en el Apéndice D.

La hoja de calibración, un ejemplo típico de la cual se muestra en la figura 2.1 (ver página 4), muestra los datos de los cuales se deriva del factor lineal del medidor y de los coeficientes del polinomio de segundo grado. Las columnas a la derecha muestran el tamaño del error incurrido al asumir un coeficiente lineal y la mejora que se puede esperar al usar un polinomio de segundo grado. En muchos casos la diferencia

es menor. Las hojas de calibración dan la presión en ciertas unidades de ingeniería. Estas se pueden convertir a otras unidades de ingeniería usando los factores de multiplicación que se muestran en la siguiente Tabla 4-1.

De → A ↓	psi	"H ₂ O	'H ₂ O	mm H ₂ O	m H ₂ O	"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 ₂ O	27.730	1	12	.039372	39.372	13.596	.53525	406.78	.40147	401.47	4.0147	4016.1
'H ₂ O	2.3108	.08333	1	.003281	3.281	1.133	.044604	33.8983	.033456	33.4558	.3346	334.6
mm H ₂ O	704.32	25.399	304.788	1	1000	345.32	13.595	10332	10.197	10197	101.97	101970
m H ₂ O	.70432	.025399	.304788	.001	1	.34532	.013595	10.332	.010197	10.197	101.97	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	.0024583	.0294996	.0000968	.0968	.03342	.0013158	1	.0009869	.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	.0024908	.0298896	.0000981	.098068	.033863	.001333	1.0132	.001	1	.01	10
KPa	6.8947	.24908	2.98896	.0098068	9.8068	3.3863	1.3332	101.320	.1	100	1	1000
MPa	.006895	.000249	.002988	.00000981	.009807	.003386	.000133	.101320	.0001	.1	.001	1

Tabla 4-1 Factores de Multiplicación de Unidades de Ingeniería

Nota: Debido a los cambios en la gravedad específica los factores de temperatura para el mercurio y el agua en la tabla anterior ¡son aproximaciones!

4.2 Corrección de la Temperatura

Al fabricar el piezómetro de cuerda vibrante se efectúa una cuidadosa selección de materiales para minimizar los efectos térmicos, sin embargo la mayoría de las unidades todavía tienen un ligero coeficiente de temperatura. Consulte la hoja de calibración que se le proporciona para obtener el coeficiente para un piezómetro determinado.

Dado que los piezómetros se instalan normalmente en un entorno de temperatura tranquila y constante, normalmente no se requieren correcciones. Sin embargo, si este no es el caso para una instalación seleccionada, se pueden efectuar las correcciones usando el termistor interno (Figura 1-1) para una medición de la temperatura. Ver la Sección 3.4 para instrucciones con respecto de cómo obtener la temperatura del piezómetro.

La ecuación para la corrección de la temperatura es la siguiente:

$$\text{Corrección de Temperatura} = (\text{Temperatura Actual} - \text{Temperatura Inicial}) \times \text{Factor Térmico}$$

$$P_T = (T_1 - T_0) \times K$$

Ecuación 4-3 Corrección de Temperatura

La corrección calculada se **añadiría** a la Presión calculada usando la Ecuación 4-2. Si se convirtieron las unidades de ingeniería recuerde aplicar la misma conversión a la corrección de la temperatura calculada.

Por ejemplo, asumiendo que la temperatura inicial era de 22°C, la temperatura actual es 15°C, y el coeficiente térmico es -.004326 PSI por incremento de °C (Figura 2-1). La corrección de la temperatura es +0.03 PSI.

4.3 Corrección Barométrica (solo se requiere en transductores no venteados)

Dado que el piezómetro estándar está sellado herméticamente y sin ventilación, responde a cambios en la presión atmosférica. Siendo este el caso, pueden ser necesarias correcciones, particularmente para los modelos sensibles de baja presión. Por ejemplo, un cambio en la presión barométrica de 29 a 31 pulgadas de mercurio resultaría en ≈1 PSI de error (o ≈2.3 pies si se monitorea el nivel del agua en un pozo). Por lo tanto es aconsejable leer y registrar la presión barométrica cada vez que se lee el piezómetro. Para este propósito se puede usar un transductor de presión separado (piezómetro), que se mantendrá fuera del agua.

