

---

# Modelo Serie 4300

## Medidor de tensión de cuerda vibrante (EX, BX, NX)

### Manual de instrucciones





## **DECLARACIÓN DE GARANTÍA**

---

GEOKON garantiza que sus productos estarán libres de defectos en sus materiales y su mano de obra, bajo uso y funcionamiento normal, durante un período de 13 meses a partir de la fecha de compra. Si la unidad no funciona correctamente, debe ser devuelta a la fábrica para su evaluación, con el flete pagado. Una vez que sea examinada por GEOKON, si se determina que la unidad está defectuosa, se reparará o reemplazará sin cargos. Sin embargo, la **GARANTÍA SE INVALIDA** si la unidad muestra evidencias de haber sido manipulada o de haber sido dañada como resultado de corrosión o corriente, calor, humedad o vibración excesivos, especificaciones incorrectas, mala aplicación, mal uso u otras condiciones de funcionamiento fuera del control de GEOKON. Los componentes que se desgastan o dañan por el uso incorrecto no tienen garantía. Esto incluye los fusibles y las baterías.

GEOKON fabrica instrumentos científicos cuyo uso indebido es potencialmente peligroso. Los instrumentos están diseñados para ser instalados y utilizados solo por personal calificado. No hay garantías, excepto las que se indican en este documento. No existe ninguna otra garantía, expresa o implícita, incluyendo, sin limitación a, las garantías de comercialización implicadas o de adecuación para un propósito en particular. GEOKON no se hace responsable por cualquier daño o pérdida causada a otros equipos, ya sea directo, indirecto, incidental, especial o consecuente que el comprador pueda experimentar como resultado de la instalación o uso del producto. La única compensación para el comprador ante cualquier incumplimiento de este acuerdo por parte de GEOKON o cualquier incumplimiento de cualquier garantía por parte de GEOKON no excederá el precio de compra pagado por el comprador a GEOKON por la unidad o las unidades, o el equipo directamente afectado por tal incumplimiento. Bajo ninguna circunstancia, GEOKON reembolsará al reclamante por pérdidas incurridas al retirar y/o volver a instalar el equipo.

Se tomaron todas las precauciones para garantizar la exactitud en la preparación de los manuales y/o el software; sin embargo, GEOKON no asume responsabilidad alguna por omisiones o errores que puedan surgir ni asume responsabilidad por daños o pérdidas que resulten del uso de los productos de acuerdo con la información contenida en el manual o software.

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

---

<b>1. TEORÍA DE FUNCIONAMIENTO</b>	1
<b>2. INSTALACIÓN</b>	3
<b>2.1 REQUISITOS DEL BARRENO</b>	3
<b>2.2 PRUEBAS PRELIMINARES</b>	4
<b>2.3 MONTAJE DEL ENSAMBLAJE DE CALCE Y PLACA</b>	4
<b>2.4 PROTEGER LOS ORIFICIOS SELLADORES</b>	5
<b>2.5 COLOCANDO EL MEDIDOR DE TENSIÓN (TIPO RECUPERABLE)</b>	5
<b>2.6 RECUPERACIÓN DEL MEDIDOR DE TENSIÓN</b>	6
<b>2.7 CAJAS DE EMPALME Y CONEXIÓN</b>	6
<b>3. REALIZANDO LAS LECTURAS</b>	8
3.7.1 OPERACIÓN DE LA GK-404	8
<b>3.8 GK-405 CONSOLA DE LECTURA DE CUERDA VIBRANTE</b>	9
3.8.1 CONECTAR SENSORES CON CONECTORES DE PASO ADJUNTOS DE 10 PUNTOS	9
3.8.2 CONECTAR SENSORES CON CONDUCTORES DESCUBIERTOS	9
3.8.3 OPERACIÓN DE LA GK-405	9
<b>3.9 MEDICIÓN DE TEMPERATURAS</b>	9
<b>4. REDUCCIÓN DE DATOS</b>	11
<b>4.1 CAMBIO EN EL CÁLCULO DE LA TENSIÓN</b>	11
<b>4.2 FACTORES AMBIENTALES</b>	11
<b>4.3 FACTORES DE SENSIBILIDAD DEL MEDIDOR</b>	11
<b>4.4 CORRECCIONES DE CAMBIOS DE TEMPERATURA</b>	13
<b>5. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS</b>	14
<b>APPENDIX A. ESPECIFICACIONES</b>	15
<b>A.1 MEDIDOR DE TENSIÓN</b>	15
<b>A.2 TERMISTOR</b>	15
<b>APPENDIX B. DERIVACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR</b>	16
<b>B.1 RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 3KΩ</b>	16
<b>B.2 RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 10KΩ</b>	17
<b>APPENDIX C. CAMBIOS DE TENSIÓN BIAxIAL</b>	18

## **FIGURAS**

---

<b>FIGURA 1: MEDIDOR DE TENSIÓN DE CUERDA VIBRANTE</b> .....	1
<b>FIGURA 2: MEDIDOR DE TENSIÓN CON CALCE, TORNILLO Y TUERCA</b> .....	4
<b>FIGURA 3: ENSAMBLAJE DE LA HERRAMIENTA DE INSTALACIÓN</b> .....	5
<b>FIGURA 4: CONSOLA DE LECTURA GK-404</b> .....	8
<b>FIGURA 5: CONECTOR LEMO A GK-404</b> .....	8
<b>FIGURA 6: CONSOLA DE LECTURA GK-405</b> .....	9
<b>FIGURA 7: SENSIBILIDAD DEL MODELO 4300EX VS. LA CONSTANTE DE LA ROCA</b> ....	12
<b>FIGURA 8: SENSIBILIDAD DEL MODELO 4300BX VS. LA CONSTANTE DE LA ROCA</b> ....	12
<b>FIGURA 9: SENSIBILIDAD DEL MODELO 4300NX VS. LA CONSTANTE DE LA ROCA</b> ....	12

## **TABLAS**

---

<b>TABLA 1:</b> CÁLCULOS DE MUESTRA.....	11
<b>TABLA 2:</b> ESPECIFICACIONES.....	15
<b>TABLA 3:</b> RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 3K $\Omega$ .....	16
<b>TABLA 4:</b> RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 10K $\Omega$ .....	17

