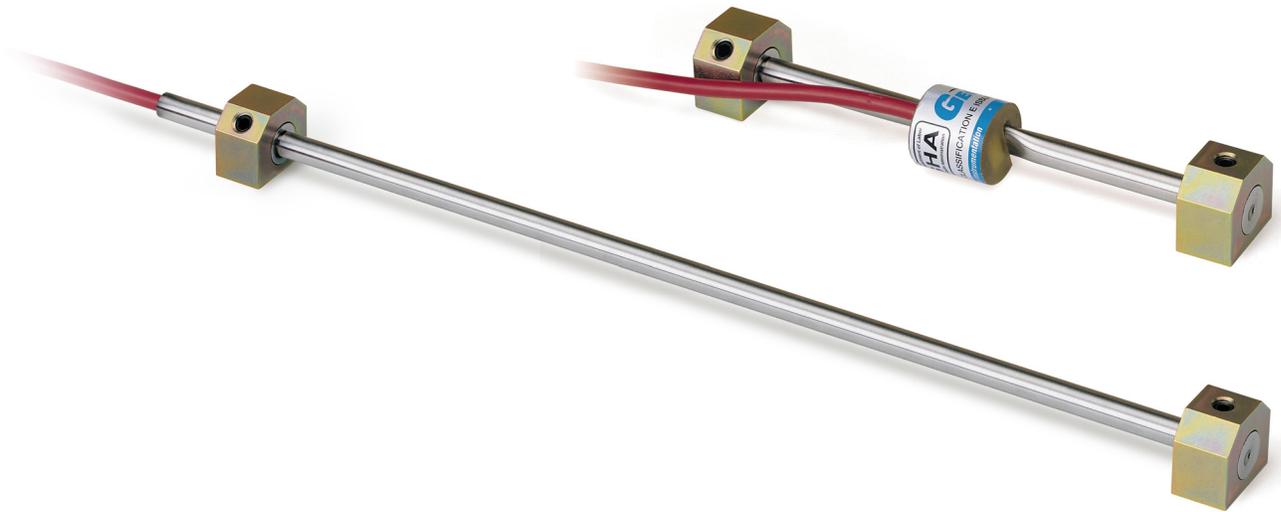

Modelo Serie 4000 **(incluye Modelo 4050)** **Deformímetros de Cuerda Vibrante** Manual de Instrucciones



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 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

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PRUEBAS PRELIMINARES	2
3. INSTALACIÓN DEL DEFORMÍMETRO	3
3.1 CONECTANDO LOS BLOQUES DE MONTAJE	3
3.2 INSTALACIÓN SOBRE SUPERFICIES DE ACERO	3
3.2.1 SOLDADURA	3
3.2.2 INSTALACIÓN EN PILOTES DE ACERO GUIADOS	4
3.3 INSTALACIÓN USANDO CEMENTOS EPÓXIDOS	6
3.3.1 SUPERFICIES DE CONCRETO	6
3.3.2 SUPERFICIES DE ACERO	6
3.4 INSTALACIÓN EN CONCRETO UTILIZANDO POSTES DE ANCLAJE	7
3.5 AJUSTE DEL DEFORMÍMETRO	7
4. PROTECCIÓN DEL DEFORMÍMETRO	9
4.1 PROTECCIÓN DE DAÑOS MECÁNICOS USANDO EL GEOKON MODELO 4000-6	9
4.2 PROTECCIÓN DE LA LUZ SOLAR DIRECTA Y CAMBIOS REPENTINOS EN LA TEMPERATURA AMBIENTE	10
4.3 PROTECCIÓN DE CABLES Y CONECTORES	10
4.4 EMPALME Y TERMINADO DE CABLES	10
4.5 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN	10
4.6 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS	11
5. UBICACIÓN DEL DEFORMÍMETRO	12
5.1 EFECTOS FINALES	12
5.2 EFECTOS DE SOLDADURA	12
5.3 MOMENTOS DE FLEXIÓN	12
6. REALIZANDO LAS LECTURAS	17
6.1 POSICIONES DE LA CONSOLA DE LECTURA DEL DEFORMÍMETRO	17
6.2 CONSOLA DE LECTURA GK-404	17
6.2.1 OPERACIÓN DE LA GK-404	17
6.3 CONSOLA DE LECTURA GK-405	18
6.3.1 CONECTAR SENSORES CON CONECTORES DE PASO ADJUNTOS DE 10 PUNTOS	18
6.3.2 CONECTAR SENSORES CON CONDUCTORES DESCUBIERTOS	19
6.3.3 OPERACIÓN DE LA GK-405	19
6.4 MEDICIÓN DE TEMPERATURAS	19

7. REDUCCIÓN DE DATOS	20
7.1 CONVERSIÓN DE LAS LECTURAS EN CAMBIOS EN LAS DEFORMACIONES	20
7.2 CONVERTIR LAS DEFORMACIONES EN TENSIONES	20
8. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	21
APPENDIX A. ESPECIFICACIONES	23
A.1 DEFORMÍMETROS DE CUERDA VIBRANTE	23
A.2 TERMISTOR	23
A.3 BLOQUES DE MONTAJE 4000-4	23
APPENDIX B. TEORÍA DE LA OPERACIÓN	24
APPENDIX C. DERIVACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR	26
APPENDIX D. INSTRUCCIONES ESPECIALES PARA EL MODELO 4050	27
APPENDIX E. EFECTOS DE LA TEMPERATURA	29
APPENDIX F. CORRECCIÓN DE LA TEMPERATURA CUANDO SE UTILIZA EN CONCRETO	30
APPENDIX G. CÁLCULOS OBTENIDOS DE TRES DEFORMÍMETROS, A 60 GRADOS, EN UNA TUBERÍA CIRCULAR	31
APPENDIX H. DOS DEFORMÍMETROS MONTADOS UNO SOBRE EL OTRO	32

FIGURAS

FIGURA 1: MODELO SERIE 4000 DEFORMÍMETROS DE CUERDA VIBRANTE	1
FIGURA 2: PLANTILLA ESPACIADORA	3
FIGURA 3: SECUENCIA DE SOLDADO PARA LOS BLOQUES DE MONTAJE	4
FIGURA 4: PROTECCIÓN EN PILOTES GUIADOS	5
FIGURA 5: INSTALACIÓN UTILIZANDO EPÓXIDO	6
FIGURA 6: INSTALACIÓN EN CONCRETO UTILIZANDO ANCLAJES DE FIJACIÓN	7
FIGURA 7: INSTALACIÓN DE LA PLACA DE PROTECCIÓN, VISTA SUPERIOR	9
FIGURA 8: INSTALACIÓN DE LA PLACA DE PROTECCIÓN, VISTA LATERAL	9
FIGURA 9: ESQUEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS	11
FIGURA 10: DEFORMÍMETROS MONTADOS EN UNA RED CENTRAL	13
FIGURA 11: DEFORMÍMETROS MONTADOS EN BRIDAS	14
FIGURA 12: MEDICIÓN DE TENSIÓN AXIAL / MOMENTO DE FLEXIÓN SOBRE EL EJE DE LAS YY	15
FIGURA 13: MEDICIÓN DE TENSIÓN AXIAL Y MOMENTOS DE FLEXIÓN SOBRE EL EJE DE LAS XX	15
FIGURA 14: MEDICIÓN DE TENSIÓN AXIAL Y MOMENTOS DE FLEXIÓN SOBRE EL EJE DE LAS XX (NO SE RECOMIENDA)	16
FIGURA 15: CONSOLA DE LECTURA GK-404	17
FIGURA 16: CONECTOR LEMO A GK-404	17
FIGURA 17: CONSOLA DE LECTURA GK-405	18
FIGURA 18: MODELO SERIE 4050 DEFORMÍMETROS DE CUERDA VIBRANTE	27
FIGURA 19: DIAGRAMA DE TRES DEFORMÍMETROS MONTADOS SOBRE UNA TUBERÍA CIRCULAR	31
FIGURA 20: DOS DEFORMÍMETROS MONTADOS UNO SOBRE EL OTRO	32

TABLAS

TABLA 1: POSICIONES DE LA CONSOLA DE LECTURA DEL DEFORMÍMETRO	17
TABLA 2: MUESTRA DE RESISTENCIA.....	22
TABLA 3: HOJA DE TRABAJO DE LA RESISTENCIA	22
TABLA 4: ESPECIFICACIONES.....	23
TABLA 5: RESISTENCIA DE TERMISTOR PARA $3K\Omega$	26

ECUACIONES

ECUACIÓN 1: CÁLCULO DE LA TENSIÓN AXIAL	13
ECUACIÓN 2: TENSIÓN DEBIDA A LA FLEXIÓN EN EL EJE YY	13
ECUACIÓN 3: TENSIÓN DEBIDA A LA FLEXIÓN EN EL EJE XX	13
ECUACIÓN 4: TENSIÓN MÁXIMA	13
ECUACIÓN 5: MICRODEFORMACIÓN TEÓRICA	20
ECUACIÓN 6: CÁLCULO DE LA DEFORMACIÓN AXIAL	20
ECUACIÓN 7: RESISTENCIA DE TERMISTOR PARA 3KΩ	26
ECUACIÓN 8: LECTURA PARA MICRODEFORMACIÓN	27
ECUACIÓN 9: EFECTOS DE LA TEMPERATURA EXCLUSIVOS DE LA MEDICIÓN	27
ECUACIÓN 10: TENSIÓN INDUCIDA POR TEMPERATURA	29
ECUACIÓN 11: TENSIÓN APARENTE	29
ECUACIÓN 12: TENSIÓN RELACIONADA CON LA CARGA	29
ECUACIÓN 13: DEFORMACIÓN REAL	29
ECUACIÓN 14: DEFORMACIONES DEL CONCRETO TÉRMICO	30
ECUACIÓN 15: DEFORMACIÓN REAL	30
ECUACIÓN 16: DEFORMACIÓN DEBIDA A CAMBIOS EN LA CARGA EXCLUSIVAMENTE	30
ECUACIÓN 17: TENSIÓN AXIAL PROMEDIO	31
ECUACIÓN 18: TENSIÓN DE FLEXIÓN MÁXIMA ALREDEDOR DEL EJE YY	31
ECUACIÓN 19: TENSIÓN DE FLEXIÓN MÁXIMA ALREDEDOR DEL EJE XX	31
ECUACIÓN 20: TENSIÓN MÁXIMA	31

1. INTRODUCCIÓN

GEOKON Los deformímetros de cuerda vibrante modelo 4000 están hechos principalmente para medir la deformación de los elementos de acero estructural tales como revestimientos de túneles, arcos, pilares, pilotes, tablaestacas, etc. También pueden utilizarse para supervisar los cambios de deformación sobre el concreto o superficies rocosas. El montaje en superficies de acero se logra por arco soldado de los bloques de montaje sobre la superficie, otras superficies requieren de bloques de montaje especiales con anclajes de acero corrugado que se fijan en barrenos.