La Ecuación para la corrección barométrica es la siguiente:

$$\text{Corrección Barométrica} = (\text{Barómetro Actual} - \text{Barómetro Inicial}) \times \text{Factor de Conversión}$$

$$\text{ó}$$

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

Ecuación 4-4 Corrección Barométrica

Puesto que la presión barométrica se registra usualmente en pulgadas de mercurio, es necesario un Factor de Conversión para convertir a PSI. El factor de conversión para pulgadas de mercurio a PSI es .491. La Tabla 4-1 enlista otros Factores de Conversión comunes.

La corrección calculada usualmente se **resta** de la Presión calculada usando la Ecuación 4-2. Si se fueran a convertir las unidades de ingeniería recuerde aplicar la misma conversión a la corrección barométrica calculada.

Se le debe advertir al usuario que este esquema de corrección asume condiciones ideales. En realidad, las condiciones no siempre son ideales. Por ejemplo, si se sella el pozo, los efectos barométricos al nivel del piezómetro pueden ser mínimos o atenuados al respecto de los cambios reales en la superficie. Por consiguiente pueden resultar errores cuando se aplique una corrección que no se requiere. Recomendamos, en estos casos, registrar independientemente los cambios en la presión barométrica y correlacionar estos con los cambios de la presión observados para llegar a un factor de corrección.

Una alternativa para efectuar la corrección barométrica es usar piezómetros que estén venteados a la atmósfera como observó en la sección 4.3.1. Sin embargo, los piezómetros solo tienen sentido si se encuentran en un pozo o tubo de ventilación abierto y el usuario solo está interesado en el nivel del agua. De lo contrario, si el piezómetro se entierra no es seguro que se sienta de inmediato el efecto total del cambio barométrico y lo más probable es que se atenúe y retrase, en cuyo caso un piezómetro venteado aplicaría automáticamente una corrección que es demasiado grande y demasiado pronto. Tener un barómetro en el sitio con piezómetros no venteados también tiene la ventaja que puede ver el cambio barométrico y juzgar en qué medida puede haber afectado la lectura del piezómetro.

La Ecuación 4-5 describe el cálculo de la presión con la corrección de la temperatura y barométrica aplicada.

$$P_{\text{corregida}} = ((R_0 - R_1) \times G) + ((T_1 - T_0) \times K) - ((S_1 - S_0) \times F)$$

Ecuación 4-5 Cálculo de la Presión Corregida

4.3.1 Piezómetros Venteados

Los piezómetros venteados están diseñados para eliminar los efectos barométricos. El espacio dentro del transductor no está sellado herméticamente y evacuado (ver la Figura 1-1), pero está conectado por medio de un tubo (integrado con el cable) a la atmósfera. Una cámara que contiene cápsulas desecantes está adherida al extremo del tubo para evitar que la humedad entre a la cavidad del transductor. Los piezómetros venteados requieren más mantenimiento que los tipos no venteados y siempre existe el peligro de que el agua pueda penetrar al interior del transductor y arruinarlo. El extremo exterior de la cámara desecante, como se provee, está cerrado por medio de un tornillo de seguridad para conservar el desecante fresco durante almacenamiento y transportación. **¡EL TORNILLO DE SEGURIDAD SE DEBE QUITAR ANTES DE PONER A FUNCIONAR EL PIEZOMETRO!** Las cápsulas desecantes son azules cuando están frescas, gradualmente se volverán rosas en lo que absorben la humedad. Cuando se han tornado rosa claro se deben reemplazar. Contacte a Geokon para obtener cápsulas de repuesto.

4.4 Factores Ambientales

Dado que el objetivo de la instalación del piezómetro es monitorear las condiciones del sitio, siempre se deben observar y registrar los factores que pueden afectar estas condiciones. Al parecer efectos menores pueden tener una influencia real en el comportamiento de la estructura que se está monitoreando y pueden dar una indicación temprana de problemas potenciales. Algunos de los factores incluyen, a manera enunciativa pero no limitativa, ráfagas de viento, lluvia, niveles de marea, niveles y secuencias de excavación y rellenos, tráfico, cambios de temperatura y barométricos (y otras condiciones climáticas), cambios de personal, actividades en construcciones cercanas, cambios estacionales, etc.