## **ECUACIONES**

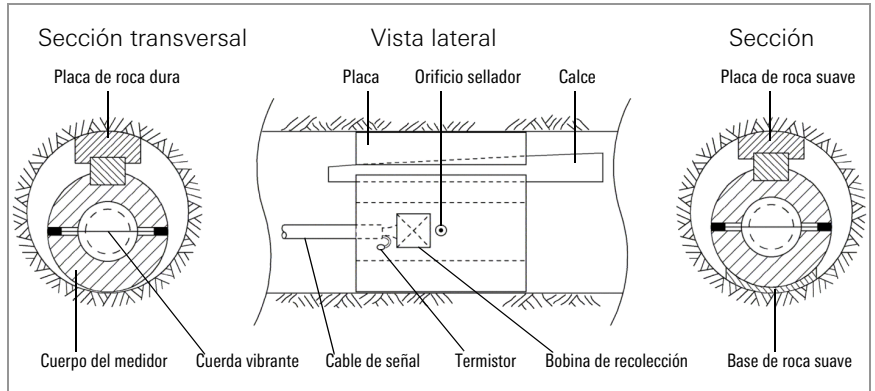
---

<b>ECUACIÓN 1: CAMBIO EN LA TENSIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>ECUACIÓN 2: CORRECCIÓN DE LA TEMPERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>ECUACIÓN 3: RESISTENCIA DE TERMISTOR DE <math>3K\Omega</math> .....</b>	<b>16</b>
<b>ECUACIÓN 4: RESISTENCIA DE TERMISTOR DE <math>10K\Omega</math> .....</b>	<b>17</b>
<b>ECUACIÓN 5: TENSIÓN DEL PLANO.....</b>	<b>18</b>
<b>ECUACIÓN 6: TENSIÓN EN CUALQUIER DIRECCIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>ECUACIÓN 7: TENSIONES MÁXIMAS SECUNDARIAS Y ÁNGULO.....</b>	<b>18</b>



## 1. TEORÍA DE FUNCIONAMIENTO

Los medidores de tensión de cuerda vibrante GEOKON están diseñados principalmente para realizar mediciones a largo plazo en los cambios de tensión en roca, utilizando un transductor de cuerda vibrante para medir la deformación de un anillo de acero con paredes gruesas precargado en un barreno por un ensamblaje de un calce y una placa, como se muestra en la figura de abajo.



**FIGURA 1:** Medidor de tensión de cuerda vibrante

Al usarse, los cambios de tensión en la roca imponen cambios en la carga del cuerpo del medidor provocando desviaciones en su cuerpo, esta desviación indica un cambio en la tensión y frecuencia de resonancia en la vibración del componente de cuerda vibrante. El cuadrado de la frecuencia de vibración es directamente proporcional al cambio en el diámetro del medidor y, por calibración, al cambio de tensión en la roca.

La calibración real del medidor depende de varios factores, incluidas las constantes elásticas de la roca en donde está instalado, la tensión previa aplicada durante la instalación, la posición del medidor de tensión con respecto a la dirección de la tensión en la roca principal y al área de contacto de la placa. Por lo tanto, la precisión de la lectura del medidor es sumamente indeterminada, y la magnitud de la tensión indicada solo puede ser aproximada.

Un ensamblaje de bobina e imán localizado cerca del cable, se usa para excitar al cable y percibir la frecuencia resultante de la vibración. Cuando el medidor está conectado, se aplica una pulsación de frecuencia variable al ensamblaje de bobina e imán, provocando que el cable vibre a su frecuencia de resonancia. El cable sigue vibrando, y una señal en la frecuencia del medidor se induce a la bobina receptora y se transmite a la consola de lectura en donde es acondicionada y desplegada.

En teoría, cuando la constante efectiva del medidor de tensión (de aproximadamente 28 GPa ( $4 \times 10^6$  PSI)) es más del doble de la constante de la roca huésped, la conversión en la lectura de los cambios de tensión no requieren un conocimiento preciso de la constante de la roca, y por esta razón se usa el término de medidor de tensión para este dispositivo. Sin embargo, en la mayoría de las rocas, especialmente en rocas más duras, debe conocerse la constante para mejorar la precisión en las mediciones de la tensión, y las curvas de calibración, que se proporcionan en el presente, muestran factores de sensibilidad para materiales de constantes diferentes. Debe tomarse en cuenta que conforme cambian las constantes de la roca por un factor de 10, el factor del medidor cambia solo por un factor de dos.

El medidor de tensión es un dispositivo uniaxial. Para evaluar por completo los cambios de tensión en un plano dado, se necesitan tres medidores de tensión, instalados a orientaciones de  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $90^\circ$ .

El cable en los medidores de tensión Modelo Serie 4300 están colocados de forma perpendicular a la dirección a la que se carga el cuerpo del medidor, con vistas a minimizar los efectos de carga de punto, carga fuera del centro, etc. Esto le da al medidor un rango muy alto, y, conforme la carga aumenta, el cable se tensa, el cable nunca quedará flojo.

La instalación del medidor se logra al introducir un calce entre el cuerpo del medidor y la placa, que está en contacto con las paredes del barreno. La precarga de los niveles deseados, se logra al introducir aun más el calce con la herramienta de fijación. En rocas suaves, una placa de roca suave y una base de roca suave se usan para incrementar el área de contacto.

El medidor está fabricado con materiales resistentes a la corrosión y debe tener un tiempo de vida indefinido incluso bajo las condiciones más severas.

## 2. INSTALACIÓN

---

### 2.1 REQUISITOS DEL BARRENO

Los medidores de tensión están diseñados para usarse en perforaciones diamantinas de paredes suaves. Los medidores de tensión pueden instalarse en perforaciones hechas de forma percusiva y perforaciones hechas con brocas, siempre y cuando se tenga cuidado de contar con el diámetro apropiado con una pared suave. La respuesta (calibración) del medidor puede verse afectada si las paredes son ásperas.

#### **CONFIGURACIONES ESTÁNDAR DEL ORIFICIO:**

Los medidores de tensión **Modelo 4300EX** están diseñados para usarse en perforaciones diamantinas EX de 39 mm (1.5 pulgadas), y el orificio puede tener un diámetro de entre 37 mm (1.45 pulgadas) y 39 mm (1.55 pulgadas) al usar el ensamblaje de calce y placa.

Los medidores de tensión **Modelo 4300BX** están diseñados para usarse en perforaciones diamantinas BX de 60 mm (2.36 pulgadas), y el orificio puede tener un diámetro de entre 59 mm (2.30 pulgadas) y 61 mm (2.40 pulgadas) al usar el ensamblaje de calce y placa.

Los medidores de tensión **Modelo 4300NX** están diseñados para usarse en perforaciones diamantinas NX de 76 mm (2.98 pulgadas), y el orificio puede tener un diámetro de entre 75 mm (2.95 pulgadas) y 77.5 mm (3.05 pulgadas) al usar el ensamblaje de calce y placa. Existen placas de tamaños superiores disponibles para barrenos de tamaños superiores (consulte al fabricante).

Después de perforar, el orificio debe limpiarse cuidadosamente con agua o soplando con aire comprimido. El diámetro del barreno debe verificarse usando los medidores GO / NO-GO como se indica a continuación:

Atornille el medidor "GO" en la sección de ¼ de pulgada de la varilla con rosca de ¼-20 hacia la izquierda en uno de sus extremos girándolo *en el sentido opuesto al de las manecillas del reloj*.

**Nota:** Todos los extremos macho de las varillas de ¼ de pulgada tienen conexiones normales de rosca hacia la derecha, excepto por la primera sección, que tiene rosca hacia la izquierda.

Introduzca el medidor "GO" en el barreno.

