

Modelo Serie 4200

Deformímetros de Cuerda Vibrante

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 por 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

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MODELOS	2
2.1 MODELOS 4200 Y 4200L	2
2.2 MODELOS 4200-6 Y 4200-7	2
2.3 MODELO 4202	3
2.4 MODELO 4204	3
2.5 MODELO 4210	4
3. ANTES DE LA INSTALACIÓN	5
3.1 AJUSTAR EL DEFORMÍMETRO AL RANGO DESEADO	5
3.1.1 AJUSTAR EL RANGO DEL MODELO 4202	5
3.2 ENSAMBLAJE DE MEDIDOR Y CABLE	6
3.3 PRUEBAS PRELIMINARES	7
4. PROTECCIÓN DEL INSTRUMENTO	8
4.1 EMPALME Y TERMINADO DE CABLES	8
4.2 PROTECCIÓN CONTRA INTERFERENCIA ELÉCTRICA	8
4.3 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS	8
5. INSTALAR EL MEDIDOR EN CONCRETO	10
5.1 MONTADO DIRECTO A LA VARILLA	10
5.2 MÉTODO DE SUSPENSIÓN	10
5.3 MÉTODO ALTERNATIVO DE SUSPENSIÓN	11
5.4 USAR BRIQUETAS VACIADAS PREVIAMENTE, CONCRETO LANZADO O LECHADA	12
6. TOMA DE LECTUAS	13
6.1 POSICIONES PARA LA LECTURA DEL DEFORMÍMETRO DE INCRUSTACIÓN	13
6.2 GK-404 CONSOLA DE LECTURA DE CUERDA VIBRANTE	13
6.2.1 OPERACIÓN DE LA GK-404	13
6.3 GK-405 CONSOLA DE LECTURA DE CUERDA VIBRANTE	14
6.3.1 CONECTAR SENSORES CON CONECTORES DE PASO ADJUNTOS DE 10 PUNTOS	14
6.3.2 CONECTAR SENSORES CON CONDUCTORES DESCUBIERTOS	14
6.3.3 OPERACIÓN DE LA GK-405	14
6.4 MEDICIÓN DE TEMPERATURAS	15
7. REDUCCIÓN DE DATOS	16

7.1 POSICIÓN A EN LA CONSOLA DE LECTURA	16
7.2 POSICIÓN B EN LA CONSOLA DE LECTURA	16
7.3 POSICIONES D Y E EN LA CONSOLA DE LECTURA	16
7.4 CORRECCIONES DE TEMPERATURA	17
7.4.1 CORRECCIONES PARA LOS MODELOS 4200-6/4200-7	18
7.5 EFECTOS DE ENCOGIMIENTO	18
7.6 EFECTOS DE DESLIZAMIENTO	19
7.7 EFECTO DEL CRECIMIENTO AUTÓGENO	19
7.8 CONVERTIR DEFORMACIÓN A CARGA	19
7.9 CONSTANTE EFECTIVA	19
8. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	20
APPENDIX A. ESPECIFICACIONES	23
A.1 DEFORMÍMETRO	23
A.2 TERMISTOR	23
APPENDIX B. TEORÍA DE LA OPERACIÓN	24
APPENDIX C. DERIVACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR	27
C.1 RESISTENCIA DE TERMISTOR PARA 3KΩ	27
C.2 RESISTENCIA DE TERMISTOR PARA 10KΩ	28
APPENDIX D. CARCASA DE DEFORMACIÓN SIN TENSIÓN	29
APPENDIX E. DEFORMÍMETRO DE ALTA TEMPERATURA MODELO 4200HT-T	30
APPENDIX F. REPORTES DE CALIBRACIÓN	31
APPENDIX G. MEDICIÓN Y CORRECCIÓN DE LOS EFECTOS DE LA TEMPERATURA	33

FIGURAS

FIGURA 1: FOTOGRAFÍA DE LA INSTALACIÓN IN SITU	1
FIGURA 2: MODELO 4200 DEFORMÍMETRO DE CUERDA VIBRANTE	2
FIGURA 3: MODELO 4200L DEFORMÍMETRO DE CUERDA VIBRANTE	2
FIGURA 4: MODELO 4200-6 DEFORMÍMETRO DE CUERDA VIBRANTE	2
FIGURA 5: MODELO 4200-7 DEFORMÍMETRO DE CUERDA VIBRANTE	3
FIGURA 6: MODELO 4202 DEFORMÍMETRO DE CUERDA VIBRANTE	3
FIGURA 7: MODELO 4204 DEFORMÍMETRO DE CUERDA VIBRANTE	3
FIGURA 8: MODELO 4210 DEFORMÍMETRO DE CUERDA VIBRANTE	4
FIGURA 9: AJUSTAR EL RANGO DEL DEFORMÍMETRO	5
FIGURA 10: MODELO 4202 DEFORMÍMETRO DE CUERDA VIBRANTE	6
FIGURA 11: MEDIDOR ENSAMBLADO Y CARCASA DE LA BOBINA	6
FIGURA 12: ESQUEMA DE PROTECCIÓN CCONTRA RAYOS	9
FIGURA 13: MONTADO DE MEDIDORES EN LA VARILLA	10
FIGURA 14: SUSPENDER DEFORMÍMETROS MODELOS 4200/4200L/4200HT ENTRE VARILLAS	11
FIGURA 15: MÉTODO ALTERNATIVO PARA FIJAR LOS DEFORMÍMETROS MODELOS 4200/4200HT A UNA VARILLA	12
FIGURA 16: CONSOLA DE LECTURA GK-404	13
FIGURA 17: CONECTOR LEMO A GK-404	13
FIGURA 18: CONSOLA DE LECTURA GK-405	14
FIGURA 19: CARCASA DE DEFORMACIÓN SIN TENSIÓN	29
FIGURA 20: MODELO 4200HT	30
FIGURA 21: MODELO 4200HT-T	30
FIGURA 22: REPORTE DE CALIBRACIÓN TÍPICO	31
FIGURA 23: HOJA DE CALIBRACIÓN TÍPICA	32

TABLAS

TABLA 1: GUÍA DE AJUSTES DE TENSIÓN INICIALES PARA EL 4202.....	6
TABLA 2: POSICIONES DE LECTURA.....	13
TABLA 3: FACTORES DE DEFORMÍMETRO DE INCRUSTACIÓN.....	16
TABLA 4: CONSTANTE EFECTIVA	19
TABLA 5: ESPECIFICACIONES DEL DEFORMÍMETRO.....	23
TABLA 6: PARÁMETROS TEÓRICOS DEL DEFORMÍMETRO DE INCRUSTACIÓN	24
TABLA 7: RESISTENCIA DE TERMISTOR PARA 3K Ω	27
TABLA 8: RESISTENCIA DE TERMISTOR PARA 10K Ω	28

ECUACIONES

ECUACIÓN 1: CONVERSIÓN DE PERÍODO A DÍGITOS	16
ECUACIÓN 2: DEFORMACIÓN TEÓRICA.....	16
ECUACIÓN 3: DEFORMACIÓN APARENTE	17
ECUACIÓN 4: CORREGIR LOS EFECTOS DE LA TEMPERATURA.....	17
ECUACIÓN 5: DEFORMACIÓN REAL, RELACIONADA CON LA CARGA, CORREGIDA PARA LA TEMPERATURA.....	17
ECUACIÓN 6: DEFORMACIÓN REAL	18
ECUACIÓN 7: FÓRMULA DE DEFORMACIÓN A CARGA.....	19
ECUACIÓN 8: RESISTENCIA DE TERMISTOR PARA $3K\Omega$	27
ECUACIÓN 9: RESISTENCIA DE TERMISTOR PARA $10K\Omega$	28
ECUACIÓN 10: TENSIÓN INDUCIDA POR LA TEMPERATURA	33
ECUACIÓN 11: TENSIÓN COMBINADA DE LA TEMPERATURA Y LA RELACIONADA CON LA CARGA.....	33
ECUACIÓN 12: TENSIÓN DE CARGA EXTERNA	33
ECUACIÓN 13: DEFORMACIÓN REAL.....	33

1. INTRODUCCIÓN

GEOKON los deformímetros de incrustación de cuerda vibrante están diseñados para incorporarse directamente en el concreto. Esto puede lograrse asegurando el medidor a la varilla o cables tensores y luego vaciando una briqueta de concreto con el medidor dentro, para posteriormente vaciar la estructura con la briqueta dentro; o introduciendo el medidor dentro de barrenos practicados en el concreto.

Las tensiones se miden usando el principio de la cuerda vibrante. Una cable de acero se tensa entre los dos bloques de los extremos firmemente en contacto con el concreto en masa. Las deformaciones en la superficie provocarán que los dos bloques de los extremos se muevan, uno en al otro, alterando la tensión del cable de acero. Este cambio en la tensión es medido como un cambio en la frecuencia de resonancia de la vibración del cable.

Dos bobinas, una con una pieza de imán, la otra con una pieza de un polo, se localizan cerca de la cuerda vibrante. Al usarse, se aplica una pulsación de frecuencia variante (frecuencia de barrido) a las bobinas, provocando que el cable vibre principalmente a su frecuencia de resonancia.

Hay consolas de lectura portátiles y registradores de datos disponibles en GEOKON. Estos modelos, al usarse en conjunto con los deformímetros de cuerda vibrante proveerán las pulsaciones de voltaje necesarias para pulsar el cable. Durante la vibración, se induce una señal sinusoidal en las bobinas y se transmite a una consola de lectura, en donde es acondicionada y desplegada.

Este manual contiene instrucciones de instalación, procedimientos para la reducción de lectura y datos, y guías para la resolución de problemas.

Nota: No gire ni hale los bloques de los extremos del deformímetro, esto alterará las lecturas y podría provocar daño permanente.