5. SOLUCION DE PROBLEMAS

El mantenimiento y solución de problemas de los piezómetros de cuerda vibrante se reducen a Verificaciones periódicas de las conexiones de los cables y al mantenimiento de las terminales. Los transductores en sí están sellados y no pueden ser reparados por el usuario. Los siguientes son problemas típicos y la acción correctiva sugerida:

- **El piezómetro falla al no dar una lectura**

1. Verifique la resistencia de las bobinas conectando un ohmímetro a través de las terminales del medidor. La resistencia nominal es 180Ω ($\pm 5\%$), más la resistencia del cable aproximadamente a 16Ω por 1000 pies en cable AWG 22. Si la resistencia es muy alta o infinita el cable probablemente está roto o cortado. Si la resistencia es muy baja los conductores del medidor pueden tener un cortocircuito. Si se localiza un corte o cortocircuito en el cable, empalme de acuerdo con las instrucciones en la Sección 2.8.
2. Verifique la lectura con otro medidor.
3. El piezómetro puede estar fuera de rango o sufrido un golpe de corriente. Inspeccione si el diafragma y la carcasa han sufrido algún daño. Contacte la fábrica.

- **La lectura del piezómetro es inestable**

1. Conecte el cable de toma a tierra al lector usando la pinza verde (GK-401) o la azul (GK-403).
2. Aísle el lector de la tierra colocándolo en una pieza de madera o material similar no conductor.

3. Verifique que no haya fuentes de ruidos cercanos como motores, generadores, antenas o cables eléctricos. Mueva los cables del piezómetro si es posible. Contacte la fábrica para el equipo de filtrado y blindaje disponibles.
4. Se puede haber dañado el piezómetro por sobre rango o golpe de corriente.
5. El cuerpo del piezómetro puede haber hecho cortocircuito con el blindaje. Verifique la resistencia entre el cable que va a tierra y la carcasa del piezómetro.

- **La resistencia del termistor es muy alta**

1. Es probable que haya un circuito abierto. Verifique todas las conexiones, terminales y enchufes. Si se localiza un corte en el cable, empalme de acuerdo con las instrucciones en la Sección 2.8.

- **La resistencia del termistor es muy baja**

1. Es probable que haya un corto. Verifique todas las conexiones, terminales y enchufes, Si se localiza un corto en el cable, empalme de acuerdo con las instrucciones en la Sección 2.8.
2. Puede haber penetrado agua en el interior del piezómetro. No hay acción correctiva.

APENDICE A - ESPECIFICACIONES

Modelo	4500S	4500AL ¹	4500AR	4500B	4500C	4500DP	4580 ²
Rangos Disponibles (psi)	0-50 0-100 0-150 0-250 0-500 0-750 0-1000 0-1500 0-3000 0-5000 0-10000 0-15000	0-5 0-10 0-25		0-50 0-100 0-250	0-50 0-100 0-250	0-10 0-25 0-50 0-150 0-250 0-500 0-750 0-1000 0-1500 0-3000 0-5000 0-10000	0-1 0-5
Resolución	0.025% FS	0.025% FS	0.025% FS	0.025% FS	0.05% FS	0.025% FS	0.01% FS
Linealidad	< 0.5% FS ³	< 0.5% FS ³	< 0.5% FS ³	< 0.5% FS ³	< 0.5% FS ³	< 0.5% FS ³	< 0.5% FS ³
Exactitud	0.1% FS ⁴	0.1% FS ⁴	0.1% FS ⁴	0.1% FS ⁴	0.1% FS ⁴	0.1% FS ⁴	0.1% FS
Sobre Rango	2 × FS	2 × FS	2 × FS	2 × FS	2 × FS	2 × FS	2 × FS
Coefficiente Térmico	<0.025% FS/ °C	<0.05% FS/ °C	<0.05% FS/ °C	<0.025% FS/ °C	<0.05% FS/ °C	<0.025% FS/ °C	<0.025% FS/ °C
Rango de Temperatura	-20°C to +80°C	-20°C a +80°C	-20°C a +80°C	-20°C a +80°C	-20°C a +80°C	-20°C a +80°C	-20°C a +80°C
OD	.75" 19.05 mm	1" 25.40 mm	.75" 19.05 mm	.687" 17.45 mm	.437" 11.10 mm	1.3" 33.3mm	1.5" 38.10 mm
Largo	5.25" 133 mm	5.25" 133 mm	10" 254 mm	5.25" 133 mm	6.5" 165 mm	7.36" 187 mm	6.5" 165 mm