Agregue una sección de varilla de ¼ de pulgada al ensamblaje insertando el extremo macho roscado en el acoplador hembra girándolo en el sentido de las manecillas del reloj.

Continúe agregando secciones de varilla de ¼ de pulgada mientras presiona el medidor en el interior del barreno hasta que alcance la profundidad deseada para la instalación del medidor de tensión. Si el diámetro del barreno es correcto, el medidor **"GO" se ajusta correctamente** al barreno hasta la profundidad de instalación. Si el medidor "GO" no se ajusta al barreno, o no alcanza la profundidad de instalación, el barreno es demasiado pequeño.

Retire el medidor "GO" del barreno de la varilla de ¼ de pulgada girándolo *en el sentido de las manecillas del reloj*.

Atornille el medidor "NO-GO" en la sección de ¼ de pulgada de la varilla girándolo *en el sentido opuesto al de las manecillas del reloj*.

Intente introducir el medidor "NO-GO" en el barreno. Si el diámetro del barreno es correcto, el medidor **"NO-GO" no se ajustará correctamente** en el barreno hasta la profundidad de instalación. Si el medidor "NO-GO" se ajusta al barreno, el diámetro del barreno es demasiado grande.

Retire el medidor "GO" del barreno de la varilla de ¼ de pulgada girándolo *en el sentido de las manecillas del reloj*.

Si el barreno no pasó las pruebas anteriores, vuelva a trabajar en él según sea necesario.

Repita los pasos anteriores hasta que la medida del barreno sea correcta.

## 2.2 PRUEBAS PRELIMINARES

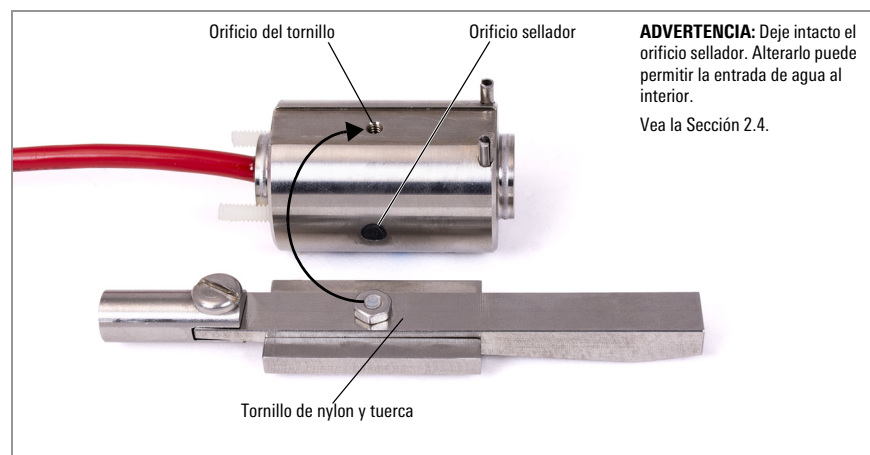
Antes de instalar los medidores en el campo, lleve a cabo las pruebas preliminares siguiendo las instrucciones siguientes:

1. Conecte el medidor a una consola de lectura. Vea la Sección 3 para más información.
2. Tome una lectura. Las lecturas cero en el sitio deberían coincidir con las lecturas de fábrica con diferencia de unos pocos dígitos después de realizar las correcciones de temperatura. Vea la Sección 4.4 para más información sobre las correcciones de temperatura.
3. Use un ohmímetro para revisar la continuidad de la corriente eléctrica. La resistencia entre los dos cables conductores (normalmente rojo y negro) debe ser de 180 ohms para los modelos BX y NX, y de 90 ohms para el modelo EX. Recuerde añadir la resistencia del cable a  $14.7\Omega/1000'$  ( $48.5\Omega/km$ ) a 20 °C, aproximadamente. Multiplique este factor por dos para considerar ambas direcciones.
4. Usando un ohmímetro, verifique la resistencia entre los dos cables del termistor (normalmente blanco y verde). Usando la Tabla 3, convierta la resistencia en temperatura. Compare los resultados con la temperatura ambiental actual.

## 2.3 MONTAJE DEL ENSAMBLAJE DE CALCE Y PLACA

Los ensamblajes de calce y placa se envían por separado. Se mantienen juntos con una tuerca y un tornillo de nylon. Siga los pasos siguientes:

1. Retire la tuerca y luego use el tornillo de nylon para montar el ensamblaje de calce y placa al cuerpo del medidor de tensión.
2. Coloque el calce de tal forma que el extremo angosto esté en la misma dirección del cable, como se muestra en la figura de abajo.



**FIGURA 2:** Medidor de tensión con calce, tornillo y tuerca

3. Apriete el tornillo de nylon en el orificio con rosca del cuerpo. **No apriete demasiado el tornillo o podría romperse;** está hecho de nylon para que pueda romperse fácilmente más adelante durante la instalación.

**Nota:** Los medidores de tensión BX y NX usan el mismo calce. Hay dos orificios en el calce: el más cercano a la punta es para el modelo BX, el más alejado de la punta es para el modelo NX.

## 2.4 PROTEGER LOS ORIFICIOS SELLADORES

Los orificios selladores de los modelos EX están llenos con un sellador que hace hermético el interior. Tenga cuidado de no dañar este sellador: hacerlo podría permitir la entrada de agua al interior, lo cual podría dejar inoperable al medidor de tensión.

**Nota:** Los modelos BX y NX tienen una tapa de metal soldada sobre los orificios selladores.

## 2.5 COLOCANDO EL MEDIDOR DE TENSIÓN (TIPO RECUPERABLE)

Monte el medidor de tensión en la herramienta de fijación presionando los pernos de nylon con rosca del medidor en los orificios correspondientes del cabezal de la herramienta de fijación. Presione hacia adentro con fuerza moderada. Asegúrese de que los pernos estén completamente adentro hasta que no existan espacios entre el medidor de tensión y la herramienta de fijación.

Introduzca los conductores principales a través de la ranura en el cabezal de la herramienta de fijación.

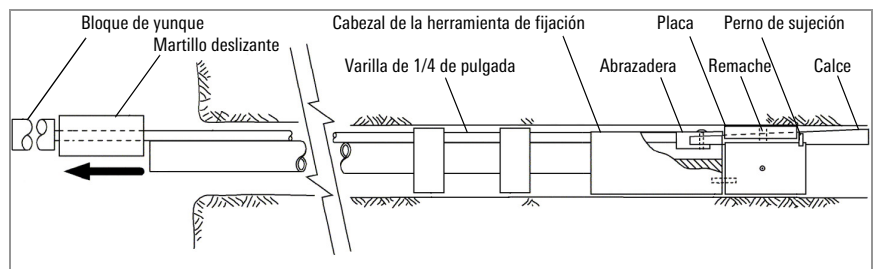
Conecte la primera sección de  $\frac{1}{4}$  de pulgada con rosca de  $\frac{1}{4}$ -20 hacia la izquierda en uno de los extremos a la "abrazadera" que se encuentra en el extremo delgado del calce dándole vuelta a la varilla *en el sentido opuesto al de las manecillas del reloj*.