La tensión se mide usando el de principio de la cuerda vibrante. Una longitud de cable de acero se tensa entre dos bloques de montaje que están soldados a la superficie de acero a analizar. Las deformaciones en la superficie provocarán que los dos bloques de montaje se muevan en relación uno del 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.

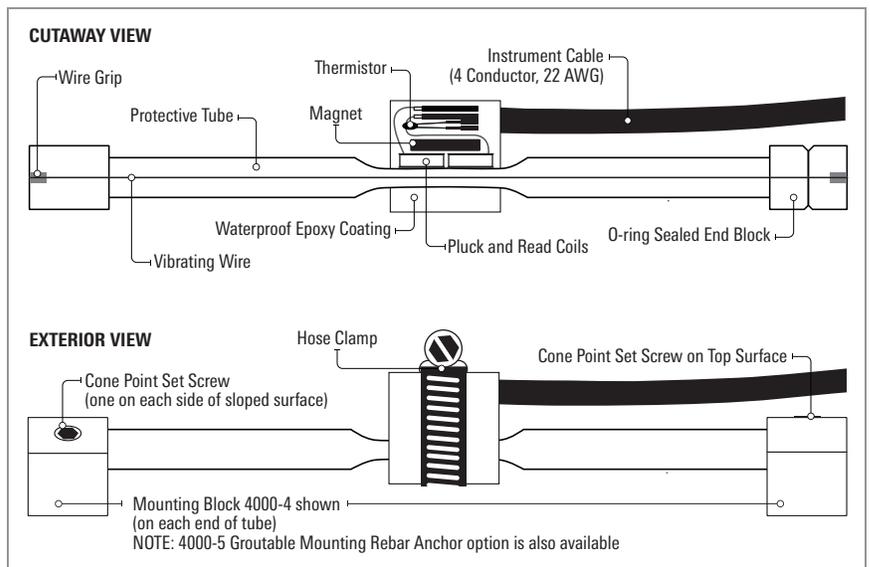


FIGURA 1: Modelo Serie 4000 Deformímetros de cuerda vibrante

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 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, instrucciones de lectura, recomendaciones de mantenimiento, y procedimientos para la resolución de problemas. También provee la teoría del medidor, y algunas sugerencias para interpretar la información.

2. PRUEBAS PRELIMINARES

Lleve a cabo pruebas preliminares antes de instalar el medidor en campo. Para llevar a cabo las pruebas preliminares, complete los siguientes pasos de acuerdo con las instrucciones de la Sección 6:

1. Conecte el medidor a su consola de lectura.
2. Observe la lectura mostrada. La lectura deberá estar alrededor del rango medio como se define en Tabla 1. La lectura de la temperatura deberá ser equivalente a la temperatura ambiente.
3. Hale cuidadosamente los bloques de los extremos del deformímetro, confirme que los números del dispositivo de lectura se incrementen conforme se incrementa la tensión.

¡No aplique tensión excesiva (mayor a 10 kg / 20 lb), ya que esto puede romper la cuerda vibrante!

Revise la continuidad de la corriente eléctrica utilizando un ohmímetro. La resistencia entre los dos conductores principales (generalmente rojo y negro) debe ser de alrededor de 180 ohmios (50 ohmios para los deformímetros modelo 4050). Recuerde añadir resistencia a los cables, que debe ser de aproximadamente 14.7Ω por cada 1,000 pies (48.5Ω por kilometro) de líneas de cobre trenzado a 20 °C, calibre de alambre estadounidense 22 (AWG, por sus siglas en inglés). Multiplique este factor por dos para considerar ambas direcciones. La resistencia entre las líneas de termistores (generalmente verde y blanco) variará dependiendo de la temperatura, vea Tabla 5. La resistencia entre cualquier conductor y la coraza no deberá exceder los dos megaohmios.

En caso de que cualquiera de estas pruebas preliminares falle, vea la Sección 8 para obtener consejos para resolución de problemas.

3. INSTALACIÓN DEL DEFORMÍMETRO

3.1 CONECTANDO LOS BLOQUES DE MONTAJE

GEOKON los deformímetros de cuerda vibrante se sujetan en su posición mediante dos bloques de montaje. GEOKON puede proveer bloques de montaje, barras espaciadoras y plantillas de espaciado para diferentes tipos de medidores e instalaciones.

Ensamble los bloques de montaje en la barra espaciadora como se detalla a continuación:

1. Ajuste los dos bloques de montaje sobre los extremos de la barra espaciadora.
2. Posicione los bloques de montaje y la barra espaciadora sobre la plantilla espaciadora.

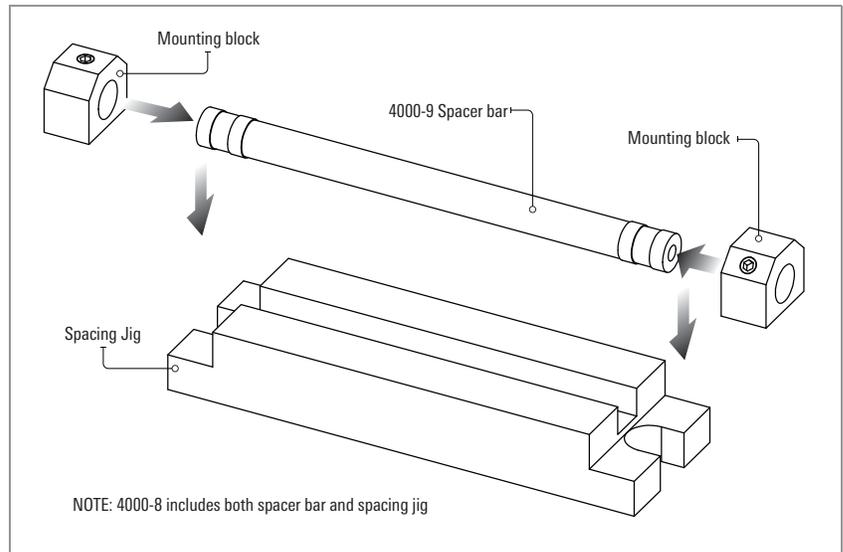


FIGURE 2: Plantilla espaciadora

3. Apriete los tornillos de fijación en los bloques de montaje hacia la barra espaciadora de modo que no se deslice. Evite apretarlos demasiado, ya que esto podría dañar la barra espaciadora.
4. Quite el bloque de montaje completo y la barra espaciadora de la plantilla espaciadora.

3.2 INSTALACIÓN SOBRE SUPERFICIES DE ACERO

3.2.1 SOLDADURA

Una vez que el espacio entre los bloques de montaje se haya establecido correctamente usando la plantilla espaciadora, los bloques de montaje pueden soldarse a la superficie de acero como se detalla a continuación:

1. Limpie el acero usando un cepillo de alambre, elimine cualquier escama, óxido, polvo, y aceite.
2. Usando la barra espaciadora como asa, presione los bloques de montaje firmemente contra la superficie de acero.
3. Suelde las orillas de los bloques de montaje en el orden mostrado en la siguiente figura.

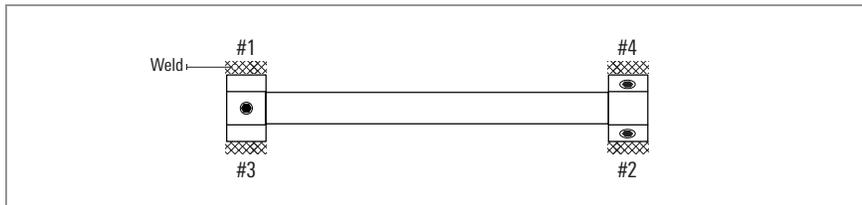


FIGURE 3: *Secuencia de soldado para los bloques de montaje*

Evite el exceso de calor mientras suelda. **No suelde los extremos de las superficies de los bloques de montaje;** esto podría evitar que se pueda quitar la barra espaciadora. Evite salpicar soldadura, que podría adherirse a la barra espaciadora. Cuando se están instalando muchos deformímetros, es conveniente tener más de una barra espaciadora disponible.

Después de soldar, enfríe los bloques de montaje con un paño empapado, luego afloje los tornillos de fijación y deslice la barra espaciadora hacia afuera. Limpie cualquier escurrimiento de soldadura usando un martillo para picar y un cepillo de alambre.

Opcional: Pinte la superficie para proveer protección contra la corrosión.

Continúe con la instalación procediendo a la Sección 3.5.

3.2.2 INSTALACIÓN EN PILOTES DE ACERO GUIADOS

Los deformímetros montados sobre pilotes de acero necesitan protegerse de raspaduras mientras los pilotes son anclados en la tierra. Esto puede lograrse soldando una canaleta de hierro de 101 x 38 mm (4 plg x 1.5 pl) o un hierro angulado de 64 mm (2.5 plg) o más grande, sobre la parte superior de los deformímetros y los cables. Vea la figura a continuación.

Para evitar quemar los cables, la protección deberá soldarse antes de instalar los deformímetros y cables. Para lograrlo, deje aperturas en el acero sobre las ubicaciones de los deformímetros. No es necesario utilizar soldadura continua, la soldadura de puntos es suficiente, siempre y cuando sostenga los ángulos o canales firmemente en su posición. Los cables deben restringirse con pernos de soldadura a intervalos de tres metros, a los cuales pueden atarse los cables.