Tabla A-1 Especificaciones del Piezómetro de Cuerda Vibrante

Exactitud del aparato de prueba Geokon: 0.1%

Contacte a Geokon para información sobre una aplicación específica

Notas:

¹ Exactitud del aparato de prueba: 0.5%

² Otros rangos disponibles a solicitud

³ Linealidad de 0.1% FS disponible a solicitud

⁴ Derivado usando un polinomio de 2do. orden

APENDICE B - DERIVACION DE TEMPERATURA DEL TERMISTOR A TEMPERATURA ESTANDAR

Tipo de Termistor: YSI 44005, Dale #1C3001-B3, Alpha #13A3001-B3

Ecuación B1 Resistencia a la Temperatura:

$$T = \frac{1}{A + B(\ln R) + C(\ln R)^3} - 273.2$$

Donde: T= Temperatura en °C.

LnR = Log. Natural de la Resistencia del Termistor

A = 1.4051×10^{-3} (coeficientes calculados sobre la separación de -50 a +150° C)

B = 2.369×10^{-4}

C = 1.019×10^{-7}

Ohms	Temp	Ohms	Temp	Ohms	Temp	Ohms	Temp	Ohms	Temp
201.1K	-50	16.60K	-10	2417	+30	525.4	+70	153.2	+110
187.3K	-49	15.72K	-9	2317	31	507.8	71	149.0	111
174.5K	-48	14.90K	-8	2221	32	490.9	72	145.0	112
162.7K	-47	14.12K	-7	2130	33	474.7	73	141.1	113
151.7K	-46	13.39K	-6	2042	34	459.0	74	137.2	114
141.6K	-45	12.70K	-5	1959	35	444.0	75	133.6	115
132.2K	-44	12.05K	-4	1880	36	429.5	76	130.0	116
123.5K	-43	11.44K	-3	1805	37	415.6	77	126.5	117
115.4K	-42	10.86K	-2	1733	38	402.2	78	123.2	118
107.9K	-41	10.31K	-1	1664	39	389.3	79	119.9	119
101.0K	-40	9796	0	1598	40	376.9	80	116.8	120
94.48K	-39	9310	+1	1535	41	364.9	81	113.8	121
88.46K	-38	8851	2	1475	42	353.4	82	110.8	122
82.87K	-37	8417	3	1418	43	342.2	83	107.9	123
77.66K	-36	8006	4	1363	44	331.5	84	105.2	124
72.81K	-35	7618	5	1310	45	321.2	85	102.5	125
68.30K	-34	7252	6	1260	46	311.3	86	99.9	126
64.09K	-33	6905	7	1212	47	301.7	87	97.3	127
60.17K	-32	6576	8	1167	48	292.4	88	94.9	128
56.51K	-31	6265	9	1123	49	283.5	89	92.5	129
53.10K	-30	5971	10	1081	50	274.9	90	90.2	130
49.91K	-29	5692	11	1040	51	266.6	91	87.9	131
46.94K	-28	5427	12	1002	52	258.6	92	85.7	132
44.16K	-27	5177	13	965.0	53	250.9	93	83.6	133
41.56K	-26	4939	14	929.6	54	243.4	94	81.6	134
39.13K	-25	4714	15	895.8	55	236.2	95	79.6	135
36.86K	-24	4500	16	863.3	56	229.3	96	77.6	136
34.73K	-23	4297	17	832.2	57	222.6	97	75.8	137
32.74K	-22	4105	18	802.3	58	216.1	98	73.9	138
30.87K	-21	3922	19	773.7	59	209.8	99	72.2	139
29.13K	-20	3748	20	746.3	60	203.8	100	70.4	140
27.49K	-19	3583	21	719.9	61	197.9	101	68.8	141
25.95K	-18	3426	22	694.7	62	192.2	102	67.1	142
24.51K	-17	3277	23	670.4	63	186.8	103	65.5	143
23.16K	-16	3135	24	647.1	64	181.5	104	64.0	144
21.89K	-15	3000	25	624.7	65	176.4	105	62.5	145
20.70K	-14	2872	26	603.3	66	171.4	106	61.1	146
19.58K	-13	2750	27	582.6	67	166.7	107	59.6	147
18.52K	-12	2633	28	562.8	68	162.0	108	58.3	148
17.53K	-11	2523	29	543.7	69	157.6	109	56.8	149
								55.6	150