Fije la primera sección de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de la varilla de posicionamiento en la parte de atrás del cabezal de la herramienta de fijación. Introduzca el medidor de tensión en el interior del orificio usando la varilla de posicionamiento. Los botones en los conectores de la varilla de fijación indican la posición del ensamblaje de calce y placa, p. ej., para hacer mediciones en posición vertical, mantenga los botones en la parte superior de la varilla.

Conforme introduzca la varilla de posicionamiento de  $\frac{3}{4}$  de pulgada en el orificio, agregue nuevas secciones de varilla de  $\frac{3}{4}$  y  $\frac{1}{4}$  de pulgada hasta alcanzar la profundidad deseada.

**Precaución:** Use guantes durante este procedimiento para proteger el pulgar cuando presione los botones en las varillas de  $\frac{3}{4}$  de pulgada.

Deslice el martillo deslizante sobre la última sección de varilla de  $\frac{1}{4}$  de pulgada y luego enrosque el yunque bloque en el extremo exterior de la varilla de  $\frac{1}{4}$  de pulgada. Conecte los cables conductores a la consola de lectura y haga las lecturas iniciales. Consulte la Sección 3 para más información.



**FIGURA 3:** Ensamblaje de la herramienta de instalación del medidor de tensión de cuerda vibrante

Sujete firmemente la varilla de posicionamiento en la profundidad y posición correcta, deslice el martillo deslizante de vuelta a la varilla de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, luego

deslícelo rápidamente hacia el yunque golpeándolo de forma fuerte y firme. Esto romperá el remache que sostiene al calce con la placa y jalará la calza hacia la placa haciendo que se expanda contra la pared del barreno.

Después del primer golpe, haga otra lectura en la consola de lectura y observe los cambios. Las precargas recomendadas son las siguientes: Para el tamaño EX un cambio en la lectura de 2000 dígitos en el canal F, para el tamaño BX un cambio en la lectura de 400 dígitos en el canal B, para el tamaño NX un cambio en la lectura de 200 dígitos en el canal B. (Tome en cuenta que es probable que las lecturas iniciales en el medidor de tensión disminuyan ligeramente dentro del primer o de los primeros dos días conforme el instrumento se ajusta en su lugar.)

Golpee con el martillo las veces que sean necesarias hasta alcanzar esta lectura.

**Deje de golpear cuando varios golpes seguidos produzcan cambios muy pequeños o dejen de producir cambios en la lectura. ¡Seguir martillando puede romper el calce!** Cuando se alcance el objetivo en la lectura, o si varios golpes seguidos del martillo producen cambios muy pequeños o ningún cambio, desconecte la varilla de ¼ de pulgada de la abrazadera del calce girándola **en el sentido de las manecillas del reloj**. Retire la varilla de ¼ de pulgada del orificio, y luego desvincule la herramienta de fijación del medidor de tensión tirando de ella.

Para la instalación de varios medidores en un solo orificio, coloque los cables conductores de los medidores más profundos a través de la cavidad lateral en el cabezal de la herramienta de fijación. Mantenga la tensión en estos cables conforme los medidores subsecuentes sean introducidos en el orificio.

Si es necesario, después de colocar los medidores y obtener las lecturas finales, introduzca los cables conductores en el barreno y selle el barreno usando un perno de anclaje expansivo para roca o un perno corto. Esto desalentará el vandalismo, si esto es un problema.

## 2.6 RECUPERACIÓN DEL MEDIDOR DE TENSIÓN

Después de las pruebas, el medidor de tensión puede retirarse del barreno usando la herramienta de fijación.

Solo se necesitan las varillas de fijación más largas, junto con el cabezal de la herramienta de fijación, que se usa para golpear la punta exterior del calce. Esto sacará al calce de la parte de abajo de la placa y permitirá que el medidor de tensión pueda sacarse del orificio tirando del cable eléctrico. Asegúrese de que el cabezal de fijación esté orientado de tal forma que la parte plana de la cara frontal quede opuesta al calce. Algunas veces puede recuperarse el medidor de tensión completo de esta forma, es decir, el calce, placa y cuerpo del medidor de tensión.

Para volver a usar el medidor de tensión necesitará un tornillo de nylon nuevo. (en cada entrega se incluyen algunos tornillos de nylon de repuesto). Sin embargo, existe la posibilidad de que el calce y la placa se pierdan en el barreno; por lo tanto, se recomienda ordenar también repuestos de estos.

**Nota:** El medidor de tensión tamaño BX y el medidor de tensión tamaño NX usan el mismo calce. Pero hay dos orificios en el calce. El más cercano a la punta es para el tamaño BX, el más alejado de la punta es para el tamaño NX.

## 2.7 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 medidores de tensión 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 medidor de tensión 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. Contacte a 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. Contacte a GEOKON para obtener información específica sobre las aplicaciones.

### 3. REALIZANDO LAS LECTURAS

La consola de lectura de cuerda vibrante Modelo GK-404 es una unidad portátil, de bajo uso de energía, que es 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 como dígitos, frecuencia (Hz), períodos ( $\mu$ s), o microdeformaciones ( $\mu$ e). La GK-404 también muestra la temperatura del transductor (incorporado en el termistor) con una resolución de 0.1 °C.



FIGURA 4: Consola de lectura GK-404



FIGURA 5: Conector Lemo a GK-404

#### 3.7.1 OPERACIÓN DE LA GK-404

1. Fije los conductores sueltos alineando el círculo rojo del conector Lemo plata con la línea roja de la parte superior de la GK-404 (vea Figura 5). Inserte el conector Lemo en la GK-404 hasta que quede fijo en su posición.
2. Conecte cada uno de los broches a los conductores del sensor según su color, considerando que el azul representa la protección (descubierto).
3. Para encender la GK-404, presione el botón **Encendido/Apagado** en el panel frontal de la unidad. Se mostrará la pantalla inicial de configuración.
4. Después de un momento, la GK-404 comenzará a tomar lecturas y las mostrará con base en las configuraciones de los botones **Pos** y **Modo**.

La pantalla de la unidad mostrará lo siguiente (de izquierda a derecha):

- La posición actual: configurada por el botón **Pos**, mostrado de la A a la F.
- La lectura actual: configurada por el botón **Modo**, mostrada como un valor numérico seguido por la unidad de medición.
- La lectura de la temperatura del instrumento fijado en grados Centígrados.

Use los botones **Pos** y **Modo** para seleccionar la posición correcta y las unidades a mostrar para el modelo de equipo que adquirió.

La GK-404 continuará tomando mediciones y mostrando las lecturas hasta que la unidad se apague, ya sea en forma manual o por el temporizador de apagado automatizado (en caso de contar con uno).

Para obtener más información, consulte el manual de la GK-404.