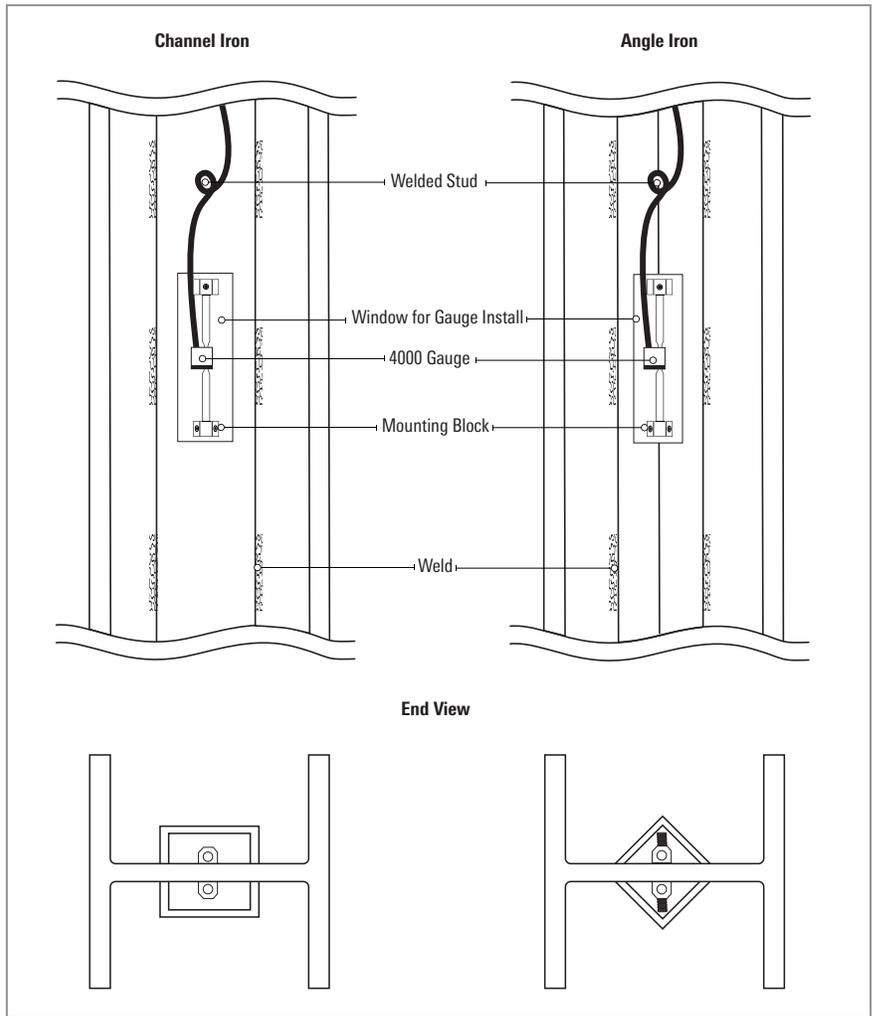


FIGURE 4: Protección en pilotes guiados

Para prevenir daños por descarga eléctrica durante el anclaje, siga las siguientes precauciones adicionales:

- Instale el bloque de montaje que cuente con un solo tornillo de fijación en la posición superior.
- Ajuste firmemente los tornillos de fijación que sostienen el deformímetro sobre los bloques de montaje. Use Loctite en los hilos.
- Adhiera la bobina en la zona plana del tubo del deformímetro. (Utilice un producto de cianoacrilato tal como Eastman 910 o Crazy Glue). Asegúrese de que el lado de los cables de la bobina apunte hacia la parte superior del pilote, es decir, hacia el extremo del medidor con la hendidura en V.
- Como precaución adicional, ajuste firmemente al instalar la abrazadera de manguera que sostiene la bobina en el deformímetro, y apriete utilizando una llave de tuercas.
- Al configurar los deformímetros asegúrese de que estén leyendo alrededor de 3500 en la posición C. **Esto es muy importante.**

Continúe con la instalación procediendo a la Sección 3.5. Una vez que los deformímetros están instalados, selle ambas ventanas soldando una sección de material adecuado sobre la ventana.

3.3 INSTALACIÓN USANDO CEMENTOS EPÓXIDOS

GEOKON Los deformímetros pueden fijarse a superficies de acero o de concreto usando epóxidos siempre que se cumpla estrictamente con estos dos factores:

1. Debe tenerse la precaución debida para limpiar las superficies a unir.
2. Debe darse el tiempo suficiente necesario para que el epóxido se cure antes de fijar los deformímetros a los bloques de montaje.

Nota: Debido a la gran cantidad de variables asociadas con el uso de adhesivos (ciclos térmicos, exposición a rayos UV, vibración, impacto, humedad, corrosión de la base de acero, etc.) los cementos epóxidos se recomiendan para la supervisión diaria de corto plazo.

3.3.1 SUPERFICIES DE CONCRETO

Materiales necesarios:

- Masilla sumergible Devcon, Número de Parte del fabricante 11800 — GEOKON Número de parte 6201-2
 - Adhesivo instantáneo Loctite 410, Número de Parte del fabricante Part# 41045 — GEOKON Part# 4000-15
1. Mezcle una cierta cantidad de las dos partes de la masilla sumergible. La proporción de la mezcla es de 1/1.
 2. Esmerile y / o lije las superficies a unir. (Esto incluye las superficies del concreto y los bloques de los extremos).
 3. Limpie las superficies con aire comprimido o limpiador en aerosol.
 4. Fije los bloques de montaje en la barra espaciadora, siguiendo las instrucciones de la Sección 3.1.
 5. Aplique una delgada capa de la masilla sumergible mezclada en el centro dos tercios del bloque de montaje, y una delgada capa de adhesivo instantáneo 410 a las orillas exteriores de los bloques de montaje (vea la figura a continuación).

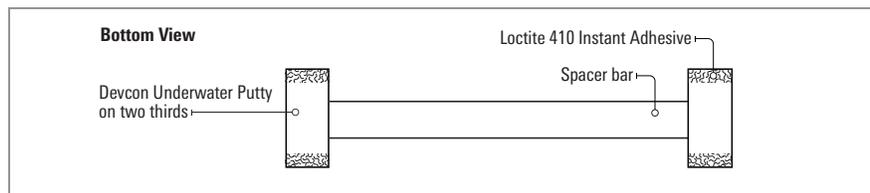


FIGURE 5: Instalación utilizando epóxido

6. Presione el ensamblaje firmemente contra la superficie y sosténgala en posición durante dos minutos.
7. Quite cuidadosamente la barra espaciadora de los bloques de montaje.
8. Permita 24 horas de curado antes de instalar los deformímetros.
9. Continúe con la instalación procediendo a la Sección 3.5.

3.3.2 SUPERFICIES DE ACERO

Use Loctite Speedbonder H4500. Este puede comprarse en un cartucho que dispensa de forma automática las dos partes de adhesivo en su mezcla correcta del 10/1. (El adhesivo, dispensador y boquillas están disponibles en GEOKON).

Siga las instrucciones proporcionadas y luego continúe con la instalación procediendo a la Sección 3.5.

3.4 INSTALACIÓN EN CONCRETO UTILIZANDO POSTES DE ANCLAJE

Las deformaciones en las superficies de concreto pueden medirse utilizando bloques de montaje especiales que cuentan con una barra de refuerzo soldada (GEOKON modelo 4000-5). Fije el deformímetro a una superficie de concreto como se indica a continuación:

1. Taladre dos orificios de 64 mm (2.5 in) de profundidad en el concreto espaciados adecuadamente, utilizando una broca de por lo menos 13 mm (1/2 in). (Hay una plantilla disponible, GEOKON modelo 4000-11).
2. Conecte los bloques de montaje a la barra espaciadora usando el bloque espaciador (vea la Sección 3.1).
3. Rejunte los pernos de acero corrugado en los orificios usando algún cemento hidráulico de secado rápido o un cemento epóxido de alta resistencia. El epóxido Redhead, tipo Epcon Ceramic 6 funciona bien.
4. Una vez que la lechada ha curado, continúe con la instalación procediendo a la Sección 3.5.

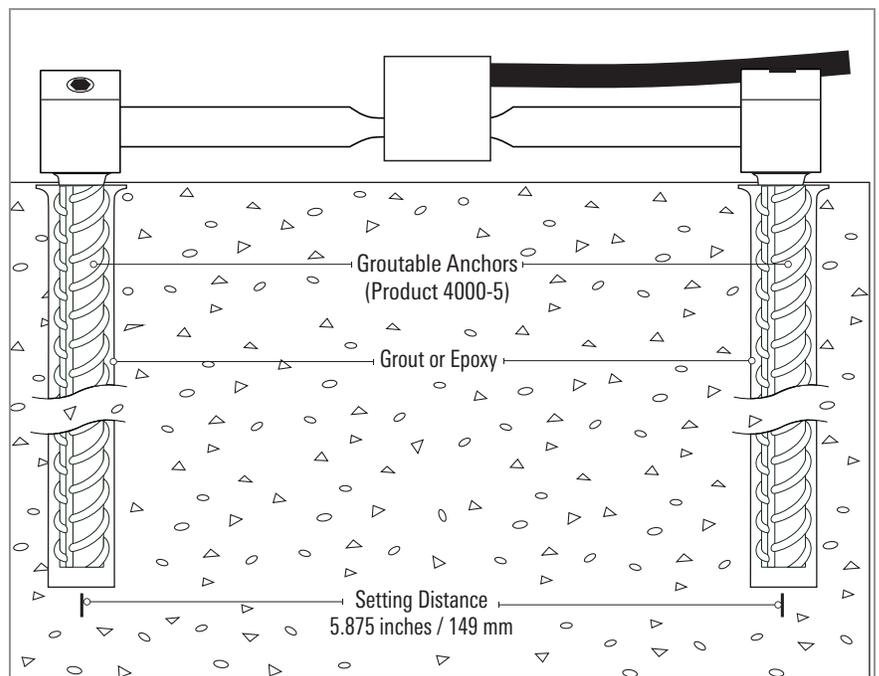


FIGURE 6: Instalación en concreto utilizando anclajes de fijación

3.5 AJUSTE DEL DEFORMÍMETRO

Monte el deformímetro como se detalla a continuación:

1. Deslice el deformímetro a través de los bloques de montaje. El extremo del deformímetro que tiene la hendidura en V se coloca en el interior del bloque de montaje que tiene solo un tornillo de fijación, el extremo suave se coloca dentro del bloque de montaje con dos tornillos de fijación.
2. Apriete firmemente los tornillos de fijación del bloque de montaje que tiene solo un tornillo.
3. Deslice la ranura en el ensamblaje de la bobina (ubicado en el extremo del cable del instrumento) sobre el angosto centro del deformímetro.
4. Conecte el deformímetro a la consola de lectura siguiendo las instrucciones de la Sección 6.
5. Ajuste la lectura jalando o empujando en el extremo libre del deformímetro.

6. Configure la lectura inicial del deformímetro en el nivel correcto dependiendo de si se esperan deformaciones de compresión o de tensión. Los deformímetros se embarcan con una lectura de aproximadamente 3000 a 3500 microdeformaciones. Este es un nivel adecuado para deformaciones por compresión. Si se van a medir deformaciones por tensión, configure la lectura inicial en aproximadamente 1500 microdeformaciones. El rango utilizable del deformímetro va de alrededor de 1000 a 4000 microdeformaciones. La lectura del rango medio es 2500 microdeformaciones.
7. Cuando se ha obtenido la lectura deseada, apriete firmemente los tornillos de fijación del bloque de montaje con dos tornillos de fijación.
8. Instale la abrazadera de manguera sobre el ensamblaje y ajuste utilizando una llave de tuercas.
9. Para eliminar cualquier deformación de la instalación y estabilizar la lectura inicial, golpee suavemente los bloques de montaje con una herramienta de plástico duro, p.ej. el mango de un desarmador. Continúe golpeando hasta que la lectura se estabilice.

Es imperativo obtener una lectura inicial de cero para cada deformímetro, ya que es esta lectura la que se utilizará para todas las reducciones subsiguientes de datos.

Es preferible instalar deformímetros en partes de acero mientras aún se encuentran en condiciones sin carga, es decir, antes de ensamblarlas en la estructura. Una vez que se establece el cero de esta forma, las lecturas iniciales corresponden a **carga cero**, de otra forma, si la parte está bajo carga la lectura inicial corresponderá a un nivel de carga desconocido.

Evite el manejo excesivo del deformímetro antes de tomar lecturas cero. Siempre permita que pase tiempo suficiente para que la temperatura del deformímetro se estabilice antes de tomar una lectura. Asegúrese de registrar la temperatura cada vez que se toma una lectura, junto con las anotaciones relativas a las actividades de construcción que se están llevando a cabo. Esta información puede proporcionar razones lógicas de los cambios observados en las lecturas. (Vea también Appendix E y F).

Cada deformímetro cuenta con un termistor encapsulado junto con una bobina de recolección. GEOKON Las consolas de lectura muestran la temperatura directa en grados Celsius. También puede utilizar un ohmímetro. (La relación entre resistencia y temperatura se muestra en Appendix C).

4. PROTECCIÓN DEL DEFORMÍMETRO

4.1 PROTECCIÓN DE DAÑOS MECÁNICOS USANDO EL GEOKON MODELO 4000-6

Existen placas de cubierta especiales hechas de lámina de acero formada en forma de canal disponible en GEOKON. Utilice los herrajes para montaje provistos para instalar las placas de cubierta como se muestra a continuación:

1. Suelde los dos pernos hexagonales largos de 9.5 x 51 mm (3/8 x 2 in) en su lugar con la cabeza hacia abajo. Los pernos deberán tener un espaciado nominal de 530 mm (21 in) de separación. Hay una plantilla espaciadora disponible en GEOKON, o la placa de cubierta puede voltearse de cabeza y los orificios que tiene pueden usarse para marcar las ubicaciones de los pernos. Un orificio en la placa de cubierta cuenta con una ranura para que el espaciado no sea tan esencial. Evite soldar cerca del deformímetro ya que esto puede ocasionar grandes distorsiones locales del metal. Use una pistola soldadora de pernos especial o soldadura por arco eléctrico para soldar la cabeza del perno sobre la superficie.
2. Ponga la placa de cubierta sobre los pernos soldados.
3. Instale las rondanas, luego las tuercas. Evite usar una fuerza excesiva al apretar la cubierta que retiene las tuercas ya que esto distorsionará la superficie de acero subyacente y puede dar origen a lecturas falsas. Las dos figuras a continuación muestran la instalación terminada.

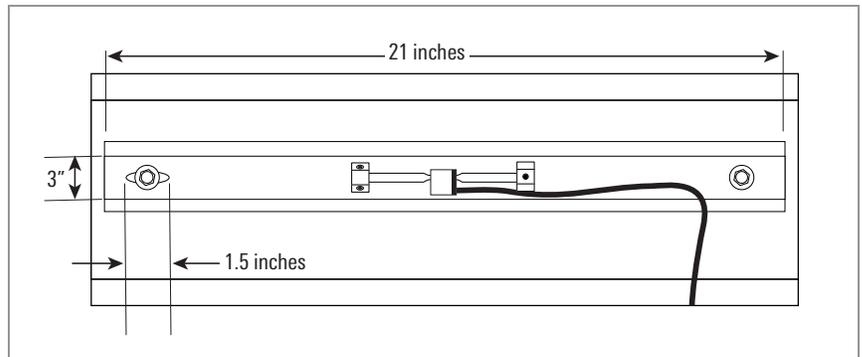


FIGURE 7: Instalación de la placa de protección, vista superior

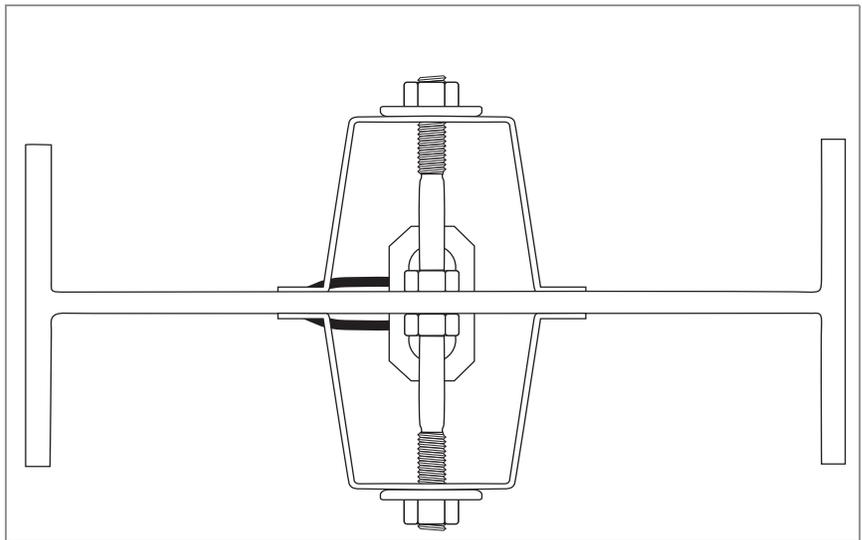


FIGURE 8: Instalación de la placa de protección, vista lateral

4.2 PROTECCIÓN DE LA LUZ SOLAR DIRECTA Y CAMBIOS REPENTINOS EN LA TEMPERATURA AMBIENTE

El coeficiente térmico de expansión de la cuerda vibrante de acero dentro del deformímetro es el mismo que el de la estructura de acero sobre la cual el deformímetro está fijado, por lo tanto, **no se requiere de corrección a la medición de deformación cuando se calculen deformaciones inducidas por carga**. Sin embargo, esto solo es verdadero si el cable y la estructura de acero subyacente se encuentran a la misma temperatura. Si se permite que la luz solar afecte directamente al deformímetro, podría elevar la temperatura del cable encima del acero circundante y puede causar grandes cambios aparentes en la deformación. **Por lo tanto, siempre proteja los deformímetros de la luz directa del sol.** La protección contra los cambios de temperatura es más sencilla de proporcionar cubriendo los deformímetros con una capa de material aislante tal como espuma de poliestireno o fibra de vidrio.

4.3 PROTECCIÓN DE CABLES Y CONECTORES

El cable debe protegerse de daños accidentales causados por mover el equipo o rocas sueltas. Esto se logra de mejor manera poniendo el cable dentro del conducto flexible y posicionando el conducto en un lugar tan seguro como sea posible. (El conducto flexible está disponible en GEOKON). El conducto puede conectarse a través de conectores pasantes para cubrir las placas y luego a una consola de lectura. (La placa de cubierta GEOKON cuenta con un troquel estampado que, al eliminarlo, provee un orificio para conectar el conducto conector).

4.4 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 deformímetros terminen en una sola ubicación con protección total de 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 deformímetro, por lo tanto, empalmar los cables no tiene efectos adversos, y, en ciertos casos, de hecho puede ser conveniente. El cable usando para empalmes debe ser del tipo de cable de par trenzado de alta calidad, con blindaje del 100 % y un cable integrado de drenaje reforzado. **Al hacer empalmes, es muy importante que el blindaje de los cables de drenaje 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 empalme de cables.

Puede terminar un cable decapando y estañando los conductores individuales y luego conectándolos a un cable de conexión de la consola de lectura. En forma alternativa, puede usar un conector para conectarlo directamente en la consola de lectura o en un receptáculo de un cable de conexión especial.

4.5 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

Puede inhibir la corrosión aplicando una capa de pintura anti corrosión en los puntos de soldadura.

4.6 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

A diferencia de muchos otros tipos de instrumentos disponibles en GEOKON, 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 del deformímetro. Vea la figura a continuación.
- Los protectores de sobretensión de plasma pueden fijarse con epóxidos en el cable del instrumento, cerca del sensor. 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.