Tabla B-1 TEMPERATURA ESTANDAR de la Resistencia del Termistor vs. Temperatura

Linealización del Termistor de Alta Temperatura usando la Ecuación
SteinHart-Hart Log

Tipo de Termistor: Termométrico BR55KA822J

Ecuación Básica B2:
$$T = \frac{1}{A + B(\text{LnR}) + C(\text{LnR})^3} - 273.2$$

Donde: T = Temperatura en °C.

LnR = Log. Natural Log de la Resistencia del Termistor

$$A = 1.02569 \times 10^{-3}$$

$$B = 2.478265 \times 10^{-4}$$

$$C = 1.289498 \times 10^{-7}$$

Nota: Coeficientes calculados sobre lapso de -30° a +260° C.

Tabla B2

Temp	R (ohms)	LnR	LnR ³	Temp Calculada	Dif	Error FS	Temp	R (ohms)	LnR	LnR ³	Temp Calculada	Dif	Error FS
-30	113898	11.643	1578.342	-30.17	0.17	0.06	120	407.62	6.010	217.118	120.00	0.00	0.00
-25	86182	11.364	1467.637	-25.14	0.14	0.05	125	360.8	5.888	204.162	125.00	0.00	0.00
-20	65805	11.094	1365.581	-20.12	0.12	0.04	130	320.21	5.769	191.998	130.00	0.00	0.00
-15	50684.2	10.833	1271.425	-15.10	0.10	0.03	135	284.95	5.652	180.584	135.00	0.00	0.00
-10	39360	10.581	1184.457	-10.08	0.08	0.03	140	254.2	5.538	169.859	140.01	-0.01	0.00
-5	30807.4	10.336	1104.068	-5.07	0.07	0.02	145	227.3	5.426	159.773	145.02	-0.02	-0.01
0	24288.4	10.098	1029.614	-0.05	0.05	0.02	150	203.77	5.317	150.314	150.03	-0.03	-0.01
5	19294.6	9.868	960.798	4.96	0.04	0.01	155	183.11	5.210	141.428	155.04	-0.04	-0.01
10	15424.2	9.644	896.871	9.98	0.02	0.01	160	164.9	5.105	133.068	160.06	-0.06	-0.02
15	12423	9.427	837.843	14.98	0.02	0.01	165	148.83	5.003	125.210	165.08	-0.08	-0.03
20	10061.4	9.216	782.875	19.99	0.01	0.00	170	134.64	4.903	117.837	170.09	-0.09	-0.03
25	8200	9.012	731.893	25.00	0.00	0.00	175	122.1	4.805	110.927	175.08	-0.08	-0.03
30	6721.54	8.813	684.514	30.01	-0.01	0.00	180	110.95	4.709	104.426	180.07	-0.07	-0.02
35	5540.74	8.620	640.478	35.01	-0.01	0.00	185	100.94	4.615	98.261	185.10	-0.10	-0.04
40	4592	8.432	599.519	40.02	-0.02	-0.01	190	92.086	4.523	92.512	190.09	-0.09	-0.03
45	3825.3	8.249	561.392	45.02	-0.02	-0.01	195	84.214	4.433	87.136	195.05	-0.05	-0.02
50	3202.92	8.072	525.913	50.01	-0.01	-0.01	200	77.088	4.345	82.026	200.05	-0.05	-0.02
55	2693.7	7.899	492.790	55.02	-0.02	-0.01	205	70.717	4.259	77.237	205.02	-0.02	-0.01
60	2276.32	7.730	461.946	60.02	-0.02	-0.01	210	64.985	4.174	72.729	210.00	0.00	0.00
65	1931.92	7.566	433.157	65.02	-0.02	-0.01	215	59.819	4.091	68.484	214.97	0.03	0.01
70	1646.56	7.406	406.283	70.02	-0.02	-0.01	220	55.161	4.010	64.494	219.93	0.07	0.02
75	1409.58	7.251	381.243	75.01	-0.01	0.00	225	50.955	3.931	60.742	224.88	0.12	0.04
80	1211.14	7.099	357.808	80.00	0.00	0.00	230	47.142	3.853	57.207	229.82	0.18	0.06
85	1044.68	6.951	335.915	85.00	0.00	0.00	235	43.673	3.777	53.870	234.77	0.23	0.08
90	903.64	6.806	315.325	90.02	-0.02	-0.01	240	40.533	3.702	50.740	239.69	0.31	0.11
95	785.15	6.666	296.191	95.01	-0.01	0.00	245	37.671	3.629	47.788	244.62	0.38	0.13
100	684.37	6.528	278.253	100.00	0.00	0.00	250	35.055	3.557	45.001	249.54	0.46	0.16
105	598.44	6.394	261.447	105.00	0.00	0.00	255	32.677	3.487	42.387	254.44	0.56	0.19
110	524.96	6.263	245.705	110.00	0.00	0.00	260	30.496	3.418	39.917	259.34	0.66	0.23
115	461.91	6.135	230.952	115.00	0.00	0.00							

Tabla B2 - Temperatura Alta. Temperatura y Resistencia del Termistor

APENDICE C- NOTAS RESPECTO AL MODELO 4500C

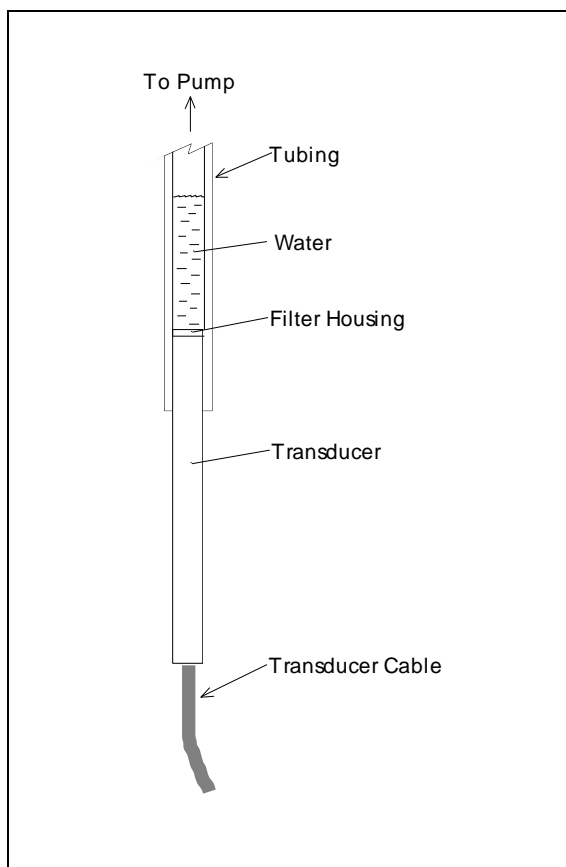
Instalación

La construcción de este transductor de cuerda vibrante estilizado requiere que las partes internas sean miniaturas y en consecuencia son algo delicadas. A pesar de cada precaución es posible que el cero cambie durante el embarque debido a un manejo brusco. Sin embargo, las pruebas han demostrado que el cero puede cambiar pero los factores de calibración no cambian. Por lo tanto es doblemente importante que se tome la lectura inicial de no cero carga antes de la instalación. **Y también es importante manejar el transductor delicadamente durante el procedimiento de instalación.**

Si las presiones que se van a medir son menores a 5 psi la piedra del filtro en la cubierta del filtro debe estar saturada. ***Sin embargo, la piedra del filtro y la cubierta no son desmontables en el 4500C. ¡Cualquier intento de retirar la piedra del filtro o la cubierta ¡destruirá el transductor!***

Para saturar el filtro se requiere una bomba de vacío manual y un tramo corto de tubo. Fije el tubo al transductor como se muestra en la figura. Llene el tubo con 2" (5 cm) de agua aproximadamente. Sostenga el transductor para que el agua descansa en el filtro. Fije el otro extremo del tubo a la bomba de vacío manual. Mientras sostiene el transductor para que el agua descansa en el filtro (y no entre en la bomba), apriete la bomba para iniciar el vacío en el tubo. Esto sacará el aire del filtro y en el espacio detrás de él. El agua lo reemplazará. Un vacío de 20-25" Hg. (50-65 cm Hg.) es suficiente para una evacuación apropiada.

Una bomba manual que se ha usado con éxito es la mityvacII® de Neward Enterprises, Inc. de Cucamonga, CA, EUA. Las bomba manuales y los tubos están disponibles en la fábrica.



Reducción de Datos

La reducción de datos sigue los mismos procedimientos que los que se describieron en la Sección 4 de este manual. Use la Tabla 4-1 para convertir psi a otras unidades de ingeniería.

APENDICE D - NO LINEALIDAD Y EL USO DE UN POLINOMIO DE SEGUNDO GRADO PARA MEJORAR LA EXACTITUD DE LA PRESION CALCULADA

La mayoría de los transductores de cuerda vibrante son lo suficientemente lineales ($\pm 0.2\%FS$) que usan los factores lineales de calibración satisfacen los requerimientos normales. Sin embargo, se debe hacer notar que la exactitud de los datos de calibración, que son dictados por la exactitud del aparato de calibración, es siempre $\pm 0.1\% FS$.

Este nivel de exactitud se puede recapturar, aún cuando el transductor es no lineal, mediante el uso de una expresión polinómica de segundo orden que da un mejor ajuste a los datos que una línea recta.

La expresión polinómica tiene la forma:

$$\text{presión} = AR^2 + BR + C$$

donde R es la lectura (dígitos canal B) y A, B, C, son coeficientes. La figura en la página 24 muestra una hoja de calibración de un transductor que tiene una no linealidad alta comparativamente. La figura bajo la columna "Linealidad (%FS)" es

$$\frac{\text{Presión calculada} - \text{Presión Real}}{\text{Presión Real}} \times 100\% = \frac{G(R_0 - R_1) - P}{P} \times 100\%$$

Nota: La linealidad se calcula usando el cero de regresión para R_0

Por ejemplo cuando $P = 40$ psi, $G(R_0 - R_1) = 0.029021(9145 - 7773)$, da una presión calculada de 39.817 psi. El error es 0.183 psi igual a 5 pulgadas de agua.

Considerando que la expresión polinómica de una presión calculada de $A(7773)^2 + B(7773) + C = 39.996$ psi y el error real es solamente 0.004 psi o 0.1 pulgada de agua.

Nota: Si se usa la ecuación polinómica es importante que el valor de C, en esta ecuación, se tome en el campo, siguiendo los procedimientos descritos en la sección 2.1.1. El valor de campo de C se calcula insertando la lectura cero inicial en la ecuación polinómica con la Presión, P, fijada a cero.

Se debe hacer notar que donde se están monitoreando cambios de los niveles del agua, esto hace poca diferencia si se usa el coeficiente lineal o la expresión polinómica.



Calibración del Transductor de Presión de Cuerda Vibrante

Modelo Número: 4500S-100 Rango de Presión: 100 psi

Número de Serie: 48056 Número de Fabr.: 8-3275

Cliente: _____ Temperatura: 21.1°C

ID del Cliente # n/a Presión Barométrica: 998.1 mbar

Trabajo Número: 13053 Fecha: Nov, 7, 1998

Control Estándar de Calidad 183,468 Técnico: (Firma)

Presión (psi)	Lectura 1er Ciclo	Presión (psi)	Lectura 2º Ciclo	Presión Promedio	Lectura Promedio	Cambio	Linealidad (%FS)	Ajuste Polinómico (%FS)
0	9136	0	9141	0	9139		0.18	-0.04
20	8453	20	8456	20	8455	684	0.03	0.08
40	7772	40	7774	40	7773	682	-0.19	-0.01
60	7085	60	7083	60	7084	689	-0.19	-0.01
80	6392	80	6390	80	6391	693	-0.08	-0.03
100	5694	100	5687	100	5691	701	0.25	0.03