### 3.8 GK-405 CONSOLA DE LECTURA DE CUERDA VIBRANTE

La consola de lectura GK-405 cuenta con dos componentes:

- La unidad de consola de lectura, que consiste en una computadora personal portátil Windows con la aplicación para la consola de lectura de cuerda vibrante GK-405.
- El módulo remoto de la GK-405, está alojado en una carcasa resistente a la intemperie.

El módulo remoto puede conectarse con cables al sensor a través de:

- Conductores sueltos con caimanes, en caso de que el cable sensor termine en cables descubiertos.
- Un conector de 10 pines.

Las dos unidades se comunican de forma inalámbrica a través de Bluetooth®, un protocolo de comunicaciones digitales confiable. Usando Bluetooth, la unidad puede operar desde el receptáculo de un módulo remoto, o, si le es más conveniente, puede retirarse y operarse a hasta 20 metros del módulo remoto.

La GK-405 muestra la temperatura del termistor en grados Celsius.

Para obtener más información, consulte el Manual de Instrucciones de la GK-405.



FIGURA 6: Consola de lectura GK-405

#### 3.8.1 CONECTAR SENSORES CON CONECTORES DE PASO ADJUNTOS DE 10 PUNTOS

Alinee las ranuras del conector del sensor (macho), con el conector adecuado en la consola (conector hembra, sensor etiquetado o célula de carga). Empuje el conector hasta que quede en su posición, luego gire el anillo exterior del conector macho hasta que quede fijo en su posición.

#### 3.8.2 CONECTAR SENSORES CON CONDUCTORES DESCUBIERTOS

Fije los conductores sueltos a los conductores descubiertos del sensor de cuerda vibrante GEOKON conectando cada uno de los broches a los conductores del sensor según su color, considerando que el azul representa la protección (descubierto).

#### 3.8.3 OPERACIÓN DE LA GK-405

Presione el botón de encendido en la unidad de lectura. Una vez que la configuración se termine, se encenderá una luz azul intermitente indicando que los dos componentes están listos para conectarse en forma inalámbrica. Arranque el programa GK-405 VVRA siguiendo los pasos siguientes:

1. Pulse "Iniciar" en la ventana principal de su PC portátil.
2. Seleccione "Programas".
3. Pulse el icono GK-405 VVRA.

Después de unos segundos, la luz azul deberá dejar de parpadear y permanecerá encendida. La ventana de Lecturas en vivo se desplegará en su PC portátil.

Configure el modo Mostrar en la letra correcta requerida para su equipo. Para obtener más información, consulte el Manual de instrucciones de la GK-405.

### 3.9 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-405 leerán el termistor y mostrarán la temperatura en grados Centígrados.

***PARA LEER LAS TEMPERATURAS USANDO UN OHMÍMETRO:***

1. 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  $48.5\Omega$  por km ( $14.7\Omega$  por cada 1000 pies) a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Multiplique estos factores por dos para contabilizar ambas direcciones.
2. Busque las temperaturas de las resistencias medidas en Apéndice B.

## 4. REDUCCIÓN DE DATOS

### 4.1 CAMBIO EN EL CÁLCULO DE LA TENSIÓN

Para obtener el cambio en la tensión en cualquier momento, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma = (R_1 - R_0) G$$

#### **ECUACIÓN 1:** Cambio en la tensión

En donde;

$\sigma$  = cambio en la tensión en psi.

$R_0$  = lectura inicial después de haber colocado el medidor en posición.

$R_1$  = lectura a la tensión subsecuente.

La Tabla 1 muestra ejemplos de cálculos para varios modelos.

Modelo	EX	BX	NX
Lectura inicial mostrada ( $R_0$ )=	10.000	4.000	2.500
Lectura subsecuente ( $R_1$ )=	12.000	5.000	3.000
Valores ingresados en la ecuación anterior	$\sigma = (12.000 - 10.000) 0,50$	$\sigma = (5.000 - 4.000) 2,5$	$\sigma = (3.000 - 2.500) 6,0$
Cambio en la tensión =	$\sigma = 1.000$ psi	$\sigma = 2.500$ psi	$\sigma = 3.000$ psi

**TABLA 1:** Cálculos de muestra

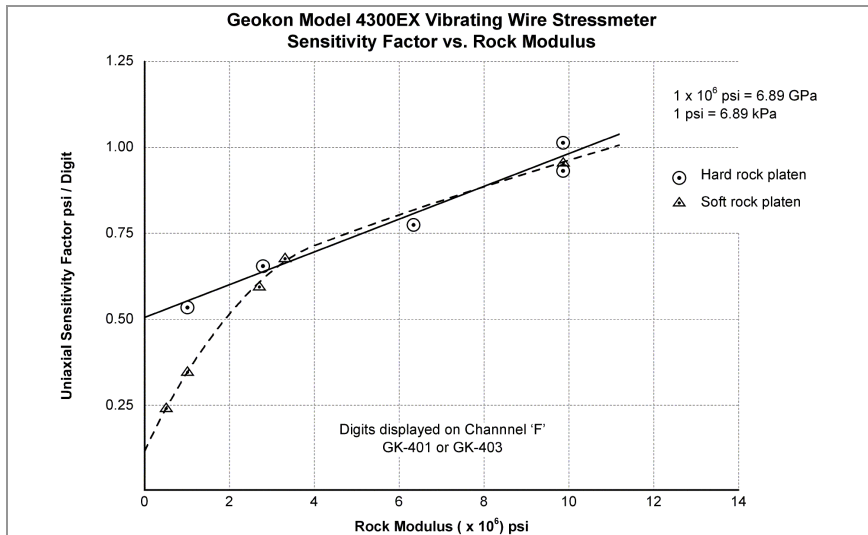
Las posiciones F y B son usadas por los medidores de tensión, el procesador convierte la lectura en períodos a unidades de frecuencia cuadradas, lo cual es proporcional a la deformación del cable, desviación del medidor y tensión aplicada. Una lectura de 10.000 en el canal F, corresponde a un período de 316,2 microsegundos en el canal A.