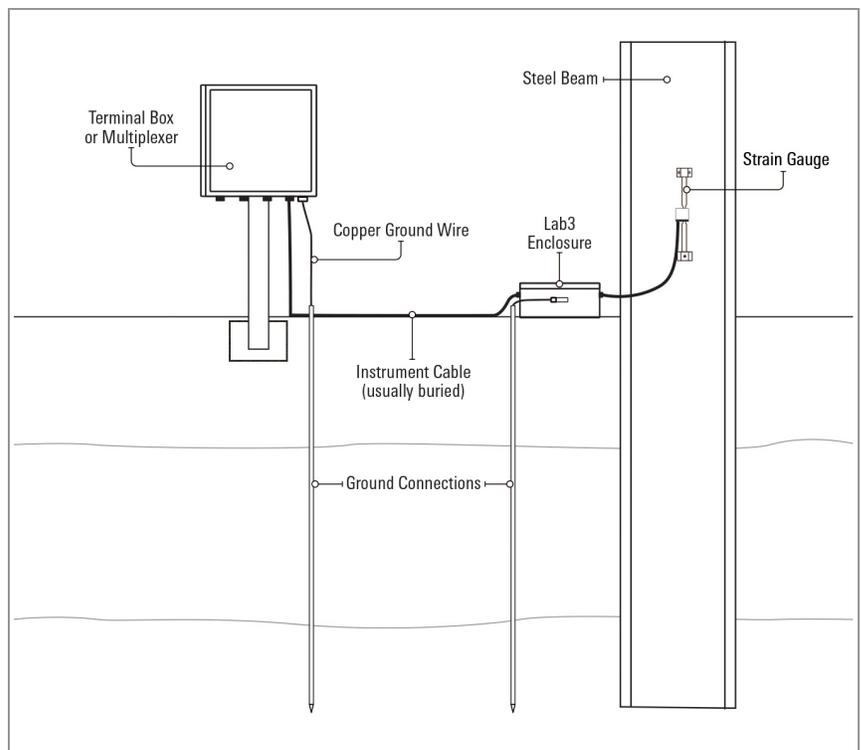


FIGURE 9: Esquema de protección contra rayos

5. UBICACIÓN DEL DEFORMÍMETRO

5.1 EFECTOS FINALES

Para evitar efectos finales, los deformímetros deberán ubicarse lejos de los extremos de pilares en donde puedan verse influenciados por distorsiones locales por compresión o empujado. Para la mayoría de las partes estructurales, una distancia de cinco pies es suficiente. En forma alternativa, los efectos finales pueden ser de interés debido a que añaden efectos de cargas inducidas, y pueden ser lo suficientemente grandes como para provocar un fallo en los extremos de la parte estructural, en lugar de en el medio.

5.2 EFECTOS DE SOLDADURA

La soldadura por arco cercana a un deformímetro puede causar deformaciones muy grandes en la parte de acero. Soldar pernos en pilotes soldados para dar apoyo a malla de hormigón proyectado rezagado, etc., puede causar grandes cambios de deformación. Esto también es cierto para placas de cubierta soldadas, canales de protección, etc., sobre los deformímetros y cables. Siempre tome las lecturas de los deformímetros antes y después de cualquier soldadura por arco en la estructura de acero de modo que las correcciones puedan aplicarse a cualquier cambio aparente en la deformación.

5.3 MOMENTOS DE FLEXIÓN

En el caso de una estructura de acero, un deformímetro mide la deformación en un punto sobre la superficie, y esto debería ser suficiente si se pudiera garantizar que la parte no está sufriendo ninguna flexión. En la práctica, esto solo ocurre cerca del centro de partes largas y delgadas sujetas a cargas de tensión. En cualquier otro lugar, los **momentos de flexión son la regla más que la excepción**, y habrá un eje neutral alrededor del cual suceden las flexiones.

Debido a que los efectos de la flexión deben de tomarse en cuenta, se requiere de más de un deformímetro en cada sección transversal de la parte estructural. Para obtener un análisis completo, se requiere de al menos tres deformímetros, y muy a menudo se requieren más de tres. En un pilar de tubería circular, se requerirán de tres deformímetros espaciales 120 grados alrededor de la periferia del pilar (vea Apéndice G). En un pilote en H o una viga en I, se requerirán de por lo menos cuatro deformímetros. En tablaestacas de acero, dos deformímetros de espaldas uno al otro en ambos lados de la tablaestaca serán suficientes. En donde una parte está sujeta a flexión y **solo la superficie frontal es accesible**, p. ej., un revestimiento de un túnel de acero o la parte exterior de tablaestacas de acero, los momentos de flexión pueden medirse instalando dos deformímetros a diferente distancia del eje neutral (vea Apéndice H).

Considere el ejemplo de una viga en I, como se muestra en la figura a continuación:

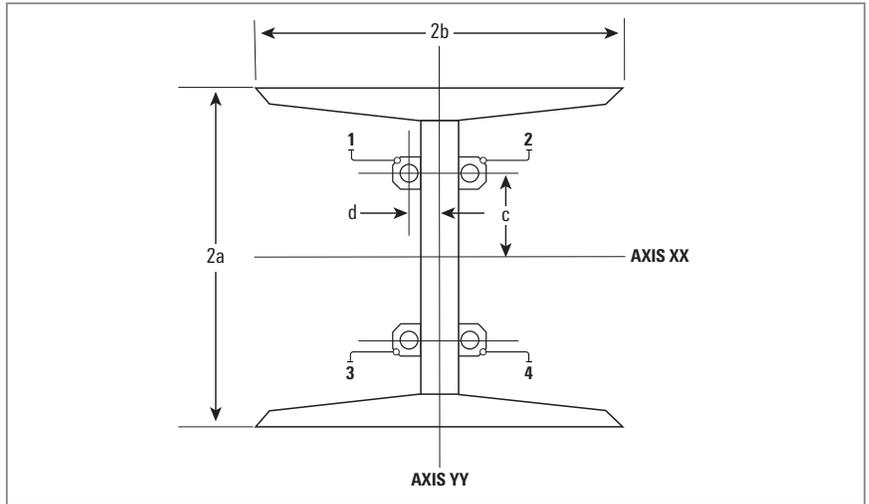


FIGURA 10: Deformímetros montados en una red central

Los deformímetros montados en una red central pueden medir la deformación axial así como los momentos de flexión alrededor de los ejes YY y XX. En esta configuración, cuatro deformímetros (1, 2, 3, y 4 en Figura 10) están soldados de espaldas uno al otro en pares en la red central. Los deformímetros están a una altura (d) por arriba del centro de la red (eje YY) y a distancia (c). El ancho de la brida de la viga en I está representado por 2b y la profundidad de la red por 2a.

Nota: Esta configuración no se recomienda para arcos de túneles.

La tensión axial está dada por el promedio de las lecturas de deformación de los cuatro deformímetros multiplicadas por los módulos, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\sigma_{axial} = \frac{(\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 + \epsilon_4)}{4} \times E$$

ECUACIÓN 1: Cálculo de la tensión axial

La tensión debida a la flexión se calcula observando las diferencias entre pares de deformímetros montados en lados opuestos del eje neutral. Así, la tensión máxima debida a la flexión alrededor del eje de las YY está dada por:

$$\sigma_{yy} = \frac{(\epsilon_1 + \epsilon_3) - (\epsilon_2 + \epsilon_4)}{2} \times \frac{b}{d} \times E$$

ECUACIÓN 2: Tensión debida a la flexión en el eje YY

La tensión máxima debida a la flexión alrededor del eje de las XX está dada por:

$$\sigma_{xx} = \frac{(\epsilon_1 + \epsilon_2) - (\epsilon_3 + \epsilon_4)}{2} \times \frac{a}{c} \times E$$

ECUACIÓN 3: Tensión debida a la flexión en el eje XX

$$\sigma_{maximum} = \sigma_{axial} + \sigma_{xx} + \sigma_{yy}$$

ECUACIÓN 4: Tensión máxima

En todos los cálculos anteriores, ponga especial atención al signo de la deformación. Un cambio positivo en la tensión es un cambio negativo en la compresión.

Note que la deformación total, en cualquier punto de la sección transversal, es la sumatoria algebraica de las deformaciones de flexión y las deformaciones del eje. Las **deformaciones en las esquinas exteriores de la brida pueden ser mucho mayores que las deformaciones medidas en la red**, y la falla de la sección puede iniciarse en estos puntos, de ahí la importancia de analizar los momentos de flexión.

La consideración anterior parecería llevar a la conclusión (desde el punto de vista de obtener la mejor medición para las deformaciones máximas) de que la ubicación ideal de los deformímetros sería en las esquinas exteriores de las bridas, como se muestra en Figura 11. Sin embargo, esta configuración dificulta el proteger los deformímetros y cables de daños accidentales. Además, puede surgir un problema serio del hecho de que **cada uno de los cuatro deformímetros puede estar sujeto a fuerzas de flexión locales, lo cual afecta solo a un deformímetro y no a los demás**. Por ejemplo, no es nada fuera de lo común que haya soldadura en puntos cercanos al deformímetro, esto con frecuencia produce grandes cambios de deformación en el deformímetro. Tampoco son poco comunes los bloqueos locales (soportes de arco de túneles) y el agregar postes para causar cambios en la deformación en un solo deformímetro cercano.

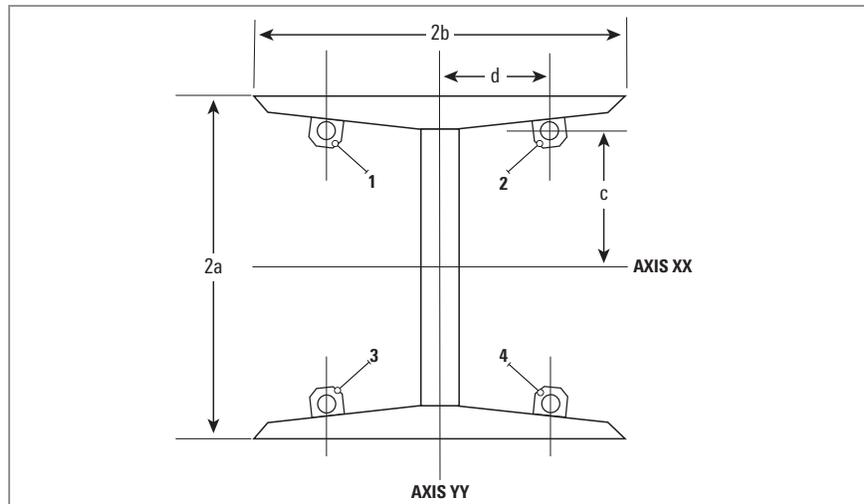


FIGURA 11: Deformímetros montados en bridas

Siempre es mejor ubicar los deformímetros en pares, uno a cada lado del eje neutral correspondiente a la sección de la viga en la cual se fija el deformímetro. Esto, en conjunto con la ubicación de los deformímetros en la red hace más fácil protegerlos, y es la razón por la que la configuración mostrada anteriormente en Figura 10 es preferible.

Si por cuestiones económicas se decide usar solo dos deformímetros por cada sección transversal, entonces deberá usarse la configuración mostrada en Figura 12. Esta configuración dará las deformaciones axiales y el momento de flexión alrededor **del eje menor de las YY solamente**.