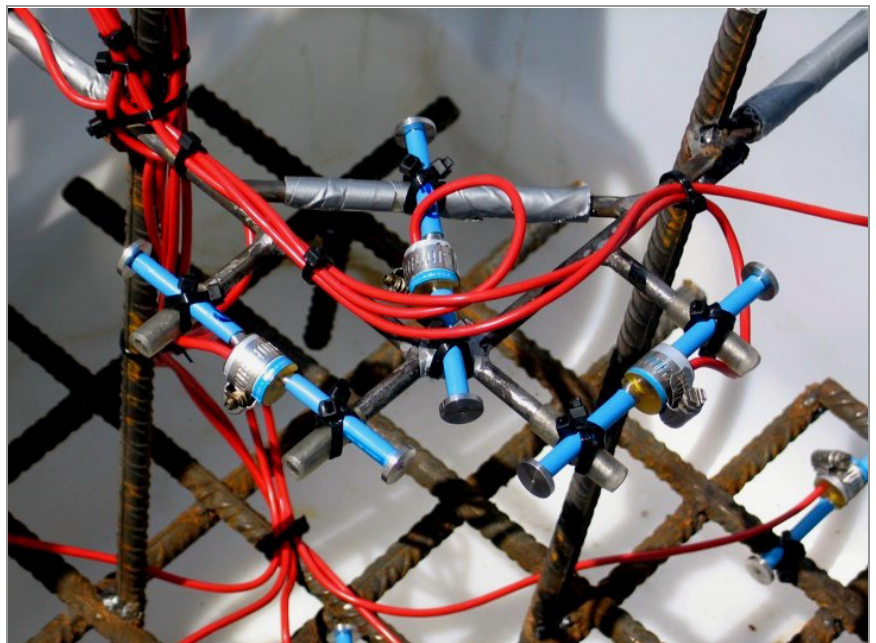


FIGURA 1: Fotografía de la Instalación in Situ

2. MODELOS

Las siguientes secciones describen brevemente la variedad de deformímetros de incrustación de GEOKON disponibles.

2.1 MODELOS 4200 Y 4200L

Los modelos 4200 y 4200L, fueron diseñados principalmente para la medición a largo plazo de deformaciones dentro de concreto en masa, en estructuras como cimentación, pilotes, puentes, presas, estructuras de contención, revestimiento de túneles, etc.

El 4200L es una versión de módulo bajo diseñada para que puedan medirse deformaciones de secado temprano. El largo del deformímetro 4200 es de 152 mm (6").

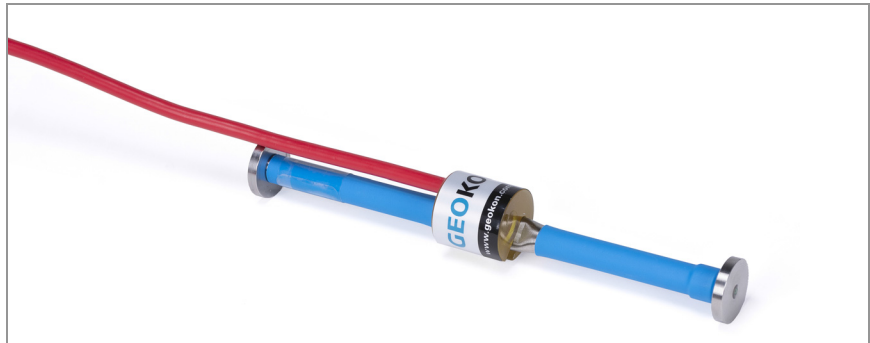


FIGURA 2: Modelo 4200 Deformímetro de Cuerda Vibrante



FIGURA 3: Modelo 4200L Deformímetro de Cuerda Vibrante

2.2 MODELOS 4200-6 Y 4200-7

Los modelos de deformímetro 4200-6 y 4200-7 se proveen completamente sellados y pretensados con la bobina de recolección montada. Note el pequeño cuello bajo uno de los extremos del tubo retráctil.



FIGURA 4: Modelo 4200-6 Deformímetro de Cuerda Vibrante



FIGURA 5: Modelo 4200-7 Deformímetro de Cuerda Vibrante

2.3 MODELO 4202

El modelo 4202 está diseñado para incrustarse directamente en lechada, mezcla, y agregados pequeños de concreto. También es útil para el estudio de modelos. El largo del deformímetro 4202 es de 50 mm (2").

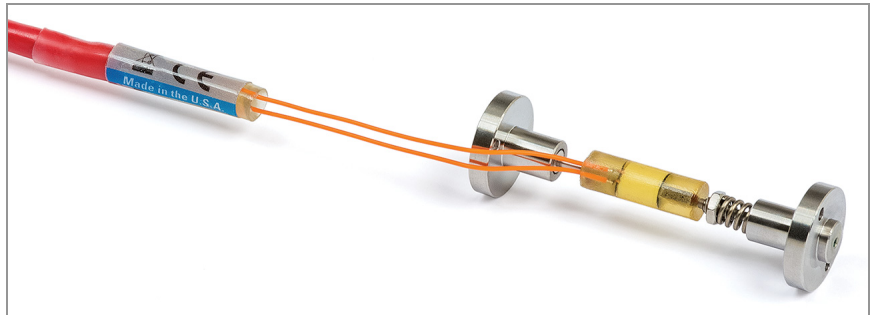


FIGURA 6: Modelo 4202 Deformímetro de Cuerda Vibrante

2.4 MODELO 4204

El modelo 4204 está diseñado para empotrarse en hormigón donde el espacio puede ser limitado. El largo del deformímetro 4204 es de 101 mm (4").

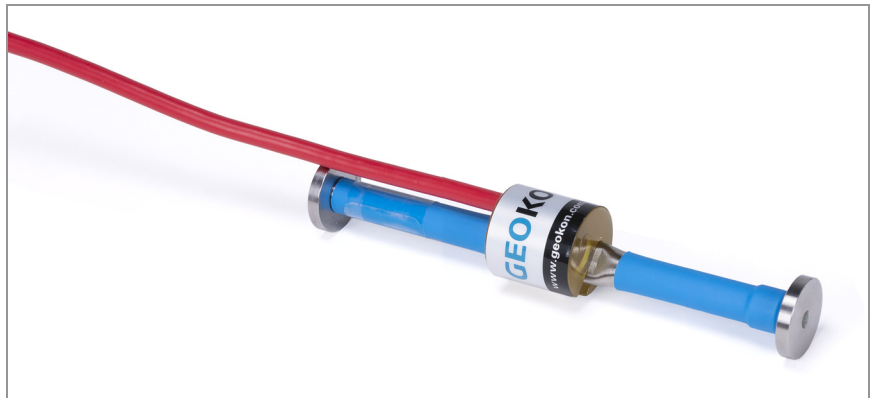


FIGURA 7: Modelo 4204 Deformímetro de Cuerda Vibrante

2.5 MODELO 4210

El modelo 4210 está diseñado para incrustarse en agregados grandes de concreto (de más de 3/4 de pulgada). El largo estándar de un deformímetro es de 254 mm (10"), deformímetros disponibles de otros largos incluyen: Modelo 4212 305 mm (12"), y Modelo 4214: 356 mm (14").



FIGURA 8: Modelo 4210 Deformímetro de Cuerda Vibrante

3. ANTES DE LA INSTALACIÓN

3.1 AJUSTAR EL DEFORMÍMETRO AL RANGO DESEADO

GEOKON los deformímetros de incrustación se proveen completamente sellados y pretensados. Los deformímetros Modelo 4200 se proveen normalmente con la tensión del cable ajustada aproximadamente a la mitad de su rango. Si por alguna razón es necesario ajustar el rango, la tensión del cable puede modificarse siguiendo los pasos a continuación:

Nota: Para ajustar el rango de los deformímetros Modelo 4202, vea la Sección 3.1.1

1. Conecte los conectores rojo y negro a una consola de lectura que haya sido ajustada a la posición D, lectura en microdeformación.
2. Sujete el pequeño cuello debajo del tubo retráctil y gire la brida como se muestra en la figura de abajo.
3. Gire en el sentido de las agujas del reloj para reducir la lectura inicial; gire en el sentido contrario al de las agujas del reloj para incrementar la lectura. Por ejemplo, si el deformímetro se encargará de toda la compresión, deberá ajustarse a alrededor de 4000 en microdeformación.

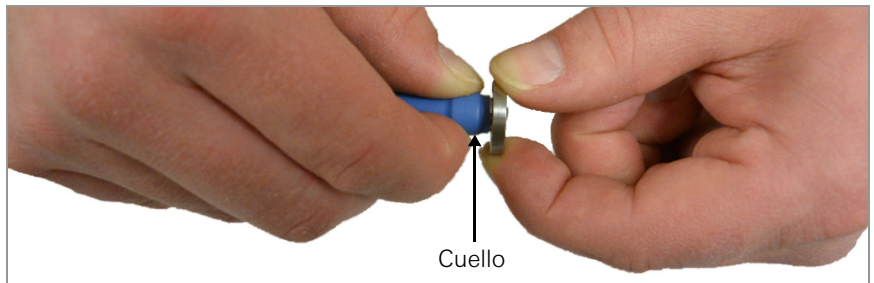


FIGURA 9: Ajustar el Rango del Deformímetro

Nota para los Modelos 4200-6/4200-7: Aunque las lecturas se toman en la posición D, los dígitos mostrados deben convertirse manualmente a microdeformación. Para hacerlo, multiplique el cambio de dígito observado por el factor de medición dado en la hoja de calibración provista con el deformímetro.

3.1.1 AJUSTAR EL RANGO DEL MODELO 4202

Los deformímetros Modelo 4202 son provistos con una lectura inicial de entre 2500 y 3000 microdeformaciones. Esto ofrece un rango de ± 1500 microdeformaciones. Este rango suele ser adecuado para la mayoría de propósitos y no debe alterarse salvo en circunstancias inusuales.

Si se conocen las direcciones de la deformación, la tensión del cable puede ajustarse a un mayor rango de compresión o tensión siguiendo los pasos a continuación:

1. Conecte los conectores rojo y negro a una consola de lectura que haya sido ajustada a la posición E.
2. Sujete el medidor por el centro para evitar que gire en el paso siguiente.