### 4.2 FACTORES AMBIENTALES

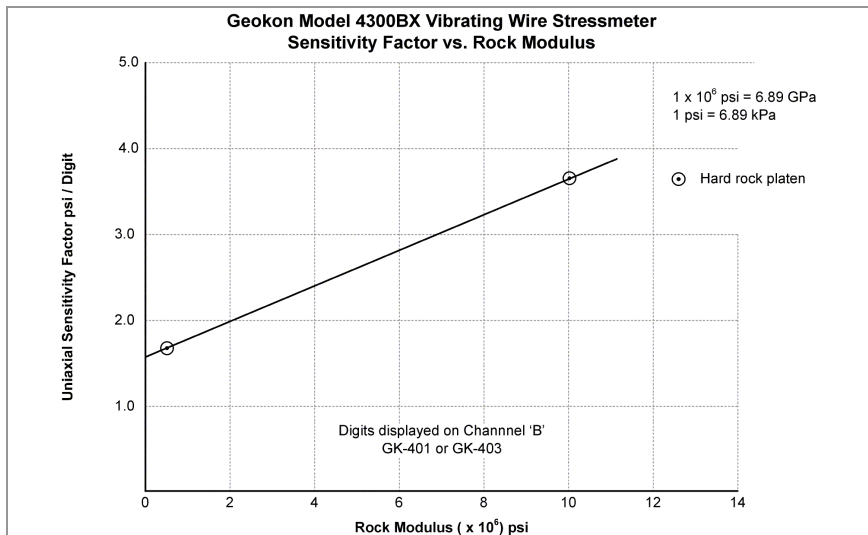
Debido a que el propósito de la instalación del medidor de tensión es monitorear las condiciones en la obra, deberían observarse y registrarse los factores que afectan estas condiciones. Algunos efectos aparentemente menores pueden tener una gran influencia en el comportamiento de la estructura objeto 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 consecuencias de excavaciones o llenados, el tráfico, cambios barométricos y de temperatura, cambios en el personal, actividades de construcción cercanas, cambios estacionales, etc.

### 4.3 FACTORES DE SENSIBILIDAD DEL MEDIDOR

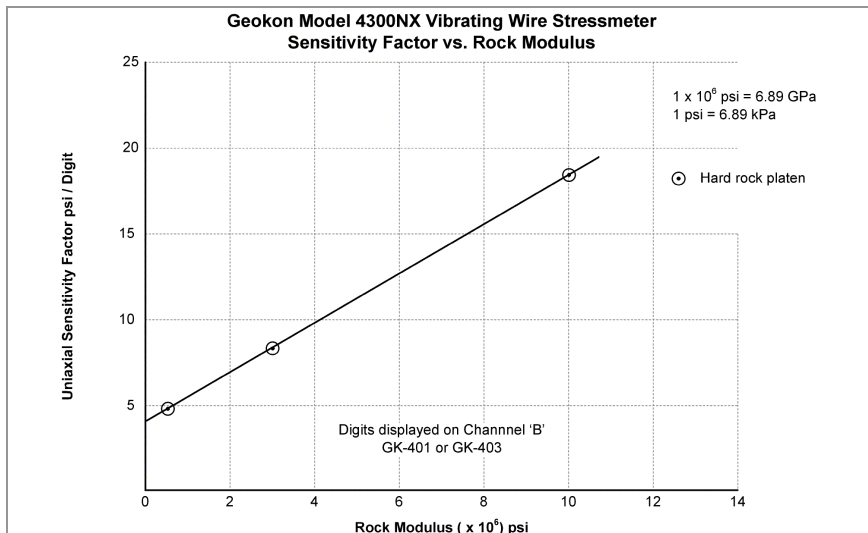
Las gráficas en la Figura 7, la Figura 8 y la Figura 9 se usan para determinar la sensibilidad de la tensión o el factor del medidor para rocas de constantes diferentes. Los factores de sensibilidad se basan en datos de experimentos realizados en muestras de roca y solo pueden usarse como guía. Para mediciones más precisas de la sensibilidad de la tensión, deben llevarse a cabo calibraciones en muestras de la roca que será monitoreada.



**FIGURA 7:** Factor de sensibilidad del Modelo 4300EX vs. la constante de la roca



**FIGURA 8:** Factor de sensibilidad del Modelo 4300BX vs. la constante de la roca



**FIGURA 9:** Factor de sensibilidad del Modelo 4300NX vs. la constante de la roca

#### 4.4 CORRECCIONES DE CAMBIOS DE TEMPERATURA

Los materiales usados en la fabricación del medidor de tensión se ven afectados por cambios en la temperatura ambiental. Dado que estos medidores suelen instalarse bajo la tierra en entornos con una temperatura constante, normalmente no se requieren correcciones. Sin embargo, si se desea la máxima precisión, o los cambios en la temperatura son extremos, puede aplicarse una corrección.

El factor de corrección de la temperatura para un medidor que es leído en una consola de lectura es de dos dígitos/°C, lo que indica una aparente disminución de la tensión en la roca provocada por un aumento en la temperatura. La corrección de la temperatura se obtiene con la ecuación:

$$\sigma_T = (R_1 - R_0) G + (T_1 - T_0) 2G$$

**ECUACIÓN 2:** Corrección de la temperatura

En donde:

$\sigma_T$  = el cambio en la tensión corregido para la temperatura.

$R_0$  = lectura inicial después de haber colocado el medidor en posición.

$R_1$  = lectura a la tensión subsecuente.

$T_0$  = temperatura inicial °C.

$T_1$  = temperatura subsecuente °C.

$G$  = factor de sensibilidad tomado de la Sección 4.3.

Debe tomarse en cuenta que esta corrección del factor de la temperatura es para un medidor sin restricciones en un campo abierto. En condiciones de campo en las cuales el medidor se ha colocado firmemente en un barreno, la sensibilidad del medidor a la temperatura también dependen de las interacciones entre el medidor y la roca, y estas relaciones son muy complejas y se encuentran más allá del alcance de este manual. Una calibración será necesaria para la medición precisa de las características térmicas del medidor.

## 5. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

---

El mantenimiento y la resolución de problemas está restringido a revisiones periódicas de las conexiones del cable y el mantenimiento de las terminales. Una vez instalados, estos instrumentos son generalmente inaccesibles y las soluciones son limitadas. En caso de que surjan dificultades, consulte la siguiente lista de problemas y posibles soluciones. Devuelva cualquier deformímetro defectuoso a la fábrica. **Los instrumentos no deberán abrirse en el campo.** Para obtener información de resolución de problemas y soporte adicional, contacte a GEOKON.

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

- Verifique si existe un circuito abierto. Revise todas las conexiones, terminales y enchufes. Si encuentra algún corte en el cable, únalo siguiendo las instrucciones en la Sección 2.7.

### **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 2.7.
- Puede que el agua haya penetrado en el instrumento. No hay solución.

### **SÍNTOMA: LAS LECTURAS DEL INSTRUMENTO SON INESTABLES**

- ¿La consola de lectura está posicionada correctamente? Si está utilizando un registrador de datos para registrar las lecturas automáticamente, ¿las configuraciones de excitación de la frecuencia de barrido son correctas?
- ¿Hay una fuente de interferencia eléctrica cerca? Los posibles candidatos son generadores, motores, equipo de soldadura por arco, líneas de alto voltaje, etc. De ser posible, mueva el cable del instrumento lejos de líneas de corriente y equipo eléctrico o instale un filtro electrónico.
- Asegúrese de que el cable blindado de drenaje esté conectado a tierra. Conecte el cable blindado de drenaje a la consola de lectura usando la pinza azul.
- ¿La consola de lectura o el registrador de datos funcionan con otro instrumento? De no ser así, puede ser que la batería esté baja o posiblemente tenga alguna falla.

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

- ¿La consola de lectura o el registrador de datos funcionan con otro instrumento? De no ser así, puede ser que la batería esté baja o posiblemente tenga alguna falla.
- ¿El cable está cortado o aplastado? Revise la resistencia del cable conectando un ohmímetro en las cabezas del sensor, la resistencia es de aproximadamente  $48.5\Omega$  por km ( $14.7\Omega$  por cada 1000 pies) de cable de 22 AWG.

Si la resistencia es demasiado alta o infinita, el cable probablemente está roto. Si la resistencia es demasiado baja, los conductores pueden tener un corto. Si existe algún corte o corto, únalo siguiendo las instrucciones en Sección 2.7.

Refiérase a la resistencia esperada para varias combinaciones de cables a continuación.

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

Rojo/Negro  $\cong 180\Omega$  (BX,NX)  $\cong 90\Omega$  (EX)

Verde/Blanco  $3000\Omega$  a 25 °C

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

## APÉNDICE A. ESPECIFICACIONES

### A.1 MEDIDOR DE TENSIÓN

Modelo	EX	BX	NX
Rango nominal <sup>1</sup>	35 – 100 MPa (5000 – 15000 psi)		
Resolución	2 – 7 KPa (0,25 – 1 psi)	10 – 30 KPa (1,5 – 4 psi)	35 – 140 KPa (5 – 20 psi)
Precisión <sup>2</sup>	± 20 %		
Temperatura de funcionamiento <sup>3</sup>	–20 a +80 °C		
Cambio térmico cero	0,02% FS / °C	0,04% FS / °C	0,04% FS / °C
Rango de frecuencia resonante	3000 – 5000 Hz	2000 – 3500 Hz	1500 – 2500 Hz
Longitud mm (pulgadas)	44 mm (1,75 pulgadas)	70 mm (2,75 pulgadas)	76 mm (3,0 pulgadas)
Diámetro exterior	29 mm (1,125 pulgadas)	48 mm (1,875 pulgadas)	64 mm (2,50 pulgadas)
Diámetro interior	13 mm (0,5 pulgadas)	22 mm (0,875 pulgadas)	32 mm (1,25 pulgadas)
Peso kg (libras)	0,45 kg (1 libra)	0,9 kg (2 libras)	1,4 kg (3 libras)
Diámetro del barreno mm (pulgadas)	38 mm (1,485 pulgadas)	60 mm (2,36 pulgadas)	76 mm (2,98 pulgadas)
Material del medidor	Acero inoxidable		
Cable	Dos conductores o cuatro conductores, calibre 22, blindados, cubierta de PVC, 5 mm o 6 mm de diámetro		

**TABLA 2:** Especificaciones

Notas:

<sup>1</sup> Depende de la constante de la roca

<sup>2</sup> La precisión depende en gran medida de la dureza de las paredes del barreno, la firmeza del medidor y de los grados a los que las placas se ajustan al material que las rodea, incrementando así el área de contacto. También depende de la precisión con la que se conocen las constantes de elasticidad de la roca huésped.

<sup>3</sup> Hay versiones de alta temperatura disponibles (–20 °C a 200 °C)

### A.2 TERMISTOR

Rango: –80 a +150 °C

Exactitud: ±0.5 °C

Para más información, consulte el Apéndice B.

## APÉNDICE B. DERIVACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR

### B.1 RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 3KΩ

Tipos de termistor:

- YSI 44005, Dale #1C3001-B3, Alpha #13A3001-B3
- Honeywell 192-302LET-A01

Ecuación para obtener la resistencia a la temperatura:

$$T = \frac{1}{A+B(\text{Ln}R)+C(\text{Ln}R)^3} - 273.15$$

**ECUACIÓN 3:** Resistencia de termistor de 3kΩ

Donde:

T = Temperatura en °C

LnR = Registro natural de la resistencia del termistor

A =  $1.4051 \times 10^{-3}$

B =  $2.369 \times 10^{-4}$

C =  $1.019 \times 10^{-7}$

**Nota:** Coeficientes calculados entre los -50 y los +150 °C.

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

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



## B.2 RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 10KΩ

Tipo de termistor: Sensor US 103JL1A

Ecuación para obtener la resistencia a la temperatura:

$$T = \frac{1}{A+B(\ln R)+C(\ln R)^3+D(\ln R)^5} - 273.15$$

**ECUACIÓN 4:** Resistencia de termistor de 10kΩ

Donde:

T = Temperatura en °C

LnR = Registro natural de la resistencia del termistor

A = 1.127670 × 10<sup>-3</sup>

B = 2.344442 × 10<sup>-4</sup>

C = 8.476921 × 10<sup>-8</sup>

D = 1.175122 × 10<sup>-11</sup>

**Nota:** Los coeficientes optimizados para un termistor curva **J** entre las temperaturas de 0 °C y +250 °C.

Ohmios	Temp.	Ohmios	Temp.	Ohmios	Temp.	Ohmios	Temp.	Ohmios	Temp.	Ohmios	Temp.	Ohmios	Temp.
32650	0	7402	32	2157	64	763.5	96	316.6	128	148.4	160	76.5	192
31029	1	7098	33	2083	65	741.2	97	308.7	129	145.1	161	75.0	193
29498	2	6808	34	2011	66	719.6	98	301.0	130	142.0	162	73.6	194
28052	3	6531	35	1942	67	698.7	99	293.5	131	138.9	163	72.2	195
26685	4	6267	36	1876	68	678.6	100	286.3	132	135.9	164	70.8	196
25392	5	6015	37	1813	69	659.1	101	279.2	133	133.0	165	69.5	197
24170	6	5775	38	1752	70	640.3	102	272.4	134	130.1	166	68.2	198
23013	7	5545	39	1693	71	622.2	103	265.8	135	127.3	167	66.9	199
21918	8	5326	40	1637	72	604.6	104	259.3	136	124.6	168	65.7	200
20882	9	5117	41	1582	73	587.6	105	253.1	137	122.0	169	64.4	201
19901	10	4917	42	1530	74	571.2	106	247.0	138	119.4	170	63.3	202
18971	11	4725	43	1480	75	555.3	107	241.1	139	116.9	171	62.1	203
18090	12	4543	44	1432	76	539.9	108	235.3	140	114.5	172	61.0	204
17255	13	4368	45	1385	77	525.0	109	229.7	141	112.1	173	59.9	205
16463	14	4201	46	1340	78	510.6	110	224.3	142	109.8	174	58.8	206
15712	15	4041	47	1297	79	496.7	111	219.0	143	107.5	175	57.7	207
14999	16	3888	48	1255	80	483.2	112	213.9	144	105.3	176	56.7	208
14323	17	3742	49	1215	81	470.1	113	208.9	145	103.2	177	55.7	209
13681	18	3602	50	1177	82	457.5	114	204.1	146	101.1	178	54.7	210
13072	19	3468	51	1140	83	445.3	115	199.4	147	99.0	179	53.7	211
12493	20	3340	52	1104	84	433.4	116	194.8	148	97.0	180	52.7	212
11942	21	3217	53	1070	85	421.9	117	190.3	149	95.1	181	51.8	213
11419	22	3099	54	1037	86	410.8	118	186.1	150	93.2	182	50.9	214
10922	23	2986	55	1005	87	400.0	119	181.9	151	91.3	183	50.0	215
10450	24	2878	56	973.8	88	389.6	120	177.7	152	89.5	184	49.1	216
<b>10000</b>	<b>25</b>	2774	57	944.1	89	379.4	121	173.7	153	87.7	185	48.3	217
9572	26	2675	58	915.5	90	369.6	122	169.8	154	86.0	186	47.4	218
9165	27	2579	59	887.8	91	360.1	123	166.0	155	84.3	187	46.6	219
8777	28	2488	60	861.2	92	350.9	124	162.3	156	82.7	188	45.8	220
8408	29	2400	61	835.4	93	341.9	125	158.6	157	81.1	189	45.0	221
8057	30	2316	62	810.6	94	333.2	126	155.1	158	79.5	190	44.3	222
7722	31	2235	63	786.6	95	324.8	127	151.7	159	78.0	191	43.5	223