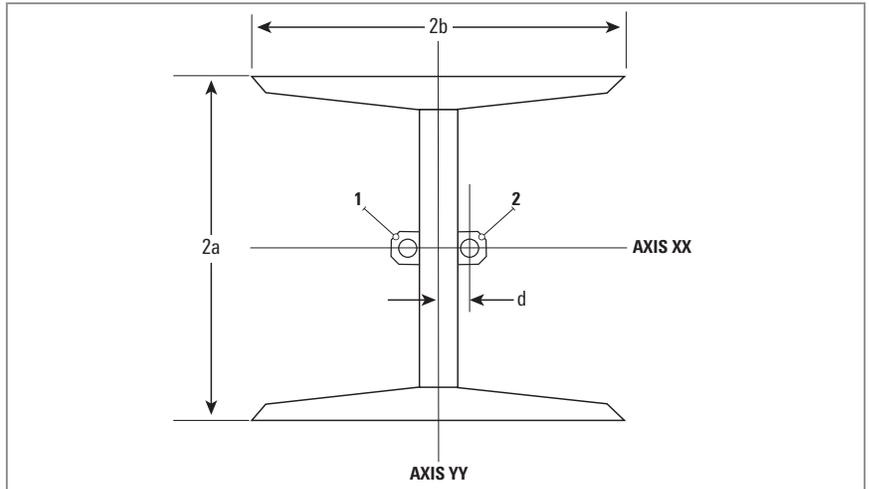


FIGURA 12: Medición de tensión axial / momento de flexión sobre el eje de las YY

Esta configuración facilita la protección de los instrumentos y sus cables. Si se desea, puede taladrarse un orificio en la red de modo que el cable de un deformímetro pueda pasar por este orificio hasta el otro lado, permitiendo proteger ambos cables con un solo conducto.

Otra posible configuración de dos deformímetros se muestra en la Figura 13.

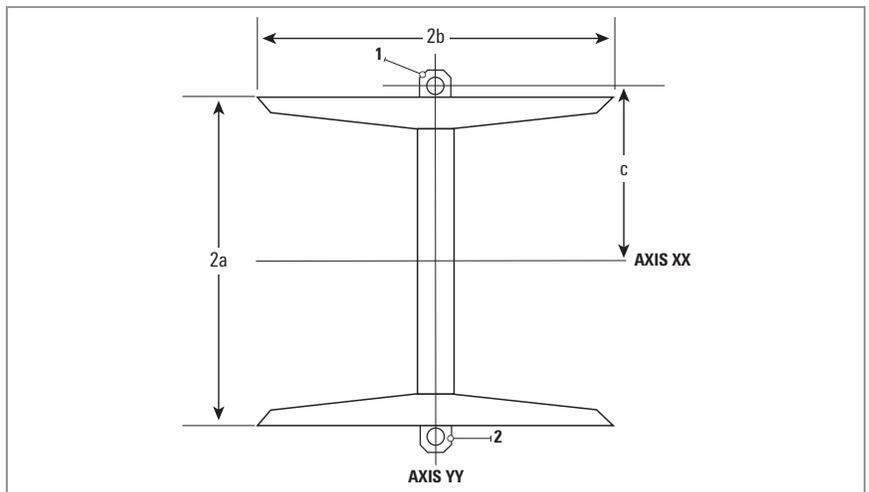


FIGURA 13: Medición de tensión axial y momentos de flexión sobre el eje de las XX

Esta configuración permite el cálculo de las tensiones axiales y el momento de flexión alrededor del eje mayor de las XX. Una desventaja es que la posición expuesta de los deformímetros fuera de las bridas requiere de una mayor grado de protección. Así mismo, la flexión local de un deformímetro puede no ser detectada por el otro. Un ejemplo de la vida real de esto se hizo evidente al soldar en la brida expuesta de un pilar soldado cerca de un deformímetro que produjo un cambio en la deformación grande que no fue detectado por el otro deformímetro a espaldas del pilar.

La configuración mostrada en Figura 14 ha sido usada para permitir el cálculo de las tensiones axiales, así como para proveer una medición del momento de flexión alrededor del eje mayor de las XX. Sin embargo, cualquier flexión alrededor del eje menor de las YY afectará la lectura hasta cierto punto. Aún más importante, existe el riesgo de que un deformímetro pueda verse afectado por flexiones locales sin afectar al otro deformímetro.

Esta configuración no se recomienda.

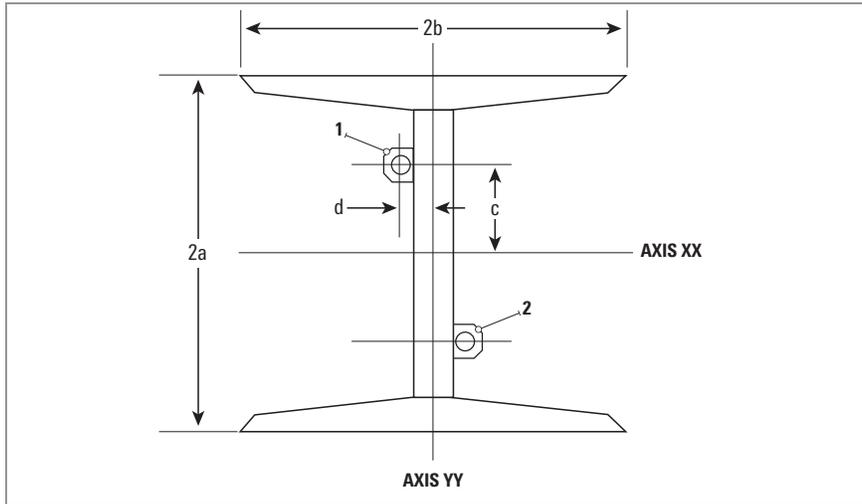


FIGURA 14: Medición de tensión axial y momentos de flexión sobre el eje de las XX (NO SE RECOMIENDA)

6. REALIZANDO LAS LECTURAS

6.1 POSICIONES DE LA CONSOLA DE LECTURA DEL DEFORMÍMETRO

Modelo	4000	4050
Posición de la consola de lectura	C	B
Unidades mostradas	microdeformaciones ($\mu\epsilon$)	dígitos (10^{-3})
Rango de frecuencia	450 - 1250 Hz	1400 - 3200 Hz
Lectura del rango medio	2500 $\mu\epsilon$	6000 dígitos
Lectura mínima	1000 $\mu\epsilon$	2000 dígitos
Lectura máxima	4000 $\mu\epsilon$	10000 dígitos

TABLE 1: Posiciones de la consola de lectura del deformímetro

6.2 CONSOLA DE LECTURA GK-404

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 diseñado para las lecturas de todos los deformímetros de cuerda vibrante y transductores 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.



FIGURE 15: Consola de lectura GK-404



FIGURE 16: Conector Lemo a GK-404

6.2.1 OPERACIÓN DE LA GK-404

1. Fije los conductores sueltos a la GK-404 alineando el círculo rojo del conector Lemo plata con la línea roja de la parte superior de la GK-404 (vea la Figura 16). Inserte el conector Lemo en la GK-404 hasta que quede fijo en su posición.
2. Conecte cada uno de los broches de los conductores al color que le corresponda de los conductores del sensor, 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 una demora, la GK-404 comenzará a tomar las lecturas y las mostrará en base a las configuraciones de los botones POS y MODO.

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

- La posición actual: configurada por el botón POS, mostrado como 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 deformímetro fijado en grados Celsius.

Use los botones POS y MODO para seleccionar la posición correcta y las unidades a mostrar para el modelo de deformímetro adquirido (vea la Sección 6.1). 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 CONSOLA DE LECTURA GK-405

La consola de lectura de cuerda vibrante 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, alojada 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 usando Bluetooth®, un confiable protocolo de comunicaciones digitales. 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.

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

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



FIGURE 17: Consola de lectura 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 posición.

6.3.2 CONECTAR SENSORES CON CONDUCTORES DESCUBIERTOS

Fije los conductores sueltos de la GK-403-2 a los conductores descubiertos del sensor de cuerda vibrante GEOKON conectando cada uno de los caimanes en los conductores de acuerdo con el código de color de los conductores del sensor, 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 VVRA llevando a cabo lo siguiente:

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 deformímetro (vea la Sección 6.4). Para obtener más información, consulte el Manual de instrucciones de la GK-405.

6.4 MEDICIÓN DE TEMPERATURAS

Todos los deformímetros de cuerda vibrante 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-403, GK-404, y GK-405 leerán el termistor y mostrarán la temperatura en grados Celsius.

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 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 este factor por dos para contabilizar ambas direcciones.
2. Busque las temperaturas de las resistencias medidas en Appendix C.

7. REDUCCIÓN DE DATOS

Las lecturas en la posición C en las consolas de lectura de GEOKON se muestran directamente en microdeformaciones basadas en la ecuación teórica:

$$\mu\varepsilon_{theory} = 4.062(f^2 \times 10^{-3})$$

ECUACIÓN 5: *Microdeformación teórica*

En donde $\mu\varepsilon$ es la deformación en el cable en microdeformaciones y f es la frecuencia de resonancia de la cuerda vibrante.

7.1 CONVERSIÓN DE LAS LECTURAS EN CAMBIOS EN LAS DEFORMACIONES

En la práctica, el método de sujeción del cable acorta ligeramente, de forma eficiente, la cuerda vibrante, provocando el sobre registro de la deformación. Este efecto se elimina aplicando el factor de galga del lote (B) del informe de calibración proporcionado con los deformímetros.

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

ECUACIÓN 6: *Cálculo de la deformación axial*

En donde R_0 es la lectura inicial en la posición C y R_1 es una lectura posterior.

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

El valor obtenido de la ecuación anterior se requiere para calcular tensiones en las ecuaciones de los pasos dos al cuatro en Apéndice B. Las tensiones calculadas son el total de aquellas causadas tanto por la actividad de construcción, como por cualquier cambio en la temperatura que pudiera haber ocurrido.

7.2 CONVERTIR LAS DEFORMACIONES EN TENSIONES

Los deformímetros de cuerda vibrante miden la deformación de la estructura, sin embargo, los diseñadores generalmente están más interesados en las cargas estructurales o tensiones. Esto requiere de una conversión de las deformaciones medidas a tensiones calculadas.