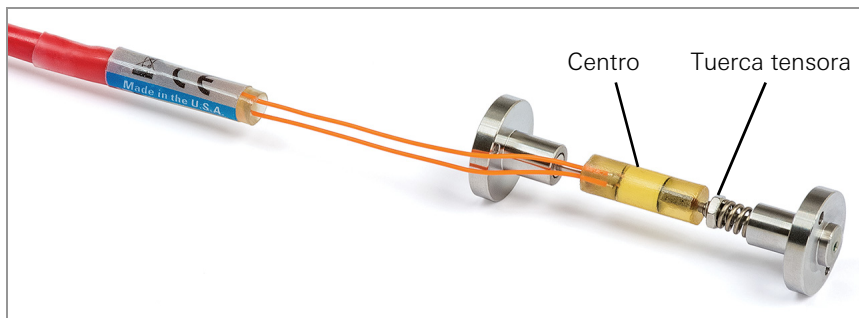


FIGURA 10: Modelo 4202 Deformímetro de Cuerda Vibrante

3. Gire la tuerca tensora usando una llave pequeña. La posición de la tuerca controla la tensión del muelle.
 - Para adaptarse a una tensión de mayor compresión, aumente el rango de medición girando la tuerca en el sentido de las agujas del reloj para ajustar la lectura inicial entre 2500 y 3000 microdeformaciones.
 - Para adaptarse a una tensión de mayor tracción, reduzca el rango de medición girando la tuerca en el sentido contrario al de las agujas del reloj para ajustar la lectura inicial entre 1500 y 2000 microdeformaciones. 1/2 vuelta a la tuerca provocará un cambio de unas 600 microdeformaciones. La siguiente tabla muestra varias configuraciones de tensión.

Rango de ajuste	Lectura de tensión	Rango de tensión disponible	
		Tensión	Compresión
Rango medio	2500	1500	1500
Tensión (67% del rango)	2000	2000	1000
Compresión (67% del rango)	3000	1000	2000

TABLA 1: Guía de Ajustes de Tensión Iniciales para el 4202

4. El bloque en el extremo del medidor suele girar al aplicar tensión a la tuerca. Después de hacer el ajuste, tome el bloque del extremo y gírelo a su posición original, para que las partes planas en los extremos de ambos bloques queden alineadas. Recuerde sujetar el ensamble de tubo/bobina mientras lo hace.
5. Revise la lectura. Si es correcta, aplique un poco de cemento para asegurar la rosca y conservar la posición de la tuerca y la tensión.

3.2 ENSAMBLAJE DE MEDIDOR Y CABLE

Inserte la parte plana del medidor en la ranura del ensamble de la bobina que se encuentra en el extremo del cable. Deslice la abrazadera sobre el ensamble y apriétela.

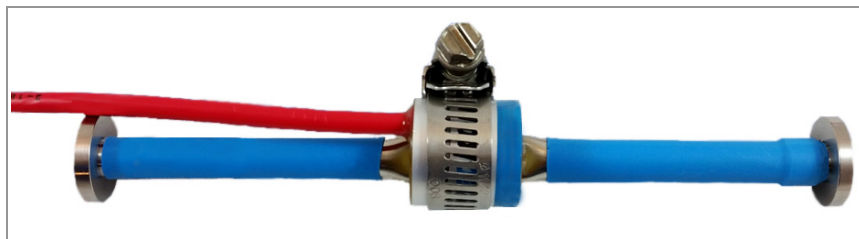


FIGURA 11: Medidor Ensamblado y Carcasa de la Bobina

Como alternativa, la carcasa de la bobina puede pegarse en la posición requerida usando pegamento de cianoacrilato. Si elige este método, después será imposible remover el medidor de la carcasa de la bobina.

3.3 PRUEBAS PRELIMINARES

Es necesario llevar a cabo una prueba preliminar antes de instalar el medidor en la locación.

Para llevar a cabo la prueba preliminar, siga los pasos siguientes:

1. Usando un ohmímetro, verifique la resistencia entre los dos cables conductores (usualmente rojo y negro).
 - Para los Modelos 4200, 4200L, 4200-6, 4200-7 y 4210/12/14, debe ser de alrededor de 180 ohms.
 - Para el Modelo 4202, debe ser de alrededor de 50 ohms.
 - Recuerde añadir la resistencia del cable a $14.7\Omega/1000'$ o $48.5\Omega/\text{km}$ a 20 °C, aproximadamente. Multiplique estos factores por dos para contabilizar ambas direcciones.
2. Usando un ohmímetro, verifique la resistencia entre los dos cables del termistor (usualmente blanco y verde). Usando Tabla 7, convierta la resistencia a temperatura. Compare los resultados con la temperatura ambiental actual. (Para el Modelo 4200HT, vea Tabla 8.)
3. Conecte el medidor a una consola de lectura. (Vea las instrucciones del dispositivo de lectura, Sección 6.) Observe la lectura mostrada. La lectura deberá estar alrededor de la posición de rango medio como se define en Tabla 2.
4. Presione los extremos del medidor para confirmar que disminuye la lectura.

Devuelva cualquier deformímetro defectuoso a la fábrica. **Los deformímetros no deberán abrirse en el campo.**

4. PROTECCIÓN DEL INSTRUMENTO

4.1 EMPALME Y TERMINADO DE CABLES

Las cajas de bornes con entradas de cable selladas están disponibles en GEOKON para todo tipo de aplicaciones. Estas permiten que varios instrumentos terminen en una sola ubicación protegiendo por completo los cables conductores. El panel interior de la caja de bornes puede tener conectores incorporados o una sola conexión con un interruptor giratorio para selección de la posición. Contacte a GEOKON para obtener información específica sobre las aplicaciones.

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 instrumento; por lo tanto, empalmar los cables no tiene efectos adversos, y, en ciertos casos, de hecho puede ser conveniente. El cable usado para empalmes debe ser del tipo de cable de par trenzado de alta calidad, con blindaje del 100% y un hilo de drenaje reforzado integral. **Al hacer empalmes, es muy importante que los hilos de drenaje reforzados se empalmen juntos.** Siempre conserve la polaridad conectando por colores.

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.

Termine un cable decapando y estañando los conductores individuales y luego conectándolos a un cable de conexión de la consola de lectura. En forma alternativa, use un conector para enchufarlo directamente a la consola de lectura o a un receptáculo en un cable de conexión especial.

4.2 PROTECCIÓN CONTRA INTERFERENCIA ELÉCTRICA

Asegúrese de instalar los cables del instrumento tan lejos como sea posible de fuentes de interferencia eléctrica como líneas eléctricas, generadores, motores, transformadores, soldadoras de arco, etc. Los cables nunca deben enterrarse o correr junto a líneas de corriente alterna. Hacerlo provocará que el instrumento reciba la interferencia eléctrica de la línea eléctrica y dificultará la obtención de una lectura estable. Contacte a la fábrica para saber más sobre opciones de filtrado disponibles para usar con los registradores de datos y lectores GEOKON si tiene alguna dificultad.

4.3 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

A diferencia de muchos otros tipos de instrumentos de GEOKON disponibles, los deformímetros de cuerda vibrante no cuentan con componentes integrados para protección contra rayos, tales como transorbs o protectores de sobretensión de plasma.

OPCIONES SUGERIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS:

- Los tableros pararrayos y las carcasas están disponibles en GEOKON. Estas unidades se instalan en donde los cables del instrumento salen hacia la estructura que se está observando. La carcasa cuenta con una parte superior que se puede retirar para permitir al cliente dar servicio a los componentes o reemplazar el tablero en caso de que la unidad fuera dañada por un rayo. Se hace una conexión entre la carcasa y la conexión a

tierra para facilitar el paso de los transientes lejos de los instrumentos. Vea la figura a continuación.

- Los protectores de sobretensión de plasma pueden fijarse con epóxidos en el cable del instrumento, cerca del instrumento. Una correa de conexión a tierra conecta el protector de sobretensión a una conexión a tierra, tal como una estaca de conexión a tierra, o una estructura de acero.

Consulte con el fabricante para obtener más información acerca de las protecciones contra rayos disponibles.

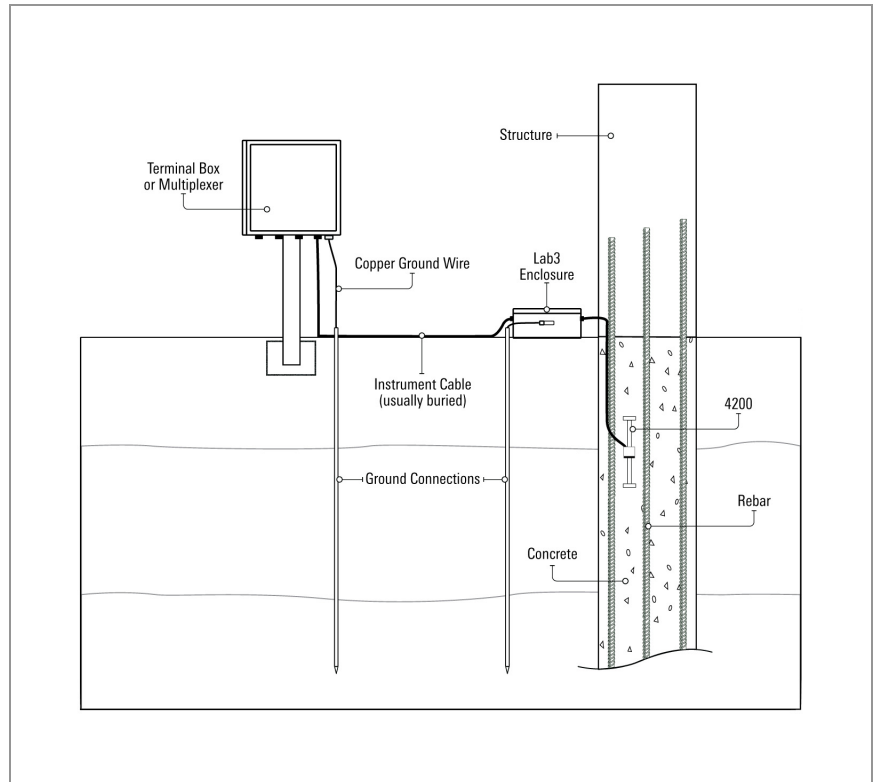


FIGURA 12: Esquema de Protección Ccontra Rayos

5. INSTALAR EL MEDIDOR EN CONCRETO

Los deformímetros GEOKON se instalan en concreto de alguna de estas dos formas:

1. Colocar las unidades directamente en la mezcla de concreto (vea de Sección 5.1 a 5.3)
2. Colóquelos en briquetas que posteriormente serán colocadas en las estructuras de concreto (vea Sección 5.4).

Si se coloca el medidor directamente en la mezcla de concreto, se debe tener cuidado de evitar aplicar mucha fuerza a los bloques de los extremos durante la instalación. Esto es imprescindible al instalar medidores Modelo 4202.

Modelo 4202 Nota: No use amarres de alambre de hierro alrededor del cuerpo del medidor; hacerlo podría dañar su delicada construcción. En lugar de eso, utilice los orificios en los bloques de los extremos para fijar el medidor a la varilla, asegurándose de que el medidor no está siendo tensado o comprimido en la dirección longitudinal.

Modelo 4200L Nota: Este medidor está especialmente diseñado para medir deformaciones en concreto que está en proceso de curado. Sin embargo, no debe ser colocado a más de un metro de profundidad; hacerlo podría dañar el medidor.

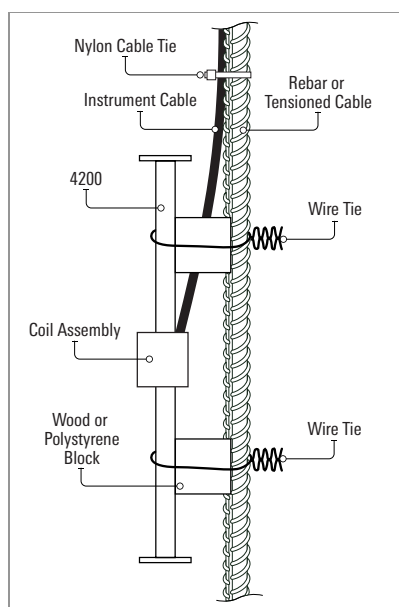


FIGURA 13: Montado de Medidores en la Varilla

5.1 MONTADO DIRECTO A LA VARILLA

1. Coloque dos piezas de madera o de espuma de poliestireno entre el medidor y la varilla, como se muestra en Figura 13.
2. *Montado de Medidores en la Varilla* Use un amarre de alambre de hierro suave, similar a los que se utilizan para unir jaulas de varillas. Pase el cable alrededor del cuerpo del deformímetro y al rededor de la varilla. Tuerza los extremos del cable para fijar el medidor en su lugar.
3. Ajuste el cable del instrumento a la varilla usando una abrazadera de nylon.

Nota: No deje los cables demasiado ajustados, ya que la varilla y los cables de tensión tienden a moverse durante la aplicación del concreto y la vibración. Tenga cuidado de no dañar el cable con el vibrador. El medidor también puede colocarse directamente en la mezcla si puede asegurarse que la orientación será la correcta después de colocar el medidor.

5.2 MÉTODO DE SUSPENSIÓN

1. Envuelva el medidor con cinta de caucho autovulcanizable a 3 cm de cada extremo, como se muestra en Figura 14.

Modelo 4210 Nota: Este paso no es necesario

Las capas de caucho funcionan para amortiguar, reduciendo cualquier vibración en el sistema de suspensión. Sin las capas de caucho, la frecuencia resonante de los amarres de alambre podrían interferir con la frecuencia resonante del medidor cuando los amarres de alambre se aprietan. Esto puede resultar en lecturas inestables o puede impedir las lecturas. Sin embargo, este problema desaparece cuando es colocado el concreto.

Para un método que evita este problema potencial, vea Sección 5.3.

2. Use un amarre de alambre de hierro suave, como los que normalmente se utilizan para unir jaulas de varillas. Dé dos vueltas al cable alrededor de la cinta de caucho.

3. Tuerza el cable formando un círculo a cada lado del medidor, a una distancia de 3 cm del cuerpo del medidor. Repita el proceso en el otro extremo.
4. Coloque el medidor en posición entre las varillas y dé dos vueltas al cable alrededor de la varilla, luego tuérzalos.
5. Apriete el cable y oriente el medidor torciendo los círculos entre el medidor y la varilla.
6. Fije la bobina de recolección usando una abrazadera. Ajuste el cable del instrumento a una de las varillas usando una abrazadera de nylon.

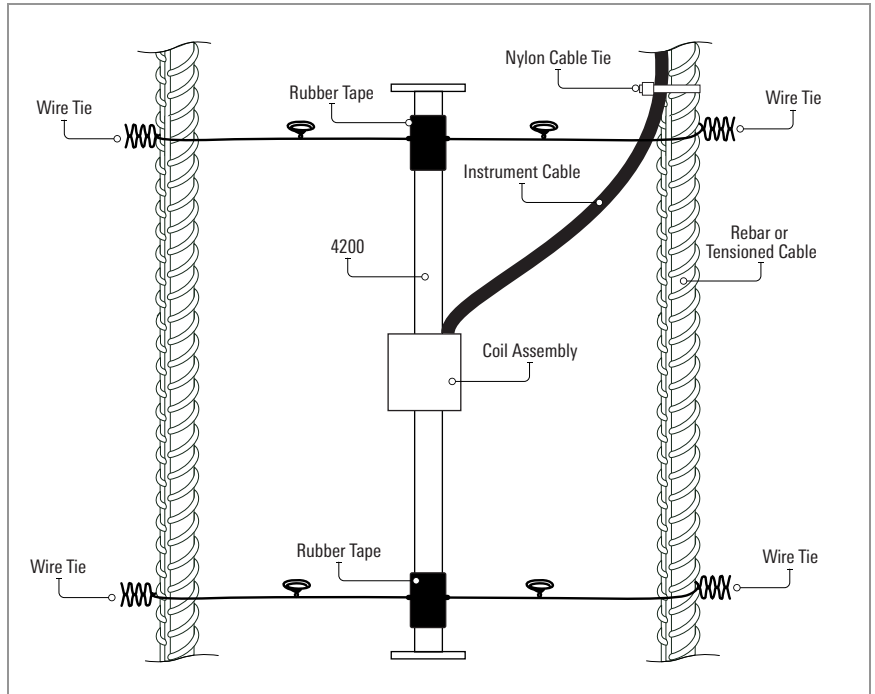


FIGURA 14: *Suspender Deformímetros Modelos 4200/4200L/4200HT Entre Varillas*

5.3 MÉTODO ALTERNATIVO DE SUSPENSIÓN

Fije dos partes cortas de varilla de acero a las varillas existentes usando abrazaderas de nylon, como se muestra en la figura de abajo. Luego fije el deformímetro a las partes cortas de varilla usando más abrazaderas de nylon. Este método evita los problemas de resonancia asociados con el método anterior.

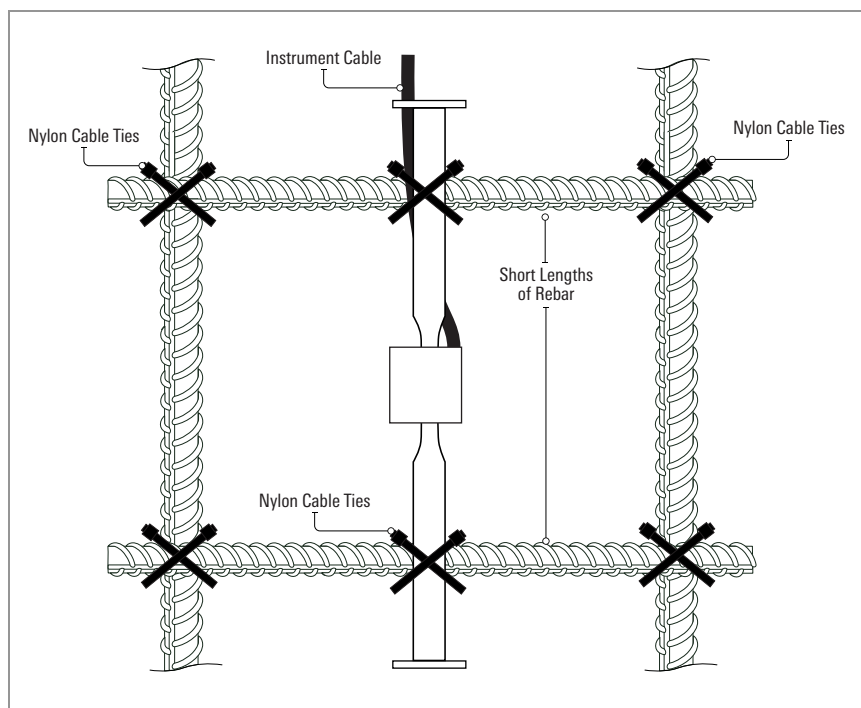


FIGURA 15: Método Alternativo para Fijar los Deformímetros Modelos 4200/4200HT a una Varilla

5.4 USAR BRIQUETAS VACIADAS PREVIAMENTE, CONCRETO LANZADO O LECHADA

Una alternativa a colocar las unidades directamente en la mezcla de concreto, es colocar previamente los medidores en briquetas hechas con la misma mezcla que el concreto en masa y luego colocar las briquetas en la estructura antes del concreto. Las briquetas no deben construirse más de tres días ni menos de un día antes de la instalación, y deben curarse constantemente con agua mientras esperan a ser colocadas en el concreto en masa.

GEOKON también pueden usarse deformímetros en concreto lanzado, o en orificios hechos en roca o concreto a los que posteriormente se les aplicará lechada. Cuando se utiliza concreto lanzado, se debe tener especial atención para proteger los cables conductores, como colocarlos dentro de conductos o tubería gruesa. Los medidores pueden colocarse llenando a mano el área inmediata alrededor del medidor y luego procediendo con la operación del concreto lanzado.

6. TOMA DE LECTUAS

6.1 POSICIONES PARA LA LECTURA DEL DEFORMÍMETRO DE INCRUSTACIÓN

La tabla siguiente indica el detalle de la posición de lectura para cada modelo de deformímetro.

Modelo	4200/4200HT	4200-6/7	4202	4204	4210/4212/4214
Posición de la lectura	D	D	E	A (Modelo: dígitos)	B
Mostrar unidades	micro-deformaciones ($\mu\epsilon$)	unidades de lectura	micro-deformaciones ($\mu\epsilon$)	dígitos ($f^2 10^{-3}$)	dígitos ($f^2 10^{-3}$)
Rango de frecuencia	450-1200 Hz	450-1200 Hz	1400-3500 Hz	800-1600 Hz	1400-3500 Hz
Lectura de rango-medio	2500 $\mu\epsilon$	2000 $\mu\epsilon$	2500 $\mu\epsilon$	1700 dígitos	6000 dígitos
Lectura mínima	1000 $\mu\epsilon$	1000 $\mu\epsilon$	1000 $\mu\epsilon$	650 dígitos	2000 dígitos
Lectura máxima	4000 $\mu\epsilon$	3000 $\mu\epsilon$	4000 $\mu\epsilon$	2750 dígitos	10000 dígitos

TABLA 2: Posiciones de Lectura

6.2 GK-404 CONSOLA DE LECTURA DE CUERDA VIBRANTE

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 (μs), o microdeformaciones ($\mu\epsilon$). La GK-404 también muestra la temperatura del transductor (incorporado en el termistor) con una resolución de 0.1 °C.



FIGURA 16: Consola de Lectura GK-404



FIGURA 17: Conector Lemo a GK-404

6.2.1 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 17). 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.

6.3 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.



FIGURA 18: Consola de Lectura GK-405

Las dos unidades se comunican de forma inalámbrica usando 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.

6.3.1 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.

6.3.2 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).

6.3.3 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 VWRA siguiendo los pasos siguientes:

1. Pulse "Iniciar" en la ventana principal de su PC portátil.

2. Seleccione "Programas".
3. Pulse el icono GK-405 VWRA.

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.

6.4 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.

Nota: Debe utilizar un ohmímetro para leer el deformímetro 4200HT.

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 14.7Ω por cada 1000 pies (48.5Ω por km) a 20°C . Multiplique estos factores por dos para contabilizar ambas direcciones.
2. Busque las temperaturas de las resistencias medidas en Apéndice C. Para la 4200HT, use el Apéndice E.

7. REDUCCIÓN DE DATOS

La tabla siguiente muestra la posición de lectura, factores de medición teóricos y datos experimentales derivados de calibraciones por grupo para cada modelo de deformímetro. (Calibraciones individuales disponibles por un costo adicional; contacte a GEOKON para obtener más información.)

Modelo	Posición de la lectura	Factor de medición teórico	Factor grupal típico ¹	Factor grupal típico ¹	Datos experimentales
4200	D	3.304	0.97 a 0.98	N/A	3.237
4200-6	D	N/A	N/A	N/A	Ninguna
4200-7	D	N/A	N/A	N/A	Ninguna
4202	E	0.391	0.91	N/A	0.356
4204	A	N/A	N/A	1.422	N/A
4210	B	N/A	N/A	0.3568	0.3423
4212	B	N/A	N/A	0.3624	N/A
4214	B	N/A	N/A	0.3665	N/A

¹ El factor de medición exacto es determinado por la calibración real, no hay factor grupal que aplicar.

TABLA 3: Factores de Deformímetro de Incrustación

7.1 POSICIÓN A EN LA CONSOLA DE LECTURA

Use la posición A para los modelos siguientes:

- Modelo 4204
- GK-404 (seleccione el modo de dígitos)
- GK-405 (convierta el período a dígitos usando esta fórmula:)

$$\text{Digits} = \frac{\text{Hz}^2}{1000}$$

ECUACIÓN 1: Conversión de Período a Dígitos

7.2 POSICIÓN B EN LA CONSOLA DE LECTURA

Para lectura de mediciones en posición B, los factores de medición deben aplicarse al cambio en las lecturas. Estos factores de medición son factores de medición promedio para ese grupo de mediciones, o factores de medición para calibraciones individuales.

7.3 POSICIONES D Y E EN LA CONSOLA DE LECTURA

Lecturas para Modelos 4200 (posición D) y 4202 (posición E) se muestran directamente en microdeformaciones en la consola de lectura, con base en la ecuación teórica:

$$\mu\epsilon_{\text{theory}} = G(\Delta f^2 \times 10^{-3})$$

ECUACIÓN 2: Deformación Teórica

Donde:

f es la frecuencia en dígitos.

G es el factor de medición teórico, igual a 3.304 para el medidor 4200 y 0.3910 para el medidor 4202.

En la práctica, la acción de sujetar el cable acorta ligeramente la cuerda vibrante, provocando el sobre registro de la deformación. Esto puede ser compensado aplicando el factor grupal de medición proporcionado con cada medidor. Con el factor grupal de medición aplicado, el aparente cambio sobre la deformación mostrado en la consola de lectura es igual a:

$$\mu\epsilon_{\text{apparent}} = (R_1 - R_0)B$$

ECUACIÓN 3: Deformación Aparente

Donde:

R_0 es la lectura inicial

R_1 es la lectura actual de la consola de lectura, tomada en las posiciones D o E.

Nota: Cuando $(R_1 - R_0)$ es positivo, la deformación es de tensión.

B es el factor grupal de medición proporcionado con cada medidor.

7.4 CORRECCIONES DE TEMPERATURA

Las variaciones de temperatura de magnitud considerable no son poco comunes, particularmente durante el proceso de curado del concreto; por lo tanto, siempre es aconsejable medir la temperatura al mismo tiempo que la deformación.

Expansión y contracción inducidos por la temperatura pueden aumentar los cambios reales en la tensión del concreto si el concreto está contenido de alguna forma. Estas tensiones se super imponen a cualquier otra tensión relacionada con la carga.

La temperatura también puede afectar al deformímetro. El aumento de la temperatura provocará que el cable vibrante se alargue, quedando flojo, indicando lo que podría interpretarse como una tensión de compresión en el concreto. Este efecto es equilibrado en cierto grado por un estiramiento correspondiente del cable, provocado por la expansión del concreto. Si la expansión en el concreto corresponde exactamente a la del cable, la tensión del cable permanecerá constante y no será necesaria ninguna corrección.

Sin embargo, el coeficiente de expansión del acero es diferente al coeficiente de expansión del concreto. Debido a esta diferencia, se requiere una corrección de temperatura igual a:

$$(T_1 - T_0)(C_1 - C_2)$$

ECUACIÓN 4: Corregir los Efectos de la Temperatura Sobre el Medidor

Donde:

T_0 es la temperatura inicial.

T_1 es la temperatura actual.

C_1 es el coeficiente de expansión del acero: 12.2 microdeformaciones/°C.

(C_1 para medidores Modelo 4200HT es de 17.3 microdeformaciones/°C.)

C_2 es el coeficiente de expansión del concreto: ~10 microdeformaciones/°C.

(Los usuarios deben usar sus propios valores para C_2 si los conocen.)

La deformación en el concreto relacionada con la carga (compuesta por la carga externa y los efectos de la temperatura) corregida para la temperatura, es determinada por:

$$\mu_{\text{load}} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0)(C_1 - C_2)$$

ECUACIÓN 5: Deformación Real, Relacionada con la Carga, Temperatura Corregida

Donde:

R_0 es la lectura inicial.

R_1 es la lectura actual de la consola de lectura, tomada en las posiciones D o E.

Nota: Cuando $(R_1 - R_0)$ es positivo, la deformación es de tensión.

B es el factor grupal de medición proporcionado con cada medidor.

T_0 , T_1 , C_1 , y C_2 son los mismos valores que se muestran en la Ecuación 4 más arriba.

A continuación se muestra un ejemplo teórico de lo anterior.

EJEMPLO:

Si:

$R_0 = 3000$ en la posición D

$R_1 = 2900$ en la posición D

$T_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_1 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

$B = 0.975$ (factor de calibración grupal)

Entonces:

La **deformación aparente** = $(2900 - 3000) 0.975 = -97.5\text{ }\mu\text{deformación}$ (compresión).

La **deformación relacionada con la carga**, corregida para los efectos de la temperatura sobre el medidor = $(2900 - 3000) 0.975 + (30 - 20) (12.2 - 10) = -75.5\text{ microdeformaciones}$ (compresión).

Nota: La deformación **real** que experimenta el concreto, (a saber, la que se mediría usando una escala de medición) se obtiene por la fórmula:

$$\mu_{\text{actual}} = (R_1 - R_0) B + (T_1 - T_0) (C_1)$$

ECUACIÓN 6: Deformación Real

Que en este ejemplo = $(2900 - 3000) 0.975 + (30 - 20) (12.2) = 24.5\text{ }\mu\text{deformación}$ (expansión).

Vea Apéndice G para más información.

7.4.1 CORRECCIONES PARA LOS MODELOS 4200-6/4200-7

El efecto de la temperatura en los deformímetros 4200-6 y 4200-7 es complejo; varía dependiendo del nivel de presión. Un factor de corrección de temperatura típico para aplicarse al 10,000 $\mu\epsilon$ del modelo 4200-7 es el siguiente:

$$\text{Factor de corrección de la temperatura} = (0.000401 * R_1 - 1.067)(T_1 - T_0)$$

Donde:

R_1 es la lectura actual del medidor.

T_1 es la temperatura actual en grados centígrados.

T_0 es la temperatura inicial en grados centígrados.

Este factor de corrección fue desarrollado poniendo a prueba cuatro medidores en tres rangos diferentes (a saber, a los niveles de 4000, 8000 y 12000 microdeformaciones), a cinco diferentes niveles de temperatura (a saber, -40, -20, 0, 20, 40 y 60 grados centígrados).

Cuando se utilice una expresión polinómica para calcular la deformación, el factor de corrección debe aplicarse a la lectura actual R_1 . Luego se agrega el valor modificado de R_1 al polinomio.

Por lo tanto, el valor modificado de R_1 que deberá agregarse al polinomio, es: $R_1 + (0.000401 * R_1 - 1.067) \times (T_1 - T_0)$

7.5 EFECTOS DE ENCOGIMIENTO

Una propiedad conocida del concreto es su tendencia a encogerse cuando el agua que contiene disminuye, y a hincharse cuando absorbe agua. Este encogimiento e hinchamiento puede provocar grandes cambios en la deformación que no están relacionados a la carga ni a la tensión. La magnitud de estas deformaciones puede ser de varios cientos de microdeformaciones.