Factor Lineal del Medidor (G): 0.029021 (psi/digito) Regresión Cero: 9145

Factores Polinómicos del Medidor: A: -1.40E-07 B: -0.026943 C:* 257.8826

Factor Térmico: (K): -0.004326 (psi/°C)

Presiones Calculadas: **Lineal, $P = G(R_0 - R_1) + K(T_1 - T_0) - (S_1 - S_0)^{**}$**

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

** No se requiere compensación barométrica con el transductor con ventilación

Lectura Cero de Fábrica:

GK-401 Pos. B o F(R₀): 9128 Temp(T₀): 21.8 °C Baro(S₀): 1001.4 mbar Fecha: En. 27, 1997

**Se le aconseja al usuario establecer las condiciones cero en el campo registrando la lectura a una temperatura y presión barométrica conocidos*

Código de Cableado: Rojo y Negro: Medidor Blanco y Verde: Termistor Neutro: Blindaje

El instrumento antes mencionado se ha calibrado mediante comparación con los estándares del Inst. de Estándares y Tec. (NIST) en cumplimiento con ANSI 2540-1

Hoja de Calibración del Transductor de Presión de Cuerda Vibrante

APENDICE E - INSTRUCCIONES RAPIDAS PARA INSTALAR UN PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE

- Tome una lectura en cero, presión (atmosférica). Asegúrese que la temperatura no haya cambiado previamente por 15 minutos. (O hasta que la lectura del piezómetro se haya estabilizado). Verifique que esta lectura cero sea compatible con el cero en la hoja de calibración.
- Registre la presión barométrica y la temperatura al momento en que se tome la lectura cero.
- Mida cuidadosamente el largo del cable y haga una marca en él que estará situada opuesta a la parte superior del barreno, pozo o tubo de alimentación cuando el piezómetro ha alcanzado la profundidad deseada. (El diafragma del piezómetro está situado $\frac{3}{4}$ de pulgada arriba de la punta del piezómetro).
- Sature el filtro del piezómetro. (Sección 2.6)
- Siga las instrucciones de la Sección 2.2 para instalación en tubos de alimentación o pozos o la Sección 2.3 para barrenos.

APENDICE F - Piezómetro Modelo 4500AR



El piezómetro Modelo 4500 AR está diseñado para usarse con sistemas de consolas de lectura que puedan leer la frecuencia, pero no tienen la capacidad de “excitar” el medidor de cuerda vibrante. Este sensor tiene electrónica integrada que provoca que la cuerda del medidor vibre de una forma continua a su frecuencia de resonancia. La salida del sensor es una onda cuadrada de 5 volts CD a esta frecuencia. Se requiere un voltaje de entrada CD en el rango de 6-24 volts para operar el medidor. El consumo de corriente es de aproximadamente 21 mA a 12VCD. La salida del medidor es independiente del voltaje de entrada. Múltiples sensores activados simultáneamente se pueden leer a velocidades bastante rápidas, hasta 5 sensores por segundo y mediciones dinámicas en un solo sensor pueden completar hasta 20Hz aproximadamente.

El medidor se instala en el campo de la misma manera que el piezómetro estándar Modelo 4500. (Ver la Sección 2).

Cableado del Piezómetro: El cable de 3 pares se cablea en pares, cada par comprendiendo un conductor de color y uno negro.

Rojo	+6-24 VCD de Energía
Rojo y negro	Tierra
Blanco	Salida
Blanco y Negro	Salida a Tierra
Verde	Termistor +
Verde y negro	Termistor -
Neutro	Blindaje

Al encendido el medidor inmediatamente comenzará a “sonar” a la frecuencia resonante y continuará sonando hasta que se apague. Una operación continua no tendrá ningún efecto en la vida del medidor.

Nota

El sensor consta de dos transductores, el sensor de presión de cuerda vibrante y un termistor para medir la temperatura. Las señales del transductor de cuerda vibrante son de alta frecuencia e interferirán con la salida del termistor si se deja encendido durante el periodo en el que el termistor está siendo leído. Si la lectura de la temperatura es importante se debe apagar el sensor de temperatura mientras se toma la lectura.