Los cambios en las deformaciones con tiempo se calculan a partir de lecturas tomadas de los deformímetros en distintas ocasiones con la lectura inicial tomada a la hora cero. Esta lectura inicial deberá tomarse cuando la parte estructural no está bajo ninguna carga, es decir, los deformímetros deberán montarse mientras la parte esté aún en la acería o bodega.

Esto no siempre es posible y a menudo los deformímetros se instalan en partes que están bajo cierta carga existente de modo que los cambios subsecuentes en las deformaciones siempre comenzarán a partir de un dato desconocido. Sin embargo, las tensiones residuales o existentes se pueden medir utilizando el "Método de perforación de orificios ciegos" (Photolastic 1977). El procedimiento es el de fijar el rosetón de un deformímetro a la superficie y luego analizar las deformaciones causadas por perforar un orificio ciego corto en el centro del rosetón. Sin embargo, es un hecho bien sabido el que las deformaciones pueden quedarse encerradas en el acero durante su fabricación. (A menudo, la parte exterior de un miembro de acero está bajo tensión con respecto a la parte interior.)

Mida la deformación en el miembro estructural después de que se haya desmantelado la estructura. Esta lectura "sin carga" debe coincidir con la lectura inicial "sin carga". Cualquier desacuerdo indicaría una deriva del cero del calibre. Sin embargo, podría haber ocurrido alguna deformación plástica permanente del miembro, particularmente si las deformaciones medidas se acercaron al límite elástico.

8. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

El mantenimiento y resolución de problemas del deformímetro de cuerda vibrante modelo 4000 está restringido a revisiones periódicas de las conexiones de cables y mantenimiento de las terminales. Una vez instalados, los deformímetros generalmente no son accesibles y las medidas correctivas están 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 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

- Es probable que haya algún circuito abierto. Revise todas las conexiones, terminales y enchufes. Si encuentra algún corte en el cable, únalo siguiendo las instrucciones de la Sección 4.4.

SÍNTOMA: LA RESISTENCIA DEL TERMISTOR ES DEMASIADO BAJA

- Revise todas las conexiones, terminales y enchufes en busca de algún corto circuito. Si encuentra algún corto en el cable, únalo siguiendo las instrucciones de la Sección 4.4.
- Puede ser que el agua haya penetrado en el interior del deformímetro de cuerda vibrante. No hay acción correctiva.

SÍNTOMA: LAS LECTURAS DEL DEFORMÍMETRO NO SON ESTABLES

- 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 esto es una posibilidad. Afloje los dos tornillos de fijación ovalados en uno de los bloques de montaje. Esto permitirá que el resorte interno vuelva a tensar el deformímetro y este vuelva a hacer una lectura correcta. Configure el deformímetro a nuevos datos y vuelva a ajustar los tornillos de fijación. Si el deformímetro no responde a la reconfiguración, y si la bobina de recolección recolecta en un deformímetro nuevo, reemplace el deformímetro.
- El origen de la interferencia eléctrica se encuentra 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 deformímetro? De no ser así, puede ser que la batería esté baja o posiblemente tenga alguna falla.

SÍNTOMA: EL DEFORMÍMETRO FALLA EN LAS LECTURAS

- La consola de lectura o el registrador de datos funcionan con otro deformímetro? De no ser así, puede ser que la batería esté baja o posiblemente tenga alguna falla.
- El cable está cortado o prensado? Revise la resistencia del cable conectando un ohmímetro en las cabezas del sensor. La tabla 2 muestra la resistencia esperada para varias combinaciones de cables; puede utilizar la Tabla 3 para registrar las

resistencias reales encontradas. La resistencia del cable debe ser de aproximadamente 14.7Ω por cada 1000 pies. (48.5Ω por km) de cable AWG 22 AWG.

Si la resistencia es demasiado alta o infinita, el cable probablemente está roto. Si la resistencia es demasiado baja, los conductores del deformímetro pueden tener un corto. Si existe algún corte o corto, únelo siguiendo las instrucciones de la Sección 4.4.

Matriz de cabezas del sensor de cuerda vibrante: VALORES DE MUESTRA					
	Rojo	Negro	Blanco	Verde	Protección
Rojo	N/A	$\cong 180\Omega$ ($\cong 50\Omega$ para el modelo 4050)	infinito	infinito	infinito
Negro	$\cong 180\Omega$ ($\cong 50\Omega$ para el modelo 4050)	N/A	infinito	infinito	infinito
Blanco	infinito	infinito	N/A	3000Ω a 25 °C	infinito
Verde	infinito	infinito	3000Ω a 25 °C	N/A	infinito
Protección	infinito	infinito	infinito	infinito	N/A

TABLE 2: Muestra de resistencia

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

TABLE 3: Hoja de trabajo de la resistencia

APÉNDICE A. ESPECIFICACIONES

A.1 DEFORMÍMETROS DE CUERDA VIBRANTE

	Modelo 4000	Modelo 4050
Rango (FS), (nominal) ¹	3000 $\mu\epsilon$	3000 $\mu\epsilon$
Resolución	1.0 $\mu\epsilon$	1.0 $\mu\epsilon$
Exactitud del lote ²	Calibración: $\pm 0.5\%$ FS	Calibración: $\pm 0.5\%$ FS
Exactitud individual ²	Calibración: $\pm 0.1\%$ FS	Calibración: $\pm 0.1\%$ FS
Estabilidad cero	0.02% FS/yr	0.02% FS/yr
Linealidad	$\pm 0.5\%$ FS	$\pm 0.5\%$ FS
Coefficiente térmico	12.2 $\mu\epsilon / ^\circ\text{C}$	12.2 $\mu\epsilon / ^\circ\text{C}$
Dimensiones (medidor) (L x P)	165 x 12.5 mm (6.5 x 0.50 in)	321 x 12.5 mm (12.625 x 0.50 in)
Longitud del medidor activo ³	150 mm (5.875 in)	300 mm (12 in)
Dimensiones (bloques extremos) (Ancho x Alto)	25 x 22 mm (1 x 7/8 in)	25 x 22 mm (1 x 7/8 in)
Dimensiones (bobina)	22 x 22 mm (0.875 x 0.875 in)	Interna
Rango de frecuencia	450 – 1250 Hz	1400 – 3200 Hz
Resistencia de la bobina	180 Ω	50 Ω
Rango de temperatura ⁴	-20 a +80 $^\circ\text{C}$	-20 a +80 $^\circ\text{C}$

TABLA 4: Especificaciones

Notas:

- ¹ Disponible también con un rango de 5,000 o 10,000 $\mu\epsilon$
- ² Uso de técnicas de ajuste de curvas (polinomio de segunda orden)
- ³ Otras longitudes disponibles bajo pedido
- ⁴ Otros rangos disponibles bajo pedido

A.2 TERMISTOR

(vea también el Apéndice C)

Rango: -80 a +150 $^\circ\text{C}$

Exactitud: $\pm 0.5\%$

A.3 BLOQUES DE MONTAJE 4000-4

Material: Acero al carbono

Enchapado: Zinc brillante con cromo claro

APÉNDICE B. TEORÍA DE LA OPERACIÓN

Una cuerda vibrante fija a la superficie de un cuerpo deformado se deformará en forma similar que el cuerpo al que está fijo. Estas deformaciones alteran la tensión del cable, alterando por lo tanto su frecuencia vibratoria natural (resonancia).

LA RELACIÓN ENTRE LA FRECUENCIA (PUNTO) 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:

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

En 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:

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

En donde:

W es el peso de L_w pulgadas de cable (libras)

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

3. Y:

$$W = \rho a L_w$$

En donde:

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

a es la sección transversal del cable (pulgadas²).

4. Combinando estas ecuaciones con los tres pasos anteriores 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:

$$F = \epsilon_w E a$$

En 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 anteriores, 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, (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 anteriores, se obtiene:

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

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:

$$\varepsilon_w L_w = \varepsilon L_g$$

En 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 anteriores, se obtiene:

$$\varepsilon = \frac{97.75}{T^2} \times \frac{L_w^3}{L_g}$$

En donde: (para el deformímetro Modelo 4000)

L_w es 6.25 pulgadas

L_g es 5.875 pulgadas

12. Por lo tanto:

$$\varepsilon = 4.062 \times 10^3 \left[\frac{1}{T^2} \right]$$

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

$$\varepsilon = 4.062 \times 10^9 \left[\frac{1}{T^2} \right]$$

Sacar el cuadrado, invertir, y multiplicar por el factor 4.062×10^9 se lleva a cabo internamente por el microprocesador de la consola de lectura, así que la lectura mostrada en la posición C está dada en micropulgadas por pulgada (ε).

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

En forma alternativa:

$\varepsilon = 4.062 \times 10^{-3} f^2$ micro deformación, en donde f es la frecuencia en Hz.

$$\varepsilon = \frac{97.75}{T^2} \times \frac{L_w^3}{L_g}$$

APÉNDICE C. DERIVACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR

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 7: 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 5: Resistencia de termistor para 3kΩ

APPENDIX D. INSTRUCCIONES ESPECIALES PARA EL MODELO 4050

El deformímetro de cuerda vibrante modelo 4050 es una versión modificada del deformímetro modelo 4000 diseñada para medir deformaciones sobre bases más largas. Las instrucciones siguientes son para el largo estándar de 305 mm (12 in) del deformímetro.



FIGURE 18: Modelo Serie 4050 Deformímetros de cuerda vibrante

ESTAS INSTRUCCIONES APLICAN PARA EL 4050; SIN EMBARGO, ASEGÚRESE DE TOMAR EN CUENTA LAS SIGUIENTES EXCEPCIONES:

- Los deformímetros de cuerda vibrante modelo 4050 requieren de una barra espaciadora especial (modelo 4050-8) que es de 12 5/8 in de longitud.
- Antes de instalar el deformímetro, elimine la rondana protectora negra localizada entre la tubería y el bloque del extremo, y tiene una hendidura en "V".
- El modelo 4050 se lee en la posición B de la consola de lectura del GEOKON. Para configurar el deformímetro para todos los niveles de tensión, la lectura debería de ser de alrededor de 2000; para todos los niveles de compresión, 10000; para un rango medio, configúrelo en 6000.

Nota: Seleccione el rango de estímulo de 1400 a 3500 Hz cuando utilice un CR10.

- Para configurar el deformímetro, hale o empuje el extremo del tubo del deformímetro en el que haya cables. **(¡No hale el cable!)**
- Convierta la lectura de la posición B a microdeformaciones usando la siguiente ecuación junto con el factor de calibración individual (expresado en términos de microdeformación / dígito) provista con el instrumento.

$$\text{Microstrain}(\mu\epsilon) = (R_1 - R_0)GF$$

EQUATION 8: Lectura para microdeformación

- Para corregir los efectos de la temperatura, **únicamente para el deformímetro**, utilice esta ecuación:

$$\text{Microstrain}(\mu\epsilon) = (R_1 - R_0)GF + (T_1 - T_0)K$$

EQUATION 9: Efectos de la temperatura exclusivos de la medición

En donde:

R_1 = lectura actual (posición B)

R_0 = lectura inicial (posición B)

T_1 = temperatura actual (°C)

T_0 = temperatura inicial (°C)

K = 12.0 microdeformación / °C

Nota: Si el deformímetro está anclado en acero, el efecto térmico neto es prácticamente igual a cero. Si está montado en concreto, use un factor **K** de 2 microdeformaciones / °C

- El modelo 4050 permite el uso de otras longitudes de deformímetros. Consulte con la fábrica para obtener más detalles.

APÉNDICE E. 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. En estos casos, el deformímetro no mostrará ningún cambio en la lectura. Sin embargo, si los extremos de una de las partes estructurales de acero 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.

La magnitud de esta temperatura inducida, el aumento en la tensión de compresión se mide con precisión por el deformímetro debido a que la cuerda vibrante no está restringida para expandirse, aún cuando la parte en sí lo esté. La expansión de la cuerda vibrante se indicaría por una reducción en la lectura de la deformación en la consola de lectura equivalente al incremento inducido por temperatura en tensión de compresión en la parte.

Estas tensiones inducidas por temperatura pueden separarse de cualquier tensión inducida por carga al leer tanto la deformación como la temperatura del deformímetro a intervalos frecuentes. Tome estas lecturas durante un plazo de tiempo cuando 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 muestra una relación de línea recta, la inclinación de la cual resulta un factor K_T . Este factor puede utilizarse para calcular la tensión inducida por calor, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\sigma_{thermal} = K_T(T_1 - T_0)E$$

ECUACIÓN 10: Tensión inducida por temperatura

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

$$\sigma_{apparent} = (R_1 - R_0)BE$$

ECUACIÓN 11: Tensión aparente

B es el factor de medición de lotes.

E es el módulo de Young.

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

$$\sigma_{load} = [(R_1 - R_0)B - K_T(T_1 - T_0)]E$$

ECUACIÓN 12: Tensión relacionada con la carga

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. Es una buena idea 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 acero (es decir, el cambio en la unidad de longitud que sería mensurable con un comparador de cuadrante adjuntado a la superficie), puede obtener esta medición usando la siguiente ecuación:

$$\Delta \epsilon_{actual} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) \times CF_1$$

ECUACIÓN 13: Deformación real

En donde CF_1 es el coeficiente de expansión del acero = 12.2 microdeformaciones / °C.

APÉNDICE F. CORRECCIÓN DE LA TEMPERATURA CUANDO SE UTILIZA EN CONCRETO

En un campo libre, en el que no haya cargas actuando, las deformaciones térmicas del concreto están dadas por la siguiente ecuación:

$$\mu\varepsilon_{thermal} = (T_1 - T_0) \times CF_2$$

ECUACIÓN 14: Deformaciones del concreto térmico

CF_2 representa el coeficiente de expansión del concreto. A menos que se conozca este número, asuma un valor nominal de 10.4 microdeformaciones / °C. 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 mensurable con un comparador de cuadrante adjuntado a la superficie), puede obtener esta medición usando la siguiente ecuación:

$$\mu\varepsilon_{actual} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) \times CF_1$$

ECUACIÓN 15: Deformación real

En donde CF_1 representa el coeficiente de expansión del acero = 12.2 microdeformaciones / °C, y $(R_1 - R_0)B$ es la deformación aparente registrada en la consola de lectura.

Para calcular la deformación en el concreto debida a cambios en la carga exclusivamente:

$$\mu\varepsilon_{load} = \mu\varepsilon_{actual} - \mu\varepsilon_{thermal} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) \times (CF_1 - CF_2)$$

ECUACIÓN 16: Deformación debida a cambios en la carga exclusivamente

Ponga atención en el siguiente ejemplo, en donde $B = 0.91$

$R_0 = 3000$ microdeformaciones, $T_0 = 20$ °C

$R_1 = 2900$ microdeformaciones, $T_1 = 30$ °C

$$\mu\varepsilon_{apparent} = (2900 - 3000) \times 0.91 = -91_{(compressive)}$$

$$\mu\varepsilon_{actual} = (2900 - 3000) \times 0.91 + (30 - 20) \times 12.2 = 31_{(tensile)}$$

$$\mu\varepsilon_{thermal} = (30 - 20) \times 10.4 = 104_{(tensile)}$$

$$\mu\varepsilon_{load} = (2900 - 3000) \times 0.91 + (30 - 20) \times (12.2 - 10.4) = -73_{(compressive)}$$

Nota: Debido a lo que se ha asumido en relación a los coeficientes térmicos del concreto, estas ecuaciones solo deberán utilizarse como una guía general.

APÉNDICE G. CÁLCULOS OBTENIDOS DE TRES DEFORMÍMETROS, A 60 GRADOS, EN UNA TUBERÍA CIRCULAR

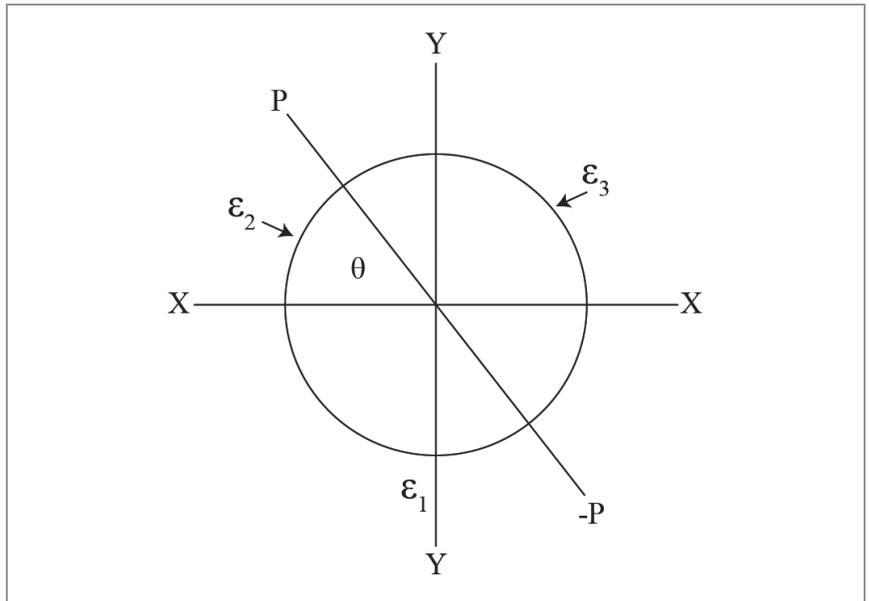


FIGURA 19: Diagrama de tres deformímetros montados sobre una tubería circular

$$A = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)/3$$

ECUACIÓN 17: Tensión axial promedio

$$(X) = \pm[(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)/1.732]$$

ECUACIÓN 18: Tensión de flexión máxima alrededor del eje YY

$$(Y) = \pm[((\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)/3) - \varepsilon_1]$$

ECUACIÓN 19: Tensión de flexión máxima alrededor del eje XX

$$P = \pm[X \cos \theta + Y \sin \theta] + A \text{ y } \tan \theta = Y/X$$

ECUACIÓN 20: Tensión máxima

Ejemplo:

Donde $\varepsilon_1 = 20$, $\varepsilon_2 = 192$ y $\varepsilon_3 = 88$ (todas son deformaciones de tensión)

Tensión axial promedio, A = $(20 + 192 + 88) / 3 = 100$ tensión de microdeformación

$$X = \pm(104 / 1.732) = \pm 60$$

$$Y = \pm(300 / 3 - 20) = \pm 80$$

$$\tan \theta = 80 / 60 = 1.333 \text{ y } \theta = 53 \text{ grados del eje de las X}$$

$$P = \pm[60 \times 0.6 + 80 \times 0.8] + 100 = 200 \text{ microdeformación, tensión, 0 microdeformación mínima}$$

APÉNDICE H. DOS DEFORMÍMETROS MONTADOS UNO SOBRE EL OTRO

En lugares donde solamente una superficie de la parte deformadora es accesible, puede usar dos deformímetros, uno montado sobre el otro, para separar las deformaciones axiales de las deformaciones resultantes de la flexión.

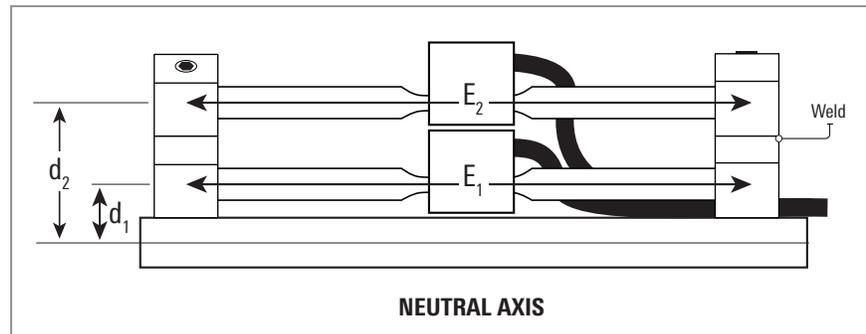


FIGURA 20: Dos deformímetros montados uno sobre el otro

E_1 and E_2 son dos deformaciones medidas a distancias de d_1 y d_2 a partir del eje neutro de una parte de acero (p. ej., una tablaestaca).

Nota: E_2 deberá soldarse a E_1

Si $R = d_2 / d_1$ entonces:

La tensión axial a lo largo del eje neutro = $(RE_1 - E_2) / (R-1)$

La carga de flexión a una distancia d_1 desde el eje neutro = $(E_2 - E_1) / (R-1)$

GEOKON®

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 empresa **ISO**
9001:2015
certificada