Es difícil compensar por estas deformaciones no deseadas. Puede intentarse manteniendo el concreto con un contenido constante de agua, lo que con frecuencia resulta imposible en estructuras de concreto expuestas a condiciones

ambientales variables. El efecto de encogimiento e hinchamiento puede medirse colocando un deformímetro dentro de un bloque de concreto que no sea cargado, pero que esté expuesto a las mismas condiciones de humedad que los medidores activos. Las deformaciones registradas en este medidor pueden ser usadas como factores de corrección.

7.6 EFECTOS DE DESLIZAMIENTO

También es bien sabido que el concreto se deslizará bajo una carga sostenida. Lo que podría parecer un incremento gradual en la carga, demostrado por un incremento gradual en la presión, podría ser en realidad una tensión causada por el deslizamiento del concreto bajo una carga constante y sostenida.

En algunos proyectos, se han colocado medidores en bloques de concreto en el laboratorio que se han mantenido con carga mediante muelles en un bastidor de carga. De esta forma, puede cuantificarse el fenómeno del deslizamiento.

7.7 EFECTO DEL CRECIMIENTO AUTÓGENO

Algunos concretos más antiguos con una combinación particular de agregados y cementos alcalinos podrían expandirse con el paso del tiempo mientras experimentan cambios en su composición química y cristalización. Este proceso es conocido como crecimiento autógeno y es similar al deslizamiento, pero en la posición opuesta, y es difícil de cuantificar.

7.8 CONVERTIR DEFORMACIÓN A CARGA

La carga es cualquier elemento estructural al cuál está fijado el deformímetro y se calcula usando la siguiente fórmula:

$$L = E\mu A$$

ECUACIÓN 7: Fórmula de Deformación a Carga

Donde:

L es la carga.

E es la constante de elasticidad del elemento estructural en las unidades adecuadas.

μ es la deformación en microdeformaciones.

A es el área de la sección transversal en las unidades adecuadas.

Al instalar deformímetros en pilotes de concreto, es una práctica estándar instalarlos por pares a cada lado del eje neutral. Esto permite corregir cualquier tensión impuesta por la inclinación tomando la deformación promedio de los dos medidores. También es una práctica estándar instalar un par de deformímetros cerca de la parte más alta del pilote. La medición de la tensión de estos dos medidores se utiliza para calcular el módulo del concreto.

7.9 CONSTANTE EFECTIVA

Para las mediciones de tensión en algunos concretos durante las primeras etapas del proceso de curado, es importante conocer la constante efectiva del deformímetro. La constante efectiva de los diversos medidores de incrustación se muestra en la tabla siguiente:

Modelo	E, aproximada
4200	596,000 psi
4200L	56,500 psi
4200-6 / 4200-7	N/A
4200HT	596,000 psi
4200HT-T	11,950,000 psi
4202	610,000 psi
4204	596,000 psi
4210 / 4212 / 4214	2,350,000 psi

TABLA 4: Constante Efectiva

8. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

El mantenimiento y la resolución de problemas del deformímetro de incrustación está restringido a revisiones periódicas de las conexiones del cable y el mantenimiento de las terminales. Una vez instalados, los deformímetros 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 deformímetros no deberán desmontarse en la locación.**

Para obtener información de resolución de problemas y soporte adicional, contacte a GEOKON.

SÍNTOMA: LA RESISTENCIA DEL TERMISTOR ES DEMASIADO ALTA

- ☐ Podría haber un circuito abierto. Revise todas las conexiones, terminales y enchufes. Si encuentra algún corte en el cable, únalo siguiendo las instrucciones en Sección 4.1.

SÍNTOMA: LA RESISTENCIA DEL TERMISTOR ES DEMASIADO BAJA

- ☐ Podría haber un corto. Revise todas las conexiones, terminales y enchufes. Si encuentra algún corto en el cable, únalo siguiendo las instrucciones de la Sección 4.1.
- ☐ Puede que el agua haya penetrado en el transductor. No hay solución.

SÍNTOMA: LAS LECTURAS DEL DEFORMÍMETRO 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?
- ☐ La lectura de la deformación se encuentra fuera de los rangos de compresión o tensión del instrumento? El deformímetro puede haberse aflojado o apretado demasiado; inspeccione la información para determinar si esta es una posibilidad.
- ☐ 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.
- ☐ La consola de lectura o el registrador de datos funcionan con otro medidor? De no ser así, puede ser que la batería esté baja o posiblemente tenga alguna falla.

SÍNTOMA: EL MEDIDOR NO MUESTRA UNA LECTURA

- ☐ El cable está cortado o aplastado? Revise la resistencia del cable conectando un ohmímetro en las cabezas del sensor. La resistencia es de aproximadamente 14.7Ω por cada 1000 pies (48.5Ω por kilómetro) de cable de 22 AWG. Multiplique este factor por dos para considerar ambas direcciones.
- ☐ Si la resistencia es demasiado alta o infinita, es probable que el cable esté roto o haya sido cortado. Si la resistencia es demasiado baja, los conductores del medidor pueden tener un corto. Si encuentra algún corte o corto en el cable, únalo siguiendo las instrucciones en Sección 4.1.

- La consola de lectura o el registrador de datos funcionan con otro medidor?
De no ser así, puede ser que la batería esté baja o posiblemente tenga alguna falla.

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

Niveles de cabezas del sensor de cuerda vibrante

Rojos/Negros $\cong 180\Omega$ ($\cong 50\Omega$ para Modelo 4202 & 4200HT-T
 $\cong 120\Omega$ para Modelo 4200HT)

Verde/Blanco 3000Ω a 25°C

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

APÉNDICE A. ESPECIFICACIONES

A.1 DEFORMÍMETRO

En la tabla siguiente se muestra una lista de las especificaciones para todos los modelos de deformímetro.

Modelo	4200	4200-6	4200-7	4202	4204
Rango (Nominal)	3000 $\mu\epsilon$	5,000 $\mu\epsilon$	10,000 $\mu\epsilon$	3000 $\mu\epsilon$	
Resolución	1.0 $\mu\epsilon^1$	2 - 5 $\mu\epsilon^1$		0.4 $\mu\epsilon^1$	1.0 $\mu\epsilon^1$
Exactitud de la calibración	$\pm 0.5\%$ Lectura a escala real (FSR, por sus siglas en inglés)				
Exactitud del factor grupal	$\pm 0.5\%$ FSR	2.5 - 4% FSR		$\pm 0.5\%$ FSR	
Exactitud del sistema	$\pm 2.0\%$ FSR ²				
Estabilidad	0.1% de la Escala real (FS, por sus siglas en inglés)/año				
Linealidad	0.5% FSR	2.5 - 4% FSR		0.5% FSR	
Coefficiente térmico	12.2 ppm / °C				
Rango de frecuencia (Hz)	450-1200	450-1200		1400-3500	800-1600
Dimensiones (medidor) (LxP)	6.125 x 0.750" 155 x 19 mm	6.00 x 0.750" 153 x 19 mm		2.250 x 0.625" 57 x 16 mm	4.125 x 0.750" 105 x 19 mm
Dimensiones (bobina)	0.875 x 0.875" 22 x 22 mm	0.875 x 0.875" 22 x 22 mm		N/A	
Resistencia de la bobina	180 Ω	180 Ω		50 Ω	180 Ω
Rango de temperatura	-20 a +80 °C				

Modelo	4210	4212	4214	4200HT
Rango (Nominal)	3000 $\mu\epsilon$			
Resolución	0.4 $\mu\epsilon$ ¹	0.4 $\mu\epsilon$ ¹	0.4 $\mu\epsilon$ ¹	1.0 $\mu\epsilon$ ¹
Exactitud de la calibración	$\pm 0.5\%$ FSR			
Exactitud del factor grupal	$\pm 0.5\%$ FSR			
Exactitud del sistema	$\pm 2.0\%$ FSR ²			
Estabilidad	0.1% de la Escala real (FS, por sus siglas en inglés) / año			
Linealidad	0.5% FSR			
Coefficiente térmico	12.2 ppm/°C			12.2 ppm °C / 17.3 ppm °C
Rango de frecuencia (Hz)	1400-3500	1400-3500	1400-3500	450-1200
Dimensiones (medidor) (LxP)	10.250 x 2" 260 x 50 mm	12.250 x 2" 311 x 50 mm	14.250 x 2" 362 x 50 mm	6.125 x 0.750" 155 x 19 mm
Dimensiones (bobina)	N/A			0.875 x 0.875" 22 x 22 mm
Resistencia de la bobina	180 Ω	180 Ω	180 Ω	120 Ω / 50 Ω
Rango de temperatura	-20 a +80 °C			-20 a +200 °C

TABLA 5: Especificaciones del Deformímetro

Notas:

¹ La resolución posible depende del dispositivo de lectura; las figuras en la tabla de arriba corresponden al GK-404.

² La exactitud del sistema considera la histéresis, la no linealidad, la desalineación, las variaciones en el factor grupal y otros aspectos de la medición real del programa. La exactitud del sistema a $\pm 1.0\%$ FS puede lograrse a través de la calibración individual de cada deformímetro.

A.2 TERMISTOR

Para más información, consulte Apéndice C.

Rango: -80 a +150 °C

Exactitud: ± 0.5 °C

APÉNDICE B. TEORÍA DE LA OPERACIÓN

Una cuerda vibrante fija a la superficie de un cuerpo que está sufriendo una deformación se deformará en forma similar a la del cuerpo al que está fijo. Estas deformaciones alteran la tensión del cable, lo cual altera su frecuencia vibratoria natural (resonancia).

Los ejemplos a continuación se calcularon usando los parámetros para el medidor Modelo 4200. Sustituya los valores de la tabla de abajo para los Modelos 4202 y 4204.

Nota: Estas ecuaciones no aplican a los Modelos 4210, 4212, y 4214.

Modelo:	4200/4200HT/4200HT-T	4202	4204
Longitud del Medidor (L_m):	6 pulgadas	2 pulgadas	4 pulgadas
Longitud del Cable (L_c):	5.875 pulgadas	2 pulgadas	3.875 pulgadas
Factor del Medidor:	3.304	0.391	1.422

TABLA 6: Parámetros Teóricos del Deformímetro de Incrustación

La relación entre la frecuencia (período) y la deformación (tensión) se describe a continuación:

1. La frecuencia fundamental (frecuencia resonante) de la vibración de un cable está relacionada con su tensión, longitud y masa. La frecuencia fundamental puede determinarse por la ecuación:

$$f = \frac{1}{2L_w} \sqrt{\frac{F}{m}}$$

Donde:

L_w es el largo del cable en pulgadas.

F es la tensión del cable en libras.

m es la masa del cable por unidad de longitud (libras, segundos²/pulgadas²).

2. Tenga en cuenta:

$$m = \frac{W}{L_w g}$$

Donde:

W es el peso de L_w pulgadas de cable en libras.

g es la aceleración de la gravedad (386 pulgadas/segundos²).

3. Y:

$$W = \rho a L_w$$

Donde:

ρ es la densidad del material del cable (0.283 libras/pulgada³).

a es la sección transversal del cable en pulgadas².

4. Combinando las ecuaciones de los pasos uno, dos y tres, se obtiene:

$$f = \frac{1}{2L_w} \sqrt{\frac{Fg}{\rho a}}$$

5. Note que la tensión (F) puede expresarse en términos de deformación, es decir:

$$F = \epsilon_w E a$$

Donde:

ϵ_w es la deformación del cable (pulgadas/pulgadas).

E es el módulo de Young del cable (30×10^6 Psi).

6. Combinando las ecuaciones de los pasos cuatro y cinco, se obtiene:

$$f = \frac{1}{2L_w} \sqrt{\frac{\epsilon_w E g}{\rho}}$$

7. Sustituyendo los valores dados para E, g, y ρ se obtiene:

$$f = \frac{101142}{L_w} \sqrt{\epsilon_w}$$

8. En la posición A, (que muestra el período de vibración, T) multiplicado por el factor de 10^6 :

$$T = \frac{10^6}{f}$$

9. Combinando las ecuaciones de los pasos siete y ocho, se obtiene:

$$\epsilon_w = \frac{97.75 L_w^2}{T^2}$$

10. La ecuación del paso nueve debe ahora expresarse en términos de deformación en la superficie del cuerpo al que está fijo el deformímetro. Debido a que la deformación del cuerpo deberá ser equivalente a la deformación del cable:

$$\epsilon_w L_w = \epsilon L_g$$

Donde:

ϵ es la deformación en el cuerpo.

L_g es la longitud del medidor en pulgadas.

11. Combinando las ecuaciones de los pasos nueve y diez, se obtiene:

$$\epsilon = \frac{97.75}{T^2} \cdot \frac{L_w^3}{L_g}$$

Donde: (para el Modelo 4200)

L_w es 5.875 pulgadas.

L_g es 6.000 pulgadas.

12. Por lo tanto:

$$\epsilon = 3.304 \times 10^3 \left[\frac{1}{T^2} \right]$$

13. La visualización en la posición D de la consola de lectura se basa en la ecuación:

$$\epsilon = 3.304 \times 10^9 \left[\frac{1}{T^2} \right]$$

Elevar al cuadrado, invertir y multiplicar por el factor 3.304×10^9 es realizado internamente por el microprocesador de la consola de lectura para que la lectura mostrada en la posición D está dada en micropulgadas por pulgada (ϵ).

Nota: En los pasos anteriores, T se expresa en segundos $\times 10^6$ y ϵ se expresa en micropulgadas por pulgada.

Una alternativa es: $\epsilon = 3.304 \times 10^{-3} f^2$ microdeformación.

En donde f es la frecuencia en Hz.

APÉNDICE C. DERIVACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR

C.1 RESISTENCIA DE TERMISTOR PARA 3KΩ

Tipo de termistor:

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

Ecuación para obtener la resistencia a la temperatura:

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

ECUACIÓN 8: Resistencia de Termistor para 3kΩ

En donde:

T = Temperatura en °C

LnR = Registro natural de la resistencia del termistor

A = 1.4051×10^{-3}

B = 2.369×10^{-4}

C = 1.019×10^{-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	3000	25	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 7: Resistencia de Termistor para 3kΩ

C.2 RESISTENCIA DE TERMISTOR PARA 10KΩ

Tipo de termistor: Sensor US 103JL1A

Ecuación para obtener la resistencia a la temperatura:

T = 1 / (A + B(LnR) + C(LnR)^3 + D(LnR)^5) - 273.15

ECUACIÓN 9: Resistencia de Termistor para 10kΩ

En donde:

T = Temperatura en °C

LnR = Registro natural de la resistencia del termistor

A = 1.127670 x 10^-3

B = 2.344442 x 10^-4

C = 8.476921 x 10^-8

C = 1.175122 x 10^-11

Nota: 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.	Ohmios	Temp.
32650	0	7402	32	2157	64	763.5	96	316.6	128	148.4	160	76.5	192	42.8	224
31029	1	7098	33	2083	65	741.2	97	308.7	129	145.1	161	75.0	193	42.1	225
29498	2	6808	34	2011	66	719.6	98	301.0	130	142.0	162	73.6	194	41.4	226
28052	3	6531	35	1942	67	698.7	99	293.5	131	138.9	163	72.2	195	40.7	227
26685	4	6267	36	1876	68	678.6	100	286.3	132	135.9	164	70.8	196	40.0	228
25392	5	6015	37	1813	69	659.1	101	279.2	133	133.0	165	69.5	197	39.3	229
24170	6	5775	38	1752	70	640.3	102	272.4	134	130.1	166	68.2	198	38.7	230
23013	7	5545	39	1693	71	622.2	103	265.8	135	127.3	167	66.9	199	38.0	231
21918	8	5326	40	1637	72	604.6	104	259.3	136	124.6	168	65.7	200	37.4	232
20882	9	5117	41	1582	73	587.6	105	253.1	137	122.0	169	64.4	201	36.8	233
19901	10	4917	42	1530	74	571.2	106	247.0	138	119.4	170	63.3	202	36.2	234
18971	11	4725	43	1480	75	555.3	107	241.1	139	116.9	171	62.1	203	35.6	235
18090	12	4543	44	1432	76	539.9	108	235.3	140	114.5	172	61.0	204	35.1	236
17255	13	4368	45	1385	77	525.0	109	229.7	141	112.1	173	59.9	205	34.5	237
16463	14	4201	46	1340	78	510.6	110	224.3	142	109.8	174	58.8	206	33.9	238
15712	15	4041	47	1297	79	496.7	111	219.0	143	107.5	175	57.7	207	33.4	239
14999	16	3888	48	1255	80	483.2	112	213.9	144	105.3	176	56.7	208	32.9	240
14323	17	3742	49	1215	81	470.1	113	208.9	145	103.2	177	55.7	209	32.3	241
13681	18	3602	50	1177	82	457.5	114	204.1	146	101.1	178	54.7	210	31.8	242
13072	19	3468	51	1140	83	445.3	115	199.4	147	99.0	179	53.7	211	31.3	243
12493	20	3340	52	1104	84	433.4	116	194.8	148	97.0	180	52.7	212	30.8	244
11942	21	3217	53	1070	85	421.9	117	190.3	149	95.1	181	51.8	213	30.4	245
11419	22	3099	54	1037	86	410.8	118	186.1	150	93.2	182	50.9	214	29.9	246
10922	23	2986	55	1005	87	400.0	119	181.9	151	91.3	183	50.0	215	29.4	247
10450	24	2878	56	973.8	88	389.6	120	177.7	152	89.5	184	49.1	216	29.0	248
10000	25	2774	57	944.1	89	379.4	121	173.7	153	87.7	185	48.3	217	28.5	249
9572	26	2675	58	915.5	90	369.6	122	169.8	154	86.0	186	47.4	218	28.1	250
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 8: Resistencia de Termistor para 10kΩ

APÉNDICE D. CARCASA DE DEFORMACIÓN SIN TENSION

La carcasa de deformación sin tensión Modelo 4200-4 de GEOKON está construida con una pared doble de PVC rellena con espuma de poliestireno. La figura a continuación muestra la instalación estándar de la 4200-4.

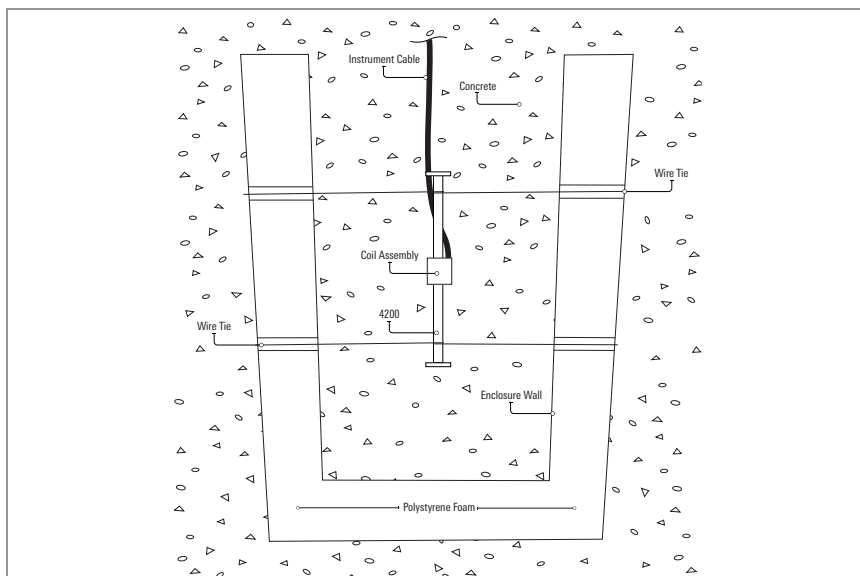


FIGURA 19: Carcasa de Deformación sin Tensión

La carcasa sin tensión tiene el propósito de posicionar un deformímetro para que no esté sujeto a cambios en la tensión de la masa de concreto que lo rodea, mientras permanece sujeto a los cambios de tensión ocasionados por la fluctuación en el contenido de humedad, temperatura y la reacción alcalina/agregados. La información recopilada por la Carcasa de deformación sin tensión puede usarse para aplicar correcciones para estos fenómenos a los otros deformímetros en la masa de concreto, permitiendo al usuario cuantificar solo las deformaciones provocadas por los cambios en la tensión.

INSTALACIÓN DE LA CARCASA 4200-4

1. Posicione la carcasa dentro de la masa de concreto con la parte superior abierta para que pueda llenarse fácilmente de concreto. (La 4200-4 a menudo se colocará a un lado del rosetón de un deformímetro.)
2. Monte el deformímetro pasando dos veces el alambre alrededor del medidor y luego pasando los extremos del alambre a través de los orificios ubicados a los lados de la carcasa.
3. Pase los extremos del amarre alrededor de la parte exterior de la carcasa y asegúrelos.
4. Use una herramienta para apretar el amarre de alambre o un dispositivo similar para apretar el alambre.
5. Repita el procedimiento usando otro amarre de alambre y el segundo par de orificios en la carcasa.
6. Coloque el cable del instrumento para que salga a través de la parte superior de la carcasa.
7. Cuando llene la carcasa de concreto, remueva el material del agregado que sea demasiado grande. Tenga cuidado de no desacomodar los deformímetros en el proceso de llenado.

APÉNDICE E. DEFORMÍMETRO DE ALTA TEMPERATURA MODELO 4200HT-T

El deformímetro de incrustación de alta temperatura Modelo 4200HT y 4200HT-T son similar al Modelo 4200, pero está construido usando componentes que pueden resistir temperaturas de hasta 200°C (4200HT) y 220°C (4200HT-T). Es particularmente útil para mediciones en pilotes de concreto centrifugado que han sido curados en autoclave.



FIGURA 20: Modelo 4200HT



FIGURA 21: Modelo 4200HT-T

La interpretación de los datos es la misma que la descrita en Sección 7, a excepción del Coeficiente de temperatura, que para el 4200HT-T es de $17.3 \mu\epsilon / ^\circ\text{C}$. La resistencia de la bobina para el Modelo 4200HT es 120 ohmios y para Modelo 4200HT-T es de 50 ohmios.

El termistor incluido con el medidor es un termistor de alta temperatura, que utiliza la tabla de conversión de resistencia a la temperatura que se muestra en Tabla 8. Al usar una consola de lectura, no es necesario conectar los cables verde y blanco al dispositivo de lectura, ya que la temperatura mostrada en el dispositivo de lectura no será correcto. En su lugar, utilice un ohmímetro digital.

PARA LEER LAS TEMPERATURAS USANDO UN OHMÍMETRO

1. Conecte un ohmímetro a los conductores verde y blanco del termistor que provienen del deformímetro. (Debido a que los cambios en la resistencia provocados por la temperatura son muy grandes, el efecto de la resistencia de los cables generalmente es insignificante.)
2. Busque las temperaturas de las resistencias medidas en Tabla 8.

APÉNDICE F. REPORTES DE CALIBRACIÓN

GOKON®

Vibrating Wire Strain Gauge Calibration Report

Model: 4200

Serial Number: 2003764

Calibration Date: February 05, 2020

This calibration has been verified/validated as of 09/15/2020

Temperature: 22.5 °C

Calibration Instruction: CI-VW Strain Gage

Technician: *Kelly Rogers*

GK-401 Reading Position D (readings in microstrain)

Actual Strain 1st Cycle (microstrain)	Gauge Reading, R 1st Cycle (microstrain)	Actual Strain 2nd Cycle (microstrain)	Gauge Reading, R 2nd Cycle (microstrain)	Average Actual Strain (microstrain)	Average Gauge Reading (microstrain)	Calculated Strain Linear (microstrain)	Error Linear (%FS)	Calculated Strain Polynomial (microstrain)	Error Polynomial (%FS)
0	1006	0	1005	0	1006	4	0.15	0	0.00
600	1611	600	1612	600	1612	599	-0.02	600	0.00
1202	2222	1202	2223	1202	2223	1199	-0.08	1202	0.02
1800	2829	1800	2831	1800	2830	1796	-0.15	1799	-0.05
2403	3449	2402	3449	2403	3449	2403	0.02	2404	0.04
3000	4061	3000	4062	3000	4062	3004	0.15	3000	-0.01

Linear Gauge Factor (G): 0.9817 Regression Zero 1001

Calculated Strain: Linear, Strain = $G (R_1 - R_0)$

Polynomial, Strain = $AR_1^2 + BR_1 + C$

Polynomial Gauge Factors: A: -3.4656E-06 B: 0.9991 C: -1001

The above instrument was found to be in tolerance in all operating ranges.

The above named instrument has been calibrated by comparison with standards traceable to the NIST, in compliance with ANSI Z540-1.

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

FIGURA 22: Reporte De Calibración Típico

Vibrating Wire Strain Gauge Batch Calibrations

Revision Date: September 14, 2020

Technician: *K. O. Bellavance*

Strain Gauge Type	Nominal Batch Factor (B)
Model 4000	0.96
Model 4200	0.98

Please Note: To calculate changes of strain use the formula $\Delta\mu = (R1-R0)G \times B$ where G is the gauge factor for that particular model of strain gauge.

This applies only to dataloggers

Where the strains are read using GK403 or GK404 readout boxes on the appropriate channels C or D, the displayed readings already include the gauge factor, G, so that with portable readout boxes the change of strain is simply $(R1-R0) \times B$ microstrain

Gauge Model	G
4000	4.062
4200	3.304

Model:	4200	4202	4204	4210	4212	4214
Gauge Factor:	3.304	0.391	1.422	0.3568	0.3624	0.3665
Start Frequency (P28):	4 (450 Hz)	14 (1400 Hz)	8 (800 Hz)	14 (1400 Hz)	14 (1400 Hz)	14 (1400 Hz)
End Frequency (P28):	12 (1200 Hz)	35 (3500 Hz)	16 (1600 Hz)	35 (3500 Hz)	35 (3500 Hz)	35 (3500 Hz)

The above factor is derived by averaging the gauge factors of controlled samples of all gauges produced. The data from calibration of the above instrument samples was collected using standards traceable to the NIST and in compliance with ANSI/NCSL Z540-1.

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

FIGURA 23: Hoja De Calibración Típica

APÉNDICE G. MEDICIÓN Y CORRECCIÓN DE LOS EFECTOS DE LA TEMPERATURA

Si los extremos de la parte estructural están libres para expandirse o contraerse sin restricciones, los cambios en la deformación pueden suceder sin ningún cambio en la tensión. Por otro lado, si los extremos de una de las partes estructurales están restringidos por algún medio semirrígido, entonces cualquier incremento en la temperatura de la parte estructural resultará en una acumulación de carga compresiva relacionada con la deformación en la parte, aún cuando la deformación real resulta ser de tensión.

Esto se debe a que la expansión de esa parte está restringida, pero la de la cuerda vibrante no. Un incremento en la temperatura producirá la expansión de la cuerda vibrante, que a su vez provocará la reducción en la tensión del cable. Esto resulta en una reducción de la frecuencia de vibración. La magnitud de este aumento en la tensión de compresión inducido por la temperatura será medido con precisión por el deformímetro y puede determinarse usando Ecuación 5.

Estas tensiones inducidas por temperatura pueden separarse de cualquier tensión inducida por la carga al leer tanto la deformación como la temperatura del medidor a intervalos frecuentes. Estas lecturas deberán realizarse en un periodo de tiempo en el que la carga externa proveniente de actividades de construcción permanezca constante. Cuando estos cambios en las deformaciones se grafican contra los correspondientes cambios de temperatura, la gráfica resultante mostrará una relación de línea recta, la inclinación de la cual resulta un factor K_T microdeformación/grados. Este factor puede utilizarse para calcular la tensión inducida por la temperatura, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{inducida por la temperatura}} = K_T (T_1 - T_0)E$$

ECUACIÓN 10: Tensión Inducida por la Temperatura

Si se desea, esto puede restarse del cambio en la tensión relacionada combinada usando la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{combinada relacionada con la temperatura y la carga}} = [(R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0)(C_1 - C_2)]E$$

ECUACIÓN 11: Tensión Combinada de la Temperatura y la Relacionada con la Carga

Para determinar la parte del cambio en la tensión provocada por la actividad de las cargas de construcción, use la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{carga externa}} = [(R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0)(C_1 - C_2) - K_T (T_1 - T_0)]E$$

ECUACIÓN 12: Tensión de Carga Externa

Note que el factor de corrección (K_T) puede cambiar con el tiempo y con la actividad de construcción, ya que la rigidez de la retención puede variar. En tal caso, se aconseja repetir el procedimiento anterior para calcular un nuevo factor de corrección de la temperatura.

Si por alguna razón se requiere la deformación real de la parte de concreto (es decir, el cambio en la unidad de longitud que sería medido con un reloj comparador fijado a la superficie), puede obtener esta medición usando la siguiente ecuación:

$$\mu\epsilon_{\text{real}} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0)C_1$$

ECUACIÓN 13: Deformación Real

En donde C_1 es el coeficiente de expansión del acero = 12.2 microdeformaciones/°C.

Esta ecuación no parece nada intuitiva, por lo tanto requiere algo de explicación. Como un ejemplo, asuma en primer lugar que el deformímetro se encuentra dentro de un bloque de concreto perfectamente contenido en sus extremos. Si la temperatura se eleva en un °C, la cuerda vibrante experimenta una expansión de 12.2 microdeformaciones y $(R_1 - R_0)B$ sería -12.2 microdeformaciones, por lo tanto, el resultado de la Ecuación 5 sería de cero deformación real en el bloque de concreto.

Por otro lado, si el bloque de concreto está libre de restricciones y experimenta un cambio de temperatura de 1 °C, entonces el concreto se expandirá en 10 microdeformaciones, mientras que la cuerda vibrante se expandirá en 12.2 microdeformaciones. Entonces, el valor de $(R_1 - R_0)B$ será de -2.2 microdeformaciones (la cuerda vibrante se aflojará ligeramente), y Ecuación 5 resultará en un valor de 10 microdeformaciones.



GEOKON
48 Spencer Street
Lebanon, New Hampshire
03766, USA

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

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