**TABLA 4:** Resistencia de termistor de 10kΩ

## APÉNDICE C. CAMBIOS DE TENSIÓN BIAIXIAL

La relación entre la deformación radial del barreno,  $U$ , y las dos tensiones máximas del plano de un barreno han sido dadas por Hast (1958) y Merrill y Peterson (1961). La ecuación para obtener la tensión del plano es:

$$U = d/Er [(\sigma_1 + \sigma_2) + 2(\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\theta]$$

### **ECUACIÓN 5:** Tensión del plano

En donde:

$\sigma_1$  y  $\sigma_2$  son las tensiones máximas en el plano del barreno.

$\theta$  es el ángulo medido en el sentido opuesto al de las agujas del reloj desde la dirección de  $\sigma_1$ .

$d$  es el diámetro del barreno.

$E$  es la Constante de Young de la roca

Se asume que la tensión medida a lo largo del medidor de tensión es proporcional a la deformación radial que ocurriría en esta dirección si el medidor de tensión no estuviera ahí, entonces el término  $d/Er$  puede ser reemplazado por uno que refleje la relación entre la constante de la roca y la constante del medidor. Hast (1958) ha mostrado que esto puede ser aplicado en un medidor de tensión uniaxial.

Para la medición de la tensión ( $\sigma_R$ ) en cualquier dirección ( $\theta$ ) se aplica la siguiente ecuación:

**Nota:**  $\theta$  se mide en el sentido opuesto al de las manecillas del reloj desde  $\sigma_1$

$$\sigma_R = 1/3 (\sigma_1 + \sigma_2) + 2/3 (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\theta$$

### **ECUACIÓN 6:** Tensión en cualquier dirección

Usando esta relación y tres mediciones en el cambio de tensión uniaxial a  $45^\circ$  de separación, las tensiones máximas secundarias  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  y el ángulo ( $\theta$ ) están dados por:

$$\sigma_1 = 3/2 a + 3/4 b$$

$$\sigma_2 = 3/2 a - 3/4 b$$

$$\theta = 1/2 \sin^{-1} ((a - \sigma_{45})/b)$$

### **ECUACIÓN 7:** Tensiones máximas secundarias y ángulo

En donde:

$$a = \sigma_0 + \sigma_{90} / 2$$

$$b = [(\sigma_{45} - a)^2 + (\sigma_0 - a)^2]^{1/2}$$

Para determinar los ángulos de  $\theta$ , debe determinarse en qué cuadrante se encuentra el ángulo. Las desigualdades para hacerlo son las siguientes:

Si  $\sigma_{45} \leq a$  y  $\sigma_0 \geq 90$ , entonces  $0 \leq \theta \leq 45^\circ$

Si  $\sigma_{45} \leq a$  y  $\sigma_0 \leq 90$ , entonces  $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

Si  $\sigma_{45} \geq a$  y  $\sigma_0 \leq 90$ , entonces  $90^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$

Si  $\sigma_{45} \geq a$  y  $\sigma_0 \geq 90$ , entonces  $135^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$

**Nota:**  $\theta$  se mide en el sentido de las agujas del reloj para  $\sigma_0$  (este es el mismo que el medido en el sentido contrario al de las manecillas del reloj para  $\sigma_1$ ).

### **POR EJEMPLO:**

Se colocan tres medidores en un barreno. El primero está a  $0^\circ$  ( $\sigma_0$ ), el segundo a  $45^\circ$  ( $\sigma_{45}$ ) y el tercero a  $90^\circ$  ( $\sigma_{90}$ ), medidos en el sentido contrario al de las manecillas del reloj desde  $0$ . Determine los cambios de tensión uniaxial para cada medidor multiplicando el cambio en la lectura por el factor de calibración. Sustituya las constantes en las ecuaciones para obtener la magnitud de cambio de las dos tensiones máximas secundarias  $\sigma_1$  relativas a  $0^\circ$ .

**CAMBIOS DE TENSION:**

Medidor 1,  $\sigma_0 = 600$  psi

Medidor 2,  $\sigma_{45} = 800$  psi

Medidor 3,  $\sigma_{90} = 300$  psi

Calcule los valores de estas constantes: a y b

$$a = \sigma_0 + \sigma_{90}/2 = 600 + 300/2 = 450$$

$$b = [(\sigma_{45} - a)^2 + (\sigma_0 - a)^2]^{1/2} = [(800 - 450)^2 + (600 - 450)^2]^{1/2} = 380,79$$

$$\sigma_1 = 3/2a + 3/4b = 3 \times 450/2 + 3 \times 380,79/4 = 960,59 \text{ psi}$$

$$\sigma_2 = 3/2a - 3/4b = 3 \times 450/2 - 3 \times 380,79/4 = 389,41 \text{ psi}$$

$$\sin 2\theta = -0,92$$

$$\theta = 33,40^\circ$$

$\sigma_1$  dirección: dado que  $\sigma_{45} > a$  y  $\sigma_0 > \sigma_{90}$ , entonces  $135 < \theta < 180^\circ$ . Por lo tanto,  $\theta = 180 - 33,40 = 146,6^\circ$ . Este se mide en el sentido opuesto al de las manecillas del reloj desde  $\sigma_0$ .

**REFERENCIAS:**

Hast, N.; LA MEDICIÓN DE LA PRESIÓN DE LAS ROCAS EN MINAS;

Sveriges Geologiska Undersökning, Arsbok 52, Series C, 3. 1958.

Merrill, R.H. y Peterson, J.R.; DEFORMACIÓN DE UN BARRENO EN ROCA;

U.S. Bureau of Mines, RI 5881.









**GEOKON®**

GEOKON  
48 Spencer Street  
Lebanon, New Hampshire  
03766, USA

Teléfono: +1 (603) 448-1562  
Email: [info@geokon.com](mailto:info@geokon.com)  
Sitio web: [www.geokon.com](http://www.geokon.com)

GEOKON  
es una compañía registrada  
que cumple con la norma **ISO**