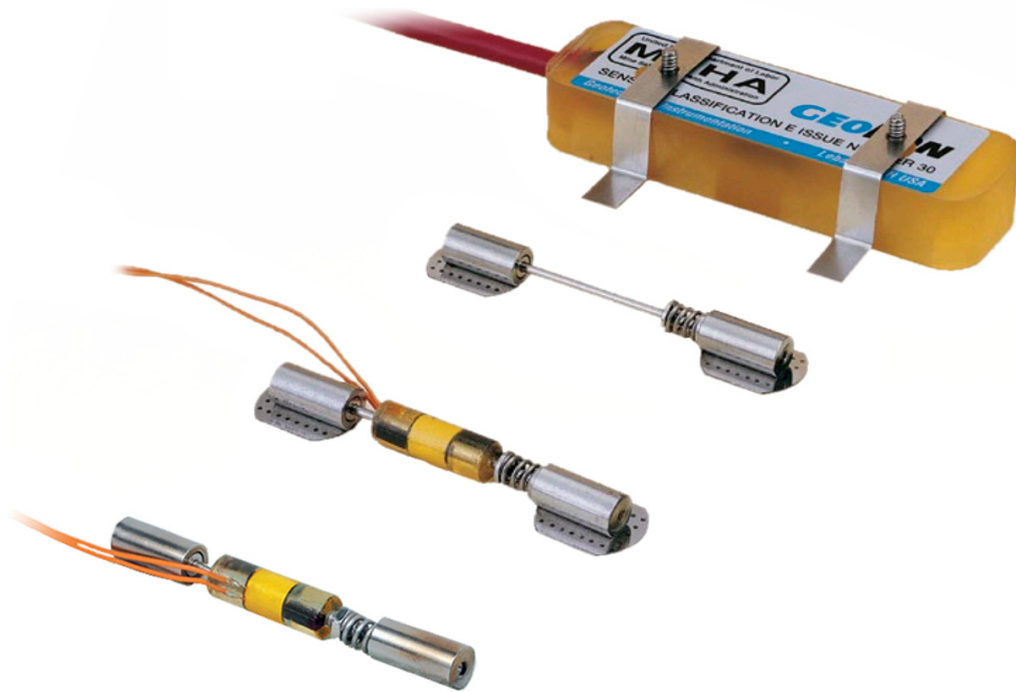


# Modelo Serie 4100/4150

## 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

---

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. PRUEBAS PRELIMINARES</b>	3
<b>2.1 USAR UNA CONSOLA DE LECTURA</b>	3
<b>2.2 USAR UN OHMÍMETRO</b>	3
<b>3. PROTECCIÓN DEL INSTRUMENTO</b>	4
<b>3.1 EMPALME Y TERMINADO DE CABLES</b>	4
<b>3.2 PROTECCIÓN CONTRA DAÑOS MECÁNICOS</b>	4
3.2.1 ASEGURAR CABLES	4
3.2.2 PLACAS DE PROTECCIÓN	4
<b>3.3 PROTECCIÓN DE CABLES Y CONECTORES</b>	7
<b>3.4 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN</b>	7
<b>3.5 PROTECCIÓN CONTRA INTERFERENCIA ELÉCTRICA</b>	7
<b>3.6 PROTECCIÓN CONTRA LA LUZ DEL SOL Y CAMBIOS DE TEMPERATURA</b>	7
<b>3.7 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS</b>	8
<b>4. INSTALACIÓN DEL DEFORMÍMETRO</b>	9
<b>4.1 AJUSTE DE LA TENSIÓN DE LA CUERDA DEL DEFORMÍMETRO</b>	9
<b>4.2 INSTALAR EL 4100/4150 USANDO SOLDADURA POR PUNTOS</b>	9
4.2.1 PREPARAR LA SUPERFICIE	9
4.2.2 TIRAS PARA PRUEBA DE SOLDADURA POR PUNTOS	10
4.2.3 SOLDADO POR PUNTOS DEL DEFORMÍMETRO 4100	10
4.2.4 SOLDADO POR PUNTOS DEL DEFORMÍMETRO 4150	10
4.2.5 SOLDADO DEL SEGUNDO EXTREMO	11
4.2.6 INSTALACIÓN DE LAS CALZAS DEL COLLARÍN	12
4.2.7 INSTALACIÓN DE LA CARCASA DE LA BOBINA DE RECOLECCIÓN (SOLO MODELO 4100)	13
4.2.8 INSTALACIÓN DE LA CUBIERTA DEL DEFORMÍMETRO (SOLO MODELO 4150)	13
4.2.9 ASEGURAR EL CABLE DEL DEFORMÍMETRO 4150	14
<b>4.3 INSTALACIÓN DEL MODELO 4100/4150 CON ADHESIVO EPÓXICO</b>	14
<b>4.4 INSTALAR EL DEFORMÍMETRO 4151</b>	15
<b>5. UBICACIÓN DEL DEFORMÍMETRO</b>	16
<b>5.1 EFECTOS FINALES</b>	16
<b>5.2 EFECTOS DE LA SOLDADURA</b>	16
<b>5.3 MOMENTOS DE FLEXIÓN</b>	16

<b>6. REALIZANDO LAS LECTURAS</b>	20
<b>6.1 POSICIONES DE LA CONSOLA DE LECTURA DEL DEFORMÍMETRO</b>	20
<b>6.2 GK-404 CONSOLA DE LECTURA DE CUERDA VIBRANTE</b>	20
6.2.1 OPERACIÓN DE LA GK-404	20
<b>6.3 GK-405 CONSOLA DE LECTURA DE CUERDA VIBRANTE</b>	21
6.3.1 CONECTAR SENSORES CON CONECTORES DE PASO ADJUNTOS DE 10 PUNTOS	21
6.3.2 CONECTAR SENSORES CON CONDUCTORES DESCUBIERTOS	21
6.3.3 OPERACIÓN DE LA GK-405	21
<b>6.4 MEDICIÓN DE TEMPERATURAS</b>	22
<b>7. REDUCCIÓN DE DATOS</b>	23
<b>7.1 CONVERSIÓN DE LAS LECTURAS EN CAMBIOS EN LAS DEFORMACIONES</b>	23
<b>7.2 CONVERTIR LAS DEFORMACIONES EN TENSIONES</b>	23
<b>8. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS</b>	24
<b>APPENDIX A. ESPECIFICACIONES</b>	27
<b>A.1 DEFORMÍMETROS DE CUERDA VIBRANTE</b>	27
<b>A.2 TERMISTOR</b>	27
<b>APPENDIX B. TEORÍA DE LA OPERACIÓN</b>	28
<b>APPENDIX C. DERIVACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR</b>	30
<b>C.1 RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 3K<math>\Omega</math></b>	30
<b>C.2 RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 10K<math>\Omega</math></b>	31
<b>APPENDIX D. CORRECCIÓN DE LA TEMPERATURA CUANDO SE UTILIZA EN CONCRETO</b>	32
<b>APPENDIX E. EFECTOS DE LA TEMPERATURA</b>	33
<b>APPENDIX F. CÁLCULOS OBTENIDOS DE TRES DEFORMÍMETROS, A 60 GRADOS, EN UNA TUBERÍA CIRCULAR</b>	34
<b>APPENDIX G. DEFORMÍMETRO DE RANGO EXTENDIDO MODELO 4150-ER-10</b>	35
<b>APPENDIX H. LISTA DE PIEZAS</b>	36

## FIGURAS

---

<b>FIGURA 1: DEFORMÍMETRO DE CUERDA VIBRANTE MODELO 4100</b>	2
<b>FIGURA 2: DEFORMÍMETRO DE CUERDA VIBRANTE MODELO 4150</b>	2
<b>FIGURA 3: DEFORMÍMETRO DE CUERDA VIBRANTE MODELO 4151</b>	2
<b>FIGURA 4: PLACA DE PROTECCIÓN MODELO 4100: VISTA SUPERIOR</b>	5
<b>FIGURA 5: PLACA DE PROTECCIÓN MODELO 4150: VISTA SUPERIOR</b>	5
<b>FIGURA 6: PLACA DE PROTECCIÓN: VISTA FRONTAL</b>	6
<b>FIGURA 7: INSTALACIÓN DE LA PLACA DE PROTECCIÓN, VISTA SUPERIOR</b>	6
<b>FIGURA 8: INSTALACIÓN DE LA PLACA DE PROTECCIÓN, VISTA LATERAL</b>	6
<b>FIGURA 9: ESQUEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS</b>	8
<b>FIGURA 10: PRUEBA DE RETIRAR</b>	10
<b>FIGURA 11: SECUENCIA DE SOLDADO POR PUNTOS, FILAS EXTERIORES (4100)</b>	10
<b>FIGURA 12: SECUENCIA DE SOLDADO POR PUNTOS, FILAS EXTERIORES (4150)</b>	11
<b>FIGURA 13: SECUENCIA DE SOLDADO POR PUNTOS, FILAS INTERIORES</b>	11
<b>FIGURA 14: USO DE LA HERRAMIENTA DE ALINEACIÓN</b>	11
<b>FIGURA 15: CALZA DEL COLLARÍN</b>	12
<b>FIGURA 16: COLOCACIÓN DE LA CALZA DEL COLLARÍN CON SOLDADURA</b>	12
<b>FIGURA 17: TERMINACIÓN DE LA CALZA DEL COLLARÍN</b>	13
<b>FIGURA 18: PLACA DE PROTECCIÓN COLOCADA CON SOLDADURA POR PUNTOS</b>	14
<b>FIGURA 19: INSTALACIÓN DEL DEFORMÍMETRO MODELO 4151</b>	15
<b>FIGURA 20: DEFORMÍMETROS MONTADOS EN UNA RED CENTRAL</b>	17
<b>FIGURA 21: DEFORMÍMETROS MONTADOS EN BRIDAS</b>	18
<b>FIGURA 22: MEDICIÓN DE TENSIÓN AXIAL / MOMENTO DE FLEXIÓN SOBRE EL EJE DE LAS YY</b>	18
<b>FIGURA 23: MEDICIÓN DE TENSIÓN AXIAL Y MOMENTO DE FLEXIÓN SOBRE EL EJE DE LAS XX</b>	19
<b>FIGURA 24: MEDICIÓN DE TENSIÓN AXIAL Y MOMENTOS DE FLEXIÓN SOBRE EL EJE DE LAS XX (NO SE RECOMIENDA)</b>	19
<b>FIGURA 25: CONSOLA DE LECTURA GK-404</b>	20
<b>FIGURA 26: CONSOLA DE LECTURA GK-404</b>	20
<b>FIGURA 27: CONSOLA DE LECTURA GK-405</b>	21
<b>FIGURA 28: DIMENSIONES DEL ENSAMBLAJE DEL MEDIDOR</b>	27
<b>FIGURA 29: DIMENSIONES DEL ENSAMBLAJE DE LA CUBIERTA</b>	27
<b>FIGURA 30: DIAGRAMA DE TRES DEFORMÍMETROS MONTADOS SOBRE UNA TUBERÍA CIRCULAR</b>	34

## TABLAS

---

<b>TABLA 1:</b> GUÍA DE AJUSTES DE TENSIÓN INICIALES .....	9
<b>TABLA 2:</b> POSICIONES DE LA CONSOLA DE LECTURA DEL DEFORMÍMETRO .....	20
<b>TABLA 3:</b> ESPECIFICACIONES.....	27
<b>TABLA 4:</b> RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 3K $\Omega$ .....	30
<b>TABLA 5:</b> RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 10K $\Omega$ .....	31
<b>TABLA 6:</b> MODELO 4100/4150 Y LISTA DE PIEZAS .....	36



## ECUACIONES

---

<b>ECUACIÓN 1:</b> CÁLCULO DE LA TENSIÓN AXIAL.....	17
<b>ECUACIÓN 2:</b> TENSIÓN DEBIDA A LA FLEXIÓN EN EL EJE YY.....	17
<b>ECUACIÓN 3:</b> TENSIÓN DEBIDA A LA FLEXIÓN EN EL EJE XX.....	17
<b>ECUACIÓN 4:</b> TENSIÓN MÁXIMA.....	17
<b>ECUACIÓN 5:</b> MICRODEFORMACIÓN TEÓRICA .....	23
<b>ECUACIÓN 6:</b> CÁLCULO DE LA DEFORMACIÓN AXIAL .....	23
<b>ECUACIÓN 7:</b> RESISTENCIA DE TERMISTOR DE $3K\Omega$ .....	30
<b>ECUACIÓN 8:</b> RESISTENCIA DE TERMISTOR DE $10K\Omega$ .....	31
<b>ECUACIÓN 9:</b> DEFORMACIONES DEL CONCRETO TÉRMICO.....	32
<b>ECUACIÓN 10:</b> DEFORMACIÓN REAL.....	32
<b>ECUACIÓN 11:</b> DEFORMACIÓN DEBIDA A CAMBIOS EN LA CARGA EXCLUSIVAMENTE .....	32
<b>ECUACIÓN 12:</b> TENSIÓN DE CARGA EXTERNA ÚNICAMENTE .....	33
<b>ECUACIÓN 13:</b> DEFORMACIONES TÉRMICAS EN UN CAMPO LIBRE.....	33
<b>ECUACIÓN 14:</b> DEFORMACIÓN REAL.....	33
<b>ECUACIÓN 15:</b> TENSIÓN AXIAL PROMEDIO.....	34
<b>ECUACIÓN 16:</b> TENSIÓN DE FLEXIÓN MÁXIMA ALREDEDOR DEL EJE YY.....	34
<b>ECUACIÓN 17:</b> TENSIÓN DE FLEXIÓN MÁXIMA ALREDEDOR DEL EJE XX.....	34
<b>ECUACIÓN 18:</b> TENSIÓN MÁXIMA.....	34
<b>ECUACIÓN 19:</b> EFECTOS DE LA TEMPERATURA SOBRE EL MODELO 4150-ER-10 .	35



# 1. INTRODUCCIÓN

---

Los deformímetros de cuerda vibrante Modelo Serie 4100/4150 de GEOKON están hechos principalmente para medir la deformación de los elementos de acero estructural tales como revestimientos de túneles, arcos, pilares, pilotes, tablaestacas, etc.

- El Modelo 4100 consiste en un componente de deformímetro de cuerda vibrante y un montaje de bobina desmontable.
- El Modelo 4150 consiste en un componente de deformímetro de cuerda vibrante y un montaje integral de bobina. (El modelo 4150-ER-10 con un rango de 10,000 microdeformaciones también está disponible. Vea Apéndice G para más información.)
- El Modelo 4151 es una modificación del deformímetro 4150 en el que las pestañas soldables por puntos han sido reemplazadas por barras de metal soldadas a los bloques de los extremos. Estas están diseñadas para colocarse en orificios hechos en el material que está siendo probado. Hay versiones del Modelo 4151 con rangos extendidos disponibles. Estos medidores son útiles para mediciones en regímenes de alta deformación, como en tuberías o pilotes de plástico y en elementos estructurales y varillas de fibra de vidrio. Su tamaño pequeño los hace particularmente adecuados cuando el espacio y el acceso son limitados.

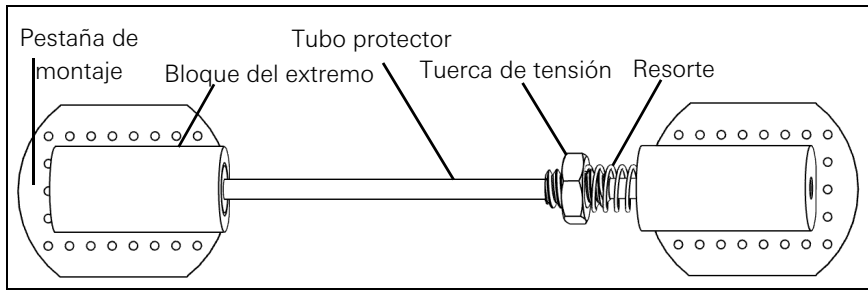
La forma principal de sujetar los deformímetros Modelo 4100/4150 a elementos de acero es a través de soldadura por puntos, pero también pueden fijarse a la superficie usando resina epoxi (vea Sección 4.3).

La tensión se mide usando el de principio de la cuerda vibrante. Una longitud de cable de acero se tensa entre dos extremos soldados a la superficie de acero a analizar. Las deformaciones en la superficie provocarán que los dos extremos se muevan con 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.

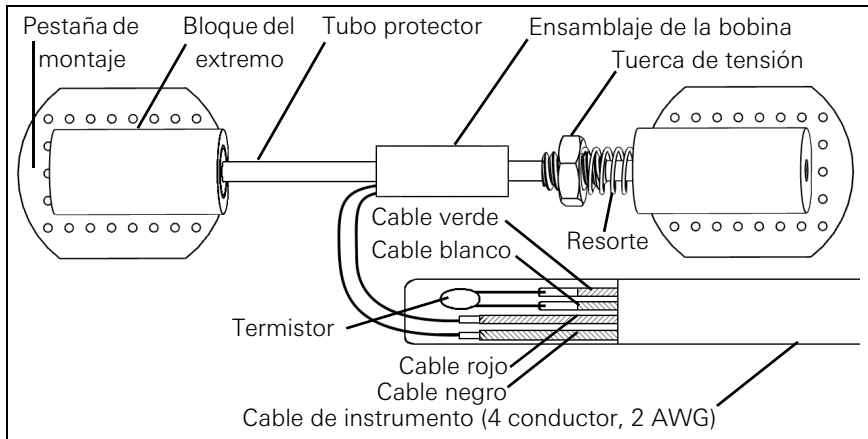
Dos bobinas, una con una pieza de imán y la otra con una pieza de un polo, se localizan cerca de la cuerda vibrante. La aplicación de una pulsación de frecuencia variante (frecuencia de barrido) a las bobinas provoca que el cable vibre principalmente a su frecuencia de resonancia.

Hay consolas de lectura portátiles y registradores de datos disponibles en GEOKON. Estos dispositivos, al usarse con deformímetros de cuerda vibrante, proveen 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.

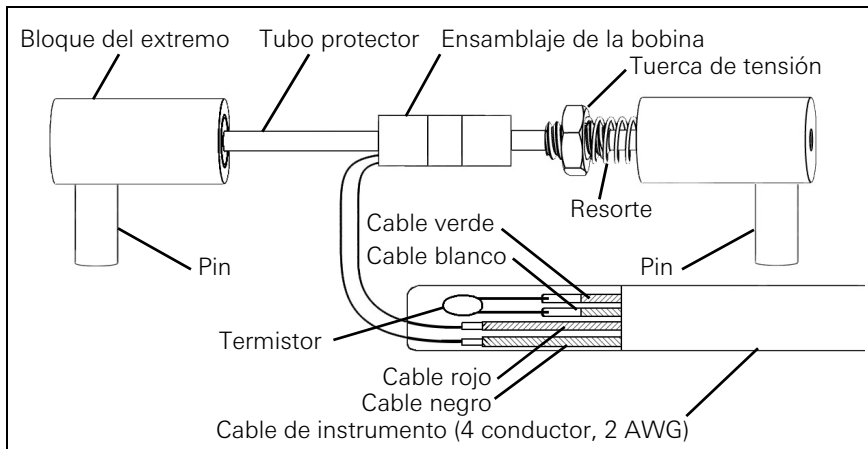
Este manual contiene instrucciones de instalación, instrucciones de lectura, recomendaciones de mantenimiento, y procedimientos para la resolución de problemas. También provee la teoría del medidor y algunas sugerencias para interpretar la información.



**FIGURA 1:** Deformímetro de cuerda vibrante Modelo 4100



**FIGURA 2:** Deformímetro de cuerda vibrante Modelo 4150



**FIGURA 3:** Deformímetro de cuerda vibrante Modelo 4151

## 2. PRUEBAS PRELIMINARES

---

### 2.1 USAR UNA CONSOLA DE LECTURA

Lleve a cabo pruebas preliminares antes de instalar el medidor en campo. Para llevar a cabo la prueba preliminar, siga los pasos siguientes:

1. Inserte el medidor a la parte de abajo del ensamble de la bobina (solo 4100).
2. Conecte los extremos del medidor a una consola de lectura. Vea Sección 6 si lo necesita.
3. Observe la lectura mostrada. La lectura deberá estar alrededor del rango medio como se define en Sección 6. La lectura de la temperatura deberá ser equivalente a la temperatura ambiente.

**Nota:** Los deformímetros se proveen con la tensión del cable ajustada aproximadamente a la mitad de su rango; esto le ofrece un rango suficiente de tensión y compresión que lo hacen adecuado para la mayoría de las aplicaciones. Si necesita ajustar el rango de tensión, vea Sección 4.1. **Bajo ninguna circunstancia se deben seguir los procedimientos que se describen en Sección 4.1 después de que el medidor se haya fijado con soldadura.**

4. Jale cuidadosamente 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!**

### 2.2 USAR UN OHMÍMETRO

Si no hay una lectura disponible, puede llevar a cabo las pruebas preliminares usando un ohmímetro de la siguiente forma:

1. Revise la continuidad de la corriente eléctrica utilizando el 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 serie 4150).

**Nota:** Asegúrese de añadir resistencia a los cables, que debe ser de aproximadamente  $14.7\Omega$  por cada 1,000 pies ( $48.5\Omega$  por kilómetro) de líneas de cobre trenzado a 20°C con calibre de alambre estadounidense 22 (AWG). Multiplique este factor por dos para considerar ambas direcciones.

2. La resistencia entre las líneas de termistores (generalmente verde y blanco) variará dependiendo de la temperatura, consulte Apéndice C. 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 consejos para solucionar problemas en Sección 8.

### 3. PROTECCIÓN DEL INSTRUMENTO

---

#### 3.1 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 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 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.

#### 3.2 PROTECCIÓN CONTRA DAÑOS MECÁNICOS

La cubierta de la carcasa de la bobina 4100 brinda una medida de protección para el deformímetro, adecuado en la mayoría de los casos. En entornos extremos y/o en el caso de que se requiera un desempeño a largo plazo, el deformímetro y los cables conductores podrían necesitar protección adicional contra la corrosión y el daño mecánico.

##### 3.2.1 ASEGURAR CABLES

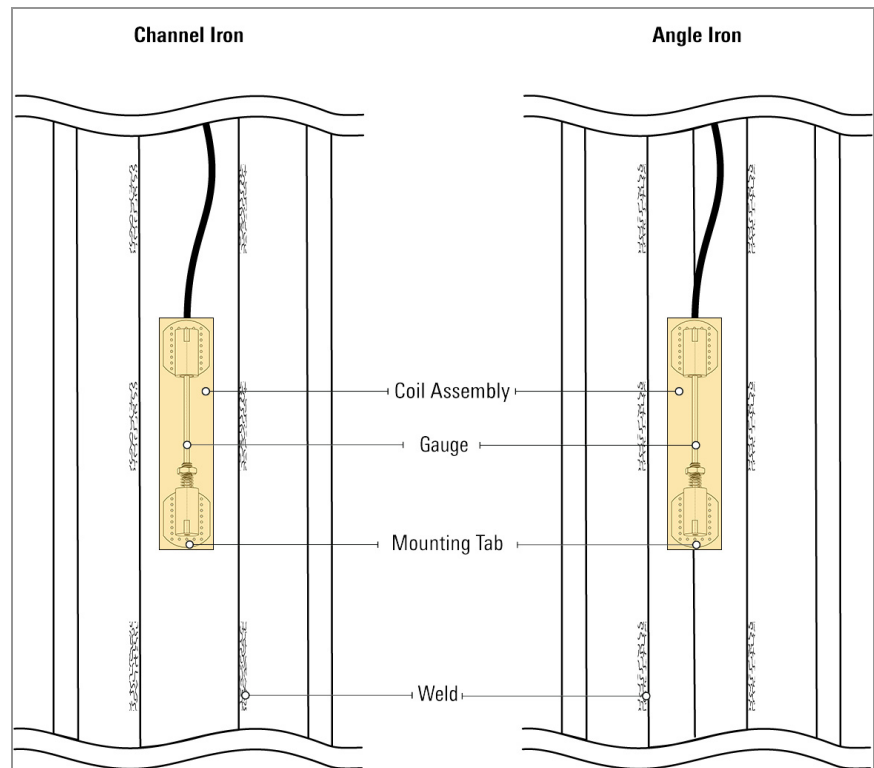
Los cables deben estar sujetos adecuadamente para que no haya peligro de que se dañe la carcasa de la bobina (Modelo 4100) o de que se rasguen los cables conductores (Modelo 4150) al jalar el cable. Los cables pueden asegurarse usando pedazos de tiras de ajuste de acero inoxidable (se proporcionan), colocadas sobre el cable con soldadura por puntos. También pueden usarse amarres, cinta o cable para asegurar los cables del deformímetro.

##### 3.2.2 PLACAS DE PROTECCIÓN

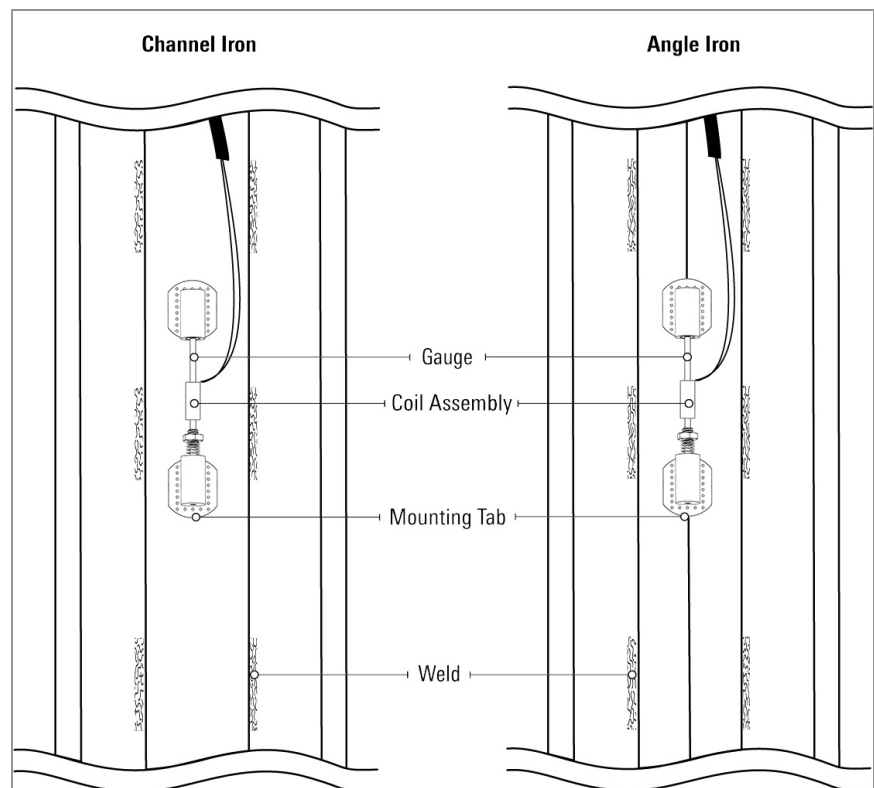
Los deformímetros pueden protegerse aún más soldando placas de protección compuestas de canaletas de hierro de 101 x 38 mm (4" x 1.5") o hierro angulado de 64 mm (2.5") o más sobre los medidores.

Para evitar dañar 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.

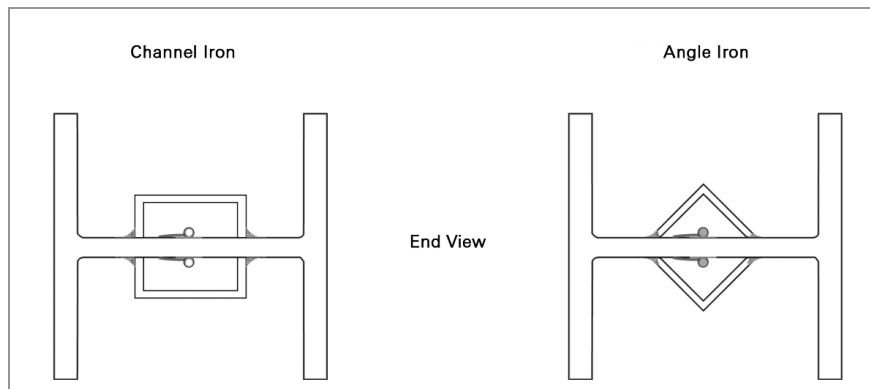
**Nota:** No es necesario utilizar soldadura continua, la soldadura por puntos es suficiente, siempre y cuando sostenga los ángulos o canaletas firmemente en su lugar. Los cables deben restringirse usando pernos de soldadura a intervalos de tres metros, a los cuales pueden atarse los cables.



**FIGURA 4:** Placa de protección Modelo 4100: vista superior



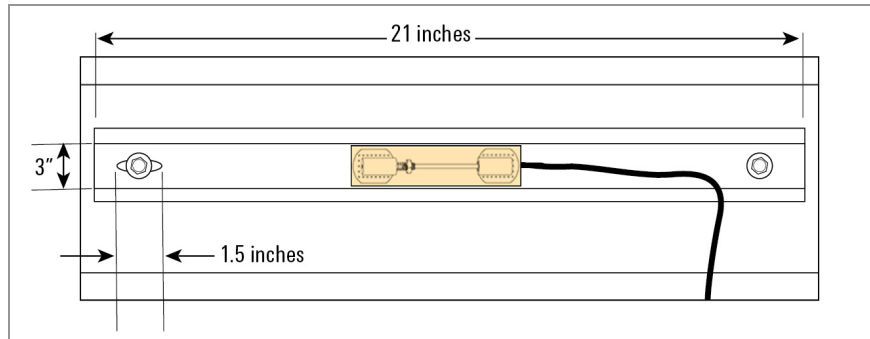
**FIGURA 5:** Placa de protección Modelo 4150: vista superior



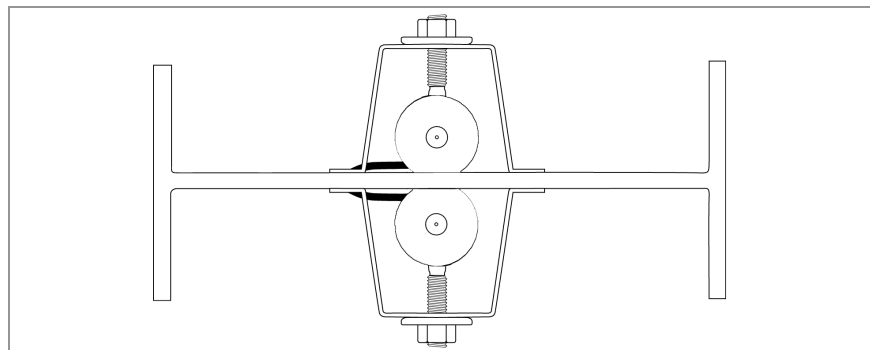
**FIGURA 6:** Placa de protección: Vista frontal

**INSTALE LAS PLACAS DE PROTECCIÓN 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") de separación. GEOKON tiene una plantilla espaciadora disponible, 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 en cualquier parte 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.



**FIGURA 7:** Instalación de la placa de protección, vista superior



**FIGURA 8:** Instalación de la placa de protección, vista lateral



### 3.3 PROTECCIÓN DE CABLES Y CONECTORES

El cable debe protegerse de daños accidentales causados por mover el equipo o por rocas sueltas. Esto se logra mejor colocando 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 a las placas de protección. (La placa de protección GEOKON cuenta con un troquel estampado que, al ser eliminado, provee un orificio para conectar el conducto conector).

### 3.4 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

Es imprescindible que los puntos de soldadura de la instalación, si existen, se protejan contra la corrosión. Los instrumentos de acero inoxidable no sufrirán corrosión, pero el sustrato puede corroerse, particularmente en puntos de soldadura, a menos que estén cubiertos por una capa resistente al agua.

GEOKON le recomienda realizar el procedimiento siguiente:

1. Aplique varias gotas de pegamento de cianoacrilato en el borde de todas las pestañas de montaje con puntos de soldadura. El pegamento se filtrará al interior del espacio entre las pestañas de montaje y el sustrato para brindar una primera línea de defensa.
2. Retire el material de las áreas que necesitan puntos de soldadura.
3. Aplique primer autograbante en aerosol (disponible en su región) sobre las áreas de la pestaña de montaje y cualquier parte de metal expuesto. La idea es proteger los puntos de soldadura del sustrato. Es importante cubrir por completo los bordes de la pestaña de montaje, poniendo atención a la parte de la pestaña que queda bajo el instrumento. Asegúrese de aplicar aerosol debajo de la carcasa de la bobina, si corresponde; no se preocupe si cae aerosol sobre el instrumento.
4. Aplique una capa de pintura en las áreas a las que aplicó el primer.

En entornos severos y para una protección a largo plazo, el espacio entre la carcasa de la bobina y el deformímetro modelo 4100, y el espacio entre la placa de protección y el deformímetro modelo 4150 puede rellenarse con una grasa espesa (p. ej., grasa axle). Para una mayor protección, todo el ensamblaje puede cubrirse con una capa de masticque aislante (p. ej., Plymouth 10 Plyseal), disponible en GEOKON.

### 3.5 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.

### 3.6 PROTECCIÓN CONTRA LA LUZ DEL SOL Y CAMBIOS DE TEMPERATURA

Si se fija a una estructura de acero, el coeficiente térmico de expansión de la cuerda vibrante de acero dentro del instrumento es el mismo que el de la estructura. Esto significa que no es necesario corregir la temperatura para la tensión medida al calcular deformaciones inducidas por la carga. Sin embargo, esto solo es verdad si el cable y la estructura de acero subyacente se encuentran a la misma temperatura. Si la luz solar puede afectar directamente al medidor, esta puede elevar la temperatura del cable por encima de la del acero que lo rodea y causar grandes cambios aparentes en la deformación. Por lo tanto,

siempre proteja los deformímetros de la luz directa del sol. La protección contra los efectos térmicos se logra mejor cubriendo los deformímetros con una capa de material aislante tal como espuma de poliestireno o fibra de vidrio.

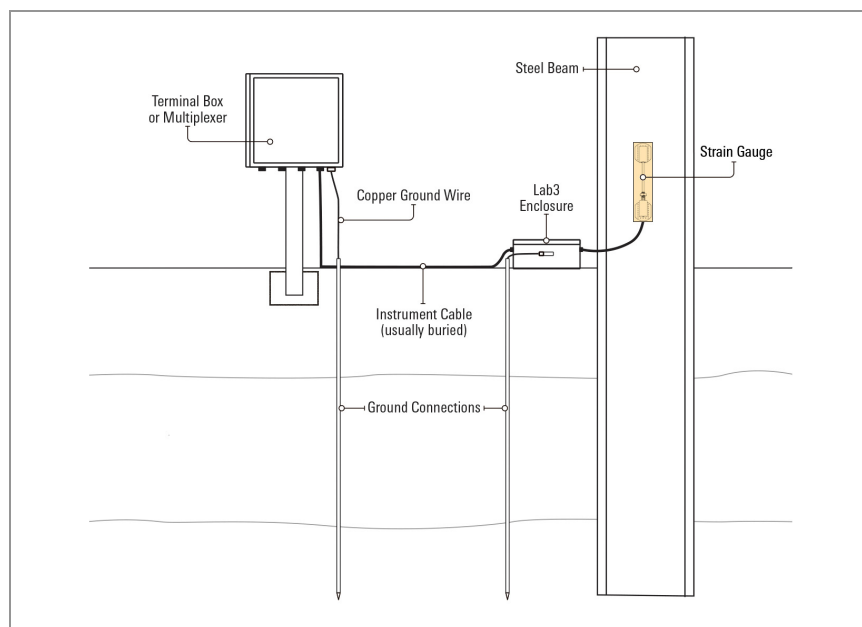
### 3.7 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

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 9:** Esquema de protección contra rayos

## 4. INSTALACIÓN DEL DEFORMÍMETRO

### 4.1 AJUSTE DE LA TENSIÓN DE LA CUERDA DEL DEFORMÍMETRO

**¡ADVERTENCIA!** Bajo ninguna circunstancia se debe ajustar la tensión del deformímetro después de que se ha fijado con soldadura.

Los deformímetros son provistos con una lectura inicial de aproximadamente 2500 microdeformaciones. Esto ofrece un rango de  $\pm 1500$  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 haciendo lo siguiente:

1. Conecte los conectores rojo y negro a una consola de lectura que haya sido ajustada a la posición E.
2. Mantenga el deformímetro en su posición sujetando el deformímetro 4100 por el tubo, o los deformímetros Serie 4150 por el ensamblaje de la bobina.
3. Gire la tuerca tensora usando una llave pequeña. La posición de la tuerca controla la tensión del muelle. Para aumentar el rango de medición para adaptarse a una tensión de mayor compresión, gire la tuerca en el sentido de las agujas del reloj y ajuste la lectura inicial entre 2500 y 3000 microdeformaciones. Para aumentar el rango de medición para tensiones de tracción, gire la tuerca en el sentido opuesto al de las agujas del reloj, ajustando la lectura inicial entre 1500 y 2000. 1/2 vuelta a la tuerca provocará un cambio de unas 600 microdeformaciones. La tabla 1 detalla varias configuraciones de tensión.

Rango de ajuste	Lectura de microdeformación	Rango de microdeformación 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

4. La parte del extremo del medidor suele girar al aplicar tensión a la tuerca. Después de hacer el ajuste, debe girar la parte del extremo a su posición original para que las partes planas en los extremos de ambas piezas queden alineadas. De nuevo, sujete el tubo/ensamblaje de la bobina mientras lo hace.
5. Revise la lectura. Si es correcta, aplique un punto de cemento para asegurar la rosca y conservar la posición de la tuerca y la tensión.

### 4.2 INSTALAR EL 4100/4150 USANDO SOLDADURA POR PUNTOS

**¡PRECAUCIÓN!** Use lentes de seguridad mientras realiza las siguientes tareas.

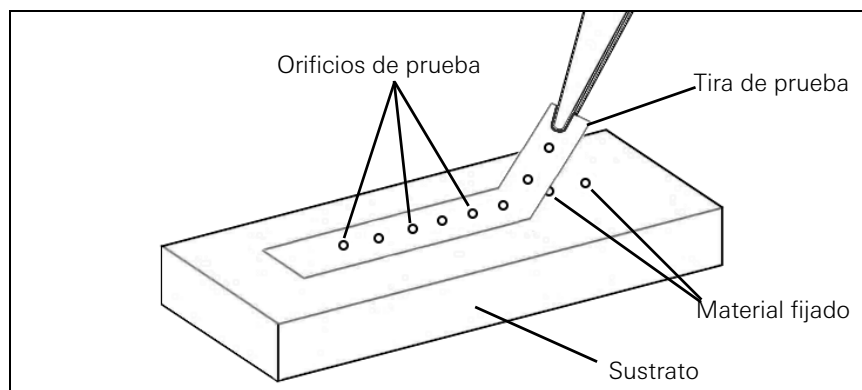
#### 4.2.1 PREPARAR LA SUPERFICIE

La superficie de la parte de acero debe ser plana, estar limpia y libre de óxido, grasa y hendiduras. Desengrase la superficie usando un agente limpiador adecuado, luego use una lijadora mecánica, lima, cepillo de alambre o lija para lograr una superficie plana y uniforme.

#### 4.2.2 TIRAS PARA PRUEBA DE SOLDADURA POR PUNTOS

Antes de soldar, es necesario probar la soldadura de puntos para asegurarse de estar usando la energía de soldado correcta. La energía de soldado, y hasta cierto punto la presión de contacto, determinan la calidad de la soldadura. Se requiere una energía aproximada de soldado de entre 20 y 40 watts por segundo para soldar correctamente los deformímetros 4100 o 4150 al acero estructural.

Usando el material de prueba proporcionado con los deformímetros, realice una serie de pruebas para determinar la energía de soldado adecuada. Cuando se usa la energía de soldado adecuada, la tira para pruebas mostrará una serie de orificios en donde la tira soldada se ha adherido al sustrato al ser retirada con pinzas de la superficie de acero, como se muestra a continuación.

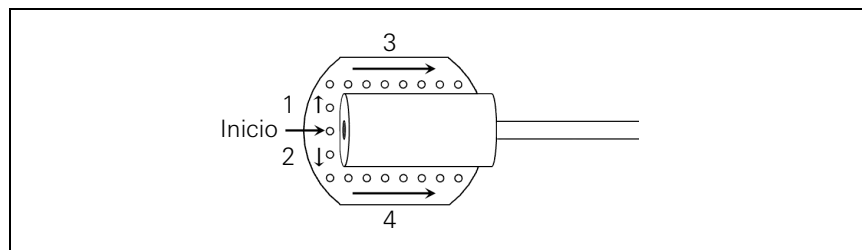


**FIGURA 10:** Prueba de retirar

Si no se usó la energía de soldado suficiente, la tira de prueba se retira con facilidad sin que se formen los orificios. Si se usó una energía de soldado excesiva, la tira de prueba se decolorará, fundirá y será rechazada del lugar. La formación de chispas suele indicar la existencia de suciedad entre la tira de prueba y el sustrato. También podría ser un indicador de fuerza insuficiente, en cuyo caso debe ajustarse la fuerza manual ejercida. La deformación excesiva del área de soldado requiere de una disminución en la fuerza manual ejercida y/o una disminución en la energía de soldado.

#### 4.2.3 SOLDADO POR PUNTOS DEL DEFORMÍMETRO 4100

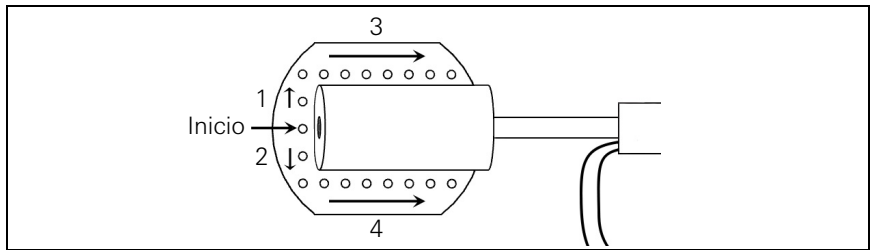
Realice el soldado por puntos de un extremo del deformímetro colocando un punto de soldadura en cada uno de los puntos marcados en la pestaña de montaje, en la secuencia que se muestra a continuación. Cuando termine, suelde la segunda pestaña de montaje siguiendo las instrucciones en Sección 4.2.5.



**FIGURA 11:** Secuencia de soldado por puntos, filas exteriores

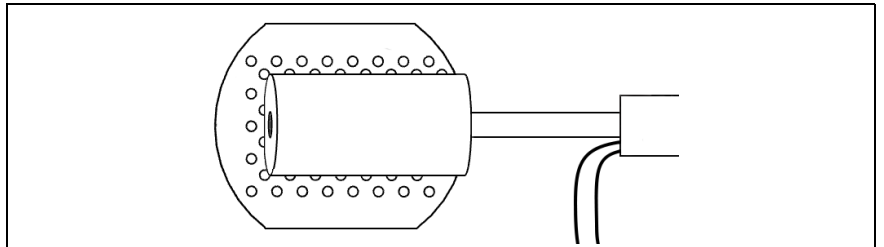
#### 4.2.4 SOLDADO POR PUNTOS DEL DEFORMÍMETRO 4150

Realice el soldado por puntos del extremo del deformímetro por donde sale el cable colocando un punto de soldadura en cada uno de los puntos marcados en la pestaña de montaje en la secuencia que se muestra a continuación. Retire con cuidado los cables conductores antes de comenzar.



**FIGURA 12:** Secuencia de soldado por puntos, filas exteriores

Después, agregue otra fila de soldadura tan cerca de los extremos del deformímetro como sea posible, entre los puntos de la fila anterior, como se muestra a continuación. Cuando termine, suelde la segunda pestaña de montaje siguiendo las instrucciones en Sección 4.2.5.

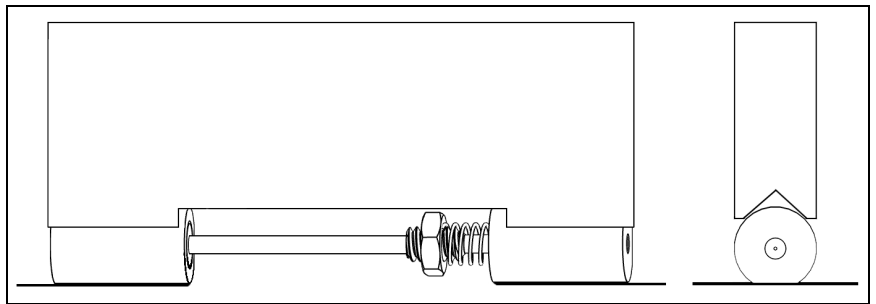


**FIGURA 13:** Secuencia de soldado por puntos, filas interiores

#### 4.2.5 SOLDADO DEL SEGUNDO EXTREMO

Cuando se hayan colocado todos los puntos de soldadura en una brida de montaje, suelde la otra de la forma siguiente:

Coloque la herramienta de alineación sobre los dos extremos del deformímetro como se muestra a continuación. Esto garantizará que los dos extremos del medidor se suelden en línea recta.



**FIGURA 14:** Uso de la herramienta de alineación

Con la herramienta de alineación en su lugar, aplique soldadura en un lugar preliminar en el centro de la segunda pestaña, fuera de la fila posterior y cerca del borde exterior. Cuando haya aplicado soldadura en este punto, conecte el deformímetro a la consola de lectura y verifique la lectura.

- Si la lectura se encuentra dentro del rango aceptable, aplique otros dos puntos de soldadura a lo largo de la línea posterior. Retire la herramienta de alineación y suelde el resto de la pestaña siguiendo el mismo patrón y secuencia usados en la primera pestaña.
- Si la lectura no es aceptable, la soldadura preliminar puede retirarse usando una navaja de afeitar afilada para levantar la pestaña cerca del lugar de la soldadura.

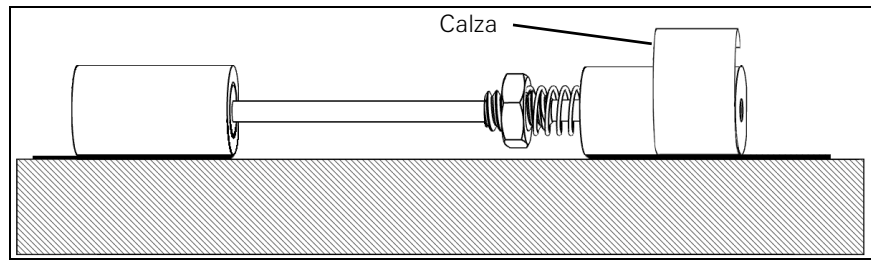
Las soldaduras deben tener un ligero surco y tener apariencia uniforme. Mantenga la punta de la sonda manual limpia y sin rebabas. Lójela periódicamente con suavidad usando una lija grado 400. Tenga cuidado de mantener la punta de soldar como un punto bien redondeado. Un cuidado adecuado evitará que la punta se pegue a la pestaña de montaje durante el proceso de soldado.

**Nota:** Cuando se usa el deformímetro en superficies curvas, se recomienda aplicar una tercera fila de puntos de soldadura al rededor de la pestaña de montaje (entre la fila de la plantilla y el borde exterior).

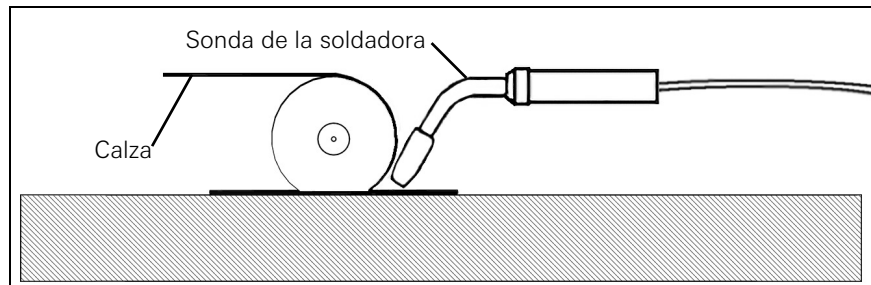
#### 4.2.6 INSTALACIÓN DE LAS CALZAS DEL COLLARÍN

El desempeño del deformímetro se mejora por la adición de las calzas del collarín proporcionadas. Estas calzas están premoldeadas en L y se sueldan sobre los extremos del deformímetro como se indica a continuación:

1. Tome la calza y colóquela sobre el extremo del deformímetro para que el extremo de la calza de 6 mm (.25 pulgadas) de ancho quede al ras de la orilla posterior del extremo.
2. Use la punta de la soldadora para presionar con fuerza el ángulo de la calza del collarín hacia la esquina entre el extremo del deformímetro y la pestaña de montaje como se muestra abajo.

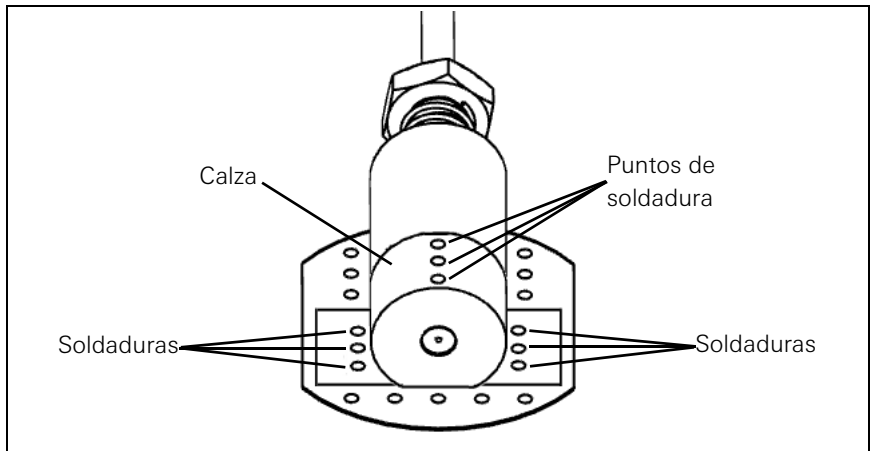


**FIGURA 15:** Calza del collarín



**FIGURA 16:** Colocación de la calza del collarín con soldadura

3. Suelde el extremo inferior de la calza del collarín en L a la pestaña de montaje usando tres soldaduras tan cerca de la esquina como sea posible y tres soldaduras en el borde exterior de la calza del collarín.
4. Doble la calza del collarín sobre el extremo del deformímetro y aplique fuerza para que encaje en la esquina del otro lado del extremo del deformímetro usando la sonda de la soldadora como en el paso anterior.
5. Suéldela a la esquina como en el paso anterior, usando un total de seis soldaduras.
6. Suelde la calza del collarín al bloque del extremo usando tres soldaduras a lo largo del punto más alto del extremo del deformímetro, como se muestra a continuación.



**FIGURA 17:** Terminación de la calza del collarín

7. Repita el proceso en el otro extremo del deformímetro.
8. Cuando ambos extremos del deformímetro han sido fijados con puntos de soldadura, tome un destornillador pequeño y golpee con suavidad ambos bloques de los extremos solo en puntos sobre las bridas. Los golpes tienen la finalidad de aliviar cualquier tensión en el área provocado por el procedimiento de soldado.
9. Después de dar cuatro o cinco golpes en cada extremo del deformímetro, realice una lectura. Siga golpeando suavemente hasta que se asienten las lecturas y no cambien más de unos cuantos dígitos.

Todas las lecturas se remiten a una lectura inicial, por lo tanto, es importante que esta lectura inicial sea tomada cuidadosamente. Es preferible instalar deformímetros en partes de acero mientras aún se encuentran en condiciones sin carga, es decir, antes de ensamblarlas en la estructura. De esta forma, las lecturas iniciales corresponderán a una carga cero. De otra forma, las lecturas iniciales corresponderán a un nivel de carga desconocido.

Registre la temperatura ambiental cada vez que toma una lectura, junto con las anotaciones relacionadas con las actividades de construcción que se están realizando. Esta información puede proporcionar razones lógicas de los cambios observados en las lecturas. Para los factores de corrección de temperatura cuando se utiliza en concreto, vea Apéndice D.

#### **4.2.7 INSTALACIÓN DE LA CARCASA DE LA BOBINA DE RECOLECCIÓN (SOLO MODELO 4100)**

Retire cualquier cinta protectora y coloque la carcasa de la bobina de recolección sobre el deformímetro. Conecte el deformímetro a la consola de lectura y ajuste la carcasa hasta obtener una lectura estable. En esta posición, use soldadura por puntos para soldar las pestañas sujetando la carcasa con la bobina sobre el sustrato.

A continuación, proteja las pestañas y el metal expuesto de la corrosión como se muestra en Sección 3.4.

#### **4.2.8 INSTALACIÓN DE LA CUBIERTA DEL DEFORMÍMETRO (SOLO MODELO 4150)**

GEOKON le proporciona una cubierta de metal semicilíndrica al Modelo 4150. Coloque la cubierta sobre el deformímetro usando puntos de soldadura como se muestra en la figura de abajo.

A continuación, impermeabilice los puntos de soldadura de las pestañas como se describe en Sección 3.4.



**FIGURA 18:** Placa de protección colocada con soldadura por puntos

#### 4.2.9 ASEGURAR EL CABLE DEL DEFORMÍMETRO 4150

Usando las calzas proporcionadas, fije firmemente al sustrato de acero desde el cable hasta la unión del cable conductor usando puntos de soldadura. Asegúrese de dejar un poco flojos los cables conductores. Usando otra calza, fije el cable al sustrato de acero usando puntos de soldadura, a aproximadamente 25 mm (1 pulgada) detrás de la unión del cable conductor.

#### 4.3 INSTALACIÓN DEL MODELO 4100/4150 CON ADHESIVO EPÓXICO

**Nota:** Debido a la gran cantidad de variables asociadas con los adhesivos (ciclos térmicos, exposición a rayos UV, vibración, impacto, humedad, corrosión de la base de acero, etc.), use cemento epóxico solo para monitoreo a corto plazo.

Utilice las siguientes herramientas y accesorios para instalar el Modelo 4100 o 4150 sobre acero usando adhesivos epóxicos:

- Lijadora mecánica, lima, cepillo de alambre o lija
- Adhesivo de dos partes de fraguado rápido, como el Loctite 410, con acelerador
- Planilla de ajuste del deformímetro
- Compuesto impermeabilizante como Dow Corning RTV-3145
- Amarres para cables y/o cinta para conductos (según se requiera)

Para instalar el deformímetro, siga los pasos siguientes:

1. **Preparar la superficie:** Siga las instrucciones descritas en la sección de soldadura por puntos.
2. **Fijar el deformímetro:** Coloque el deformímetro en la ranura de la planilla de ajuste. Aplique Loctite 410 a las pestañas de montaje del deformímetro. Aplique el activador al acero en las partes cercanas a las pestañas de montaje. Presione el deformímetro firmemente contra la viga y siga presionando durante al menos 30 segundos, hasta que el Loctite haya fraguado.
3. **Protección del deformímetro:** Aplique una capa de compuesto impermeabilizante sobre el área de la pestaña de montaje.
4. **Instalar la carcasa de la bobina de recolección (para el modelo 4100):** Antes de que se endurezca la capa impermeabilizante, instale la carcasa de la bobina de recolección sobre el deformímetro. No use una cantidad excesiva de compuesto impermeabilizante. Mantenga el compuesto impermeabilizante lejos del tubo del deformímetro para que no impida que se mueva con libertad con respecto al extremo del deformímetro.

Si la carcasa de la bobina de recolección se mantendrá portátil, exprima el exceso de compuesto impermeabilizante para que cuando se fije no impida el asentamiento apropiado de la carcasa de la bobina de recolección.



Si la carcasa de la bobina de recolección se fijará de forma permanente, colóquela sobre el deformímetro y vea a través de la carcasa transparente, moviéndola hasta que esté libre del medidor. En esta posición, fíjela en su lugar usando la calza provista y el procedimiento descrito anteriormente en el paso 2. El área del sustrato a las que se soldarán las pestañas, requerirá la preparación de la superficie descrita en Sección 4.2.1. Las pestañas deben protegerse contra la corrosión como se describe en Sección 3.4.

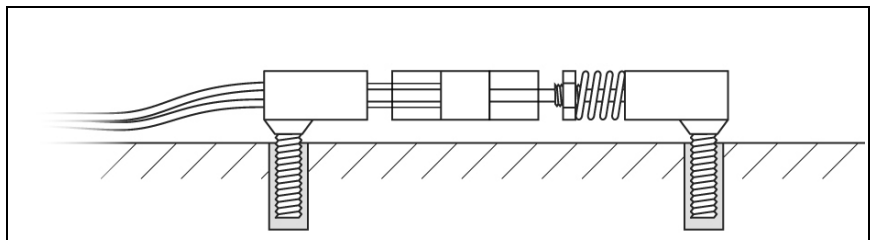
5. **Asegurar el cable del deformímetro:** Para el Modelo 4150, use las calzas proporcionadas, fije firmemente al acero desde el cable hasta la unión del cable conductor. Asegúrese de dejar un poco flojos los cables conductores. Use la segunda calza, fije el cable al acero a aproximadamente 25 mm (1 pulgada) detrás de la unión del cable conductor. Para el Modelo 4100 o 4150, use amarres para cables o cinta para conductos para asegurar el cable del deformímetro a la parte de acero.
6. **Fijar la placa de protección del Modelo 4150:** Llene la cubierta de compuesto impermeabilizante y colóquela sobre el deformímetro. Use las tiras de calza especiales proporcionadas, fije las tiras primero al tubo con hendidura y después a la parte de acero.

Todas las lecturas se remiten a una lectura inicial, por lo tanto, es importante que estas lecturas iniciales sean tomadas cuidadosamente. Instale los deformímetros en partes de acero mientras aún se encuentran en condiciones sin carga, es decir, antes de ensamblarlas en la estructura. Esto asegurará que las lecturas iniciales correspondan a una carga cero. De otra forma, las lecturas iniciales corresponderán a un nivel de carga desconocido.

Registre la temperatura ambiental cada vez que toma una lectura, junto con las anotaciones relacionadas con las actividades de construcción que se están realizando. Esta información puede proporcionar razones lógicas de los cambios observados en las lecturas. Para los factores de corrección de temperatura cuando se utiliza en concreto, vea Apéndice D.

#### 4.4 INSTALAR EL DEFORMÍMETRO 4151

Haga dos orificios de 5 mm (3/16 de pulgada) de diámetro y 13 mm (1/2 pulgada) de profundidad, a una distancia de 51 mm (2 pulgadas). GEOKON le proporciona una barra espaciadora de orificios para hacer este paso más sencillo. Después de hacer el primer orificio, asegure la barra espaciadora al orificio y luego úsela para localizar el segundo orificio.



**FIGURA 19:** Instalación del deformímetro Modelo 4151

## 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 empernado. 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 LA SOLDADURA

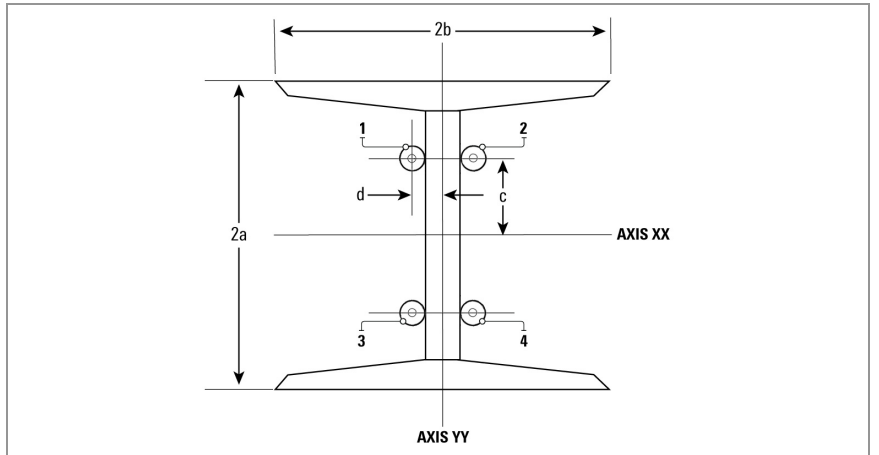
La soldadura por arco cercana a un deformímetro puede causar deformaciones muy grandes en la parte de acero. Soldar pernos en pilotes soldados para dar apoyo a malla de hormigón proyectado rezagado, etc., puede causar grandes cambios de deformación. Esto también es cierto para placas de cubierta soldadas, 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 a una distancia de 120 grados alrededor de la periferia del pilar (vea Apéndice F). 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., el revestimiento de un túnel de acero o la parte exterior de tablaestacas de acero, los momentos de flexión pueden medirse instalando dos deformímetros a diferentes distancias del eje neutral.

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



**FIGURA 20:** Deformímetros montados en una red central

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, junto con la ubicación de los deformímetros en la red hace más fácil protegerlos, y es la razón por la que se prefiere la configuración mostrada anteriormente.

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

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 la figura anterior) están soldados de espaldas uno contra el otro por 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 la cual está representado por 2b y la profundidad de la red por 2a.

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.

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

**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

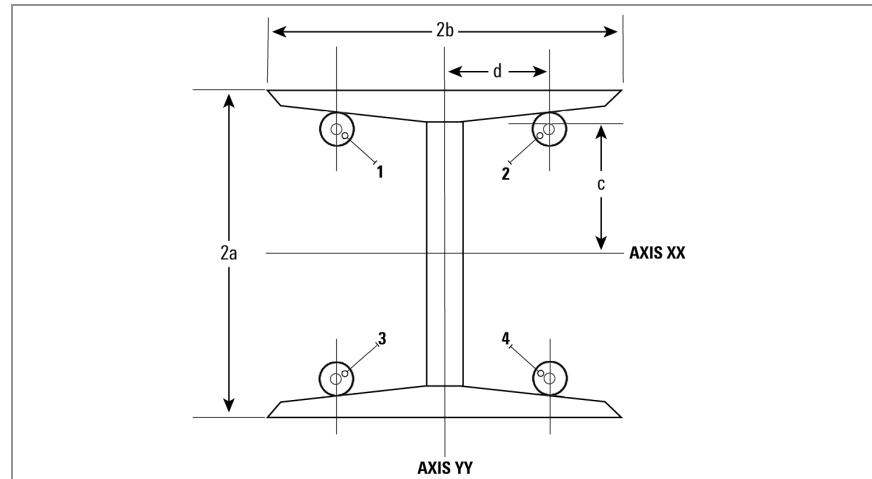
$$\sigma_{\text{máxima}} = \sigma_{\text{axial}} + \sigma_{xx} + \sigma_{yy}$$

**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.

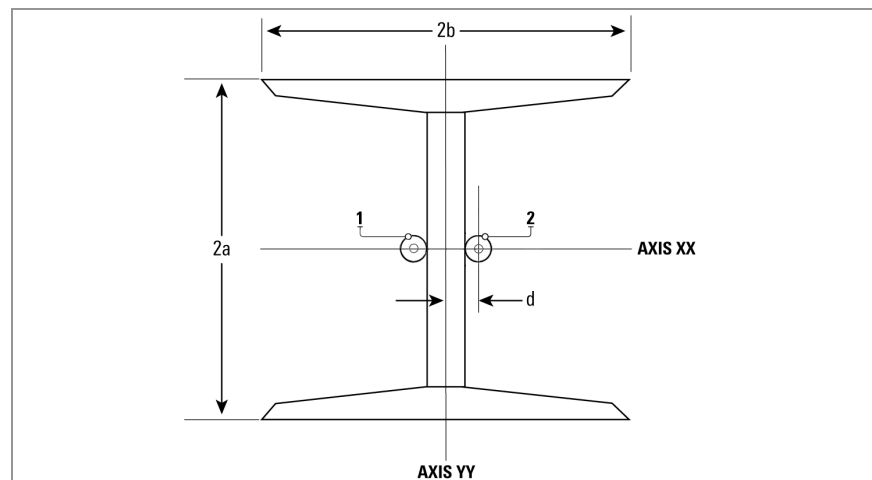
Note que la deformación total, en cualquier punto de la sección transversal, es la sumatoria algebraica de las deformaciones de flexión y las deformaciones del eje. Las **deformaciones en las esquinas exteriores de la brida pueden ser mucho mayores que las deformaciones medidas en la red**, y la falla 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 la figura a continuación. 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 21:** Deformímetros montados en bridas

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

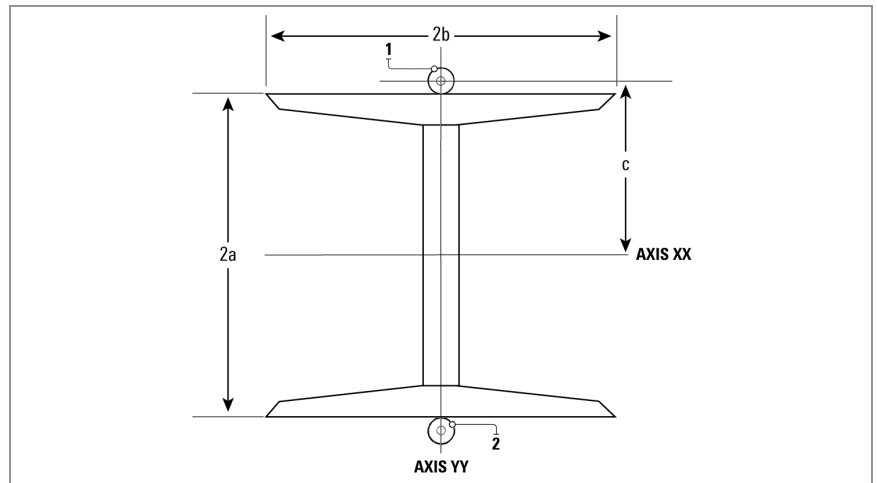


**FIGURA 22:** Medición de tensión axial / momento de flexión sobre el eje de las YY

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.

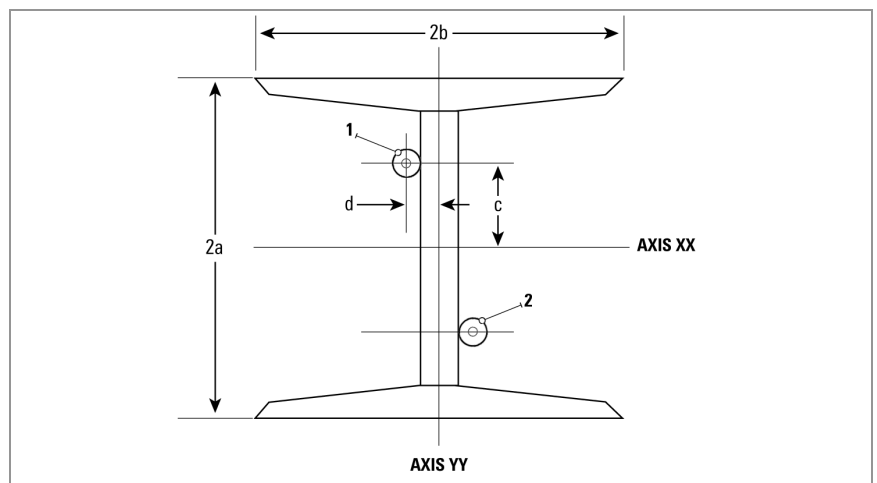
Otra posible configuración de dos deformímetros se muestra en Figura 23.

Esta configuración permite el cálculo de las deformaciones 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.



**FIGURA 23:** Medición de tensión axial y momento de flexión sobre el eje de las XX

La configuración mostrada en la figura siguiente ha sido usada para permitir el cálculo de las deformaciones 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 24:** 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	4100 / 4150 (Rango estándar)	4100-ER-5 / 4150-ER-5 (5000 microdeformaciones)	4100-ER-10 / 4150-ER-10 (10000 microdeformaciones)
Posición de la lectura	E	B	B
Mostrar unidades	microdeformaciones ( $\mu\epsilon$ )	dígitos	dígitos
Rango de frecuencia	1400-3500 Hz	1400-3500 Hz	1400-3500 Hz
Lectura de rango medio	2500 $\mu\epsilon$	6500	6000
Lectura mínima	1000 $\mu\epsilon$	3500	2500
Lectura máxima	4000 $\mu\epsilon$	9500	10000

**TABLA 2:** Posiciones de la consola de lectura del deformímetro

**Nota:** Al tomar una lectura del Modelo 4150, ésta podría continuar cambiando ligeramente por un efecto de calentamiento de la bobina. Registre la lectura dentro de los primeros segundos de estimular el deformímetro.

### 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 ( $\mu s$ ), 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 25:** Consola de lectura GK-404



**FIGURA 26:** 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 26). 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.

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

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

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



**FIGURA 27:** 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 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 VVRA siguiendo los pasos siguientes:

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

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

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

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

#### **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.

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

1. Conecte un ohmímetro a los conductores verde y blanco del termistor que provienen del instrumento. Debido a que los cambios en la resistencia por temperatura son muy grandes, el efecto de la resistencia de los cables generalmente es insignificante. En el caso de los cables más largos, se puede aplicar una corrección, equivalente aproximadamente a  $48.5\Omega$  por km ( $14.7\Omega$  por cada 1000 pies) a  $20^\circ\text{C}$ . Multiplique estos factores por dos para contabilizar ambas direcciones.
2. Busque las temperaturas de las resistencias medidas en Apéndice C.



## 7. REDUCCIÓN DE DATOS

---

Las lecturas en la posición E en las consolas de lectura GEOKON se muestran directamente en microdeformaciones con base en la ecuación teórica:

$$\mu\epsilon_{\text{teoría}} = 0.391 (f^2 \times 10^{-3})$$

**ECUACIÓN 5:** *Microdeformación teórica*

En donde  $\mu\epsilon$  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.

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

**ECUACIÓN 6:** *Cálculo de la deformación axial*

En donde  $R_0$  es la lectura inicial en la posición E 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.

Las tensiones se calculan multiplicando la deformación obtenida por el módulo de Young para el acero, el cual varía entre 190 a 206 Gpa, (28 a 30 x 10<sup>6</sup> psi). Las cargas se calculan multiplicando la tensión por el área transversal de la parte de acero.

Los cambios en las deformaciones 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.

## 8. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

---

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

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

- ☐ Verifique si existe un circuito abierto. Revise todas las conexiones, terminales y enchufes. Si encuentra algún corte en el cable, únalo siguiendo las instrucciones en Sección 3.1.

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

- ☐ Verifique si existe un corto circuito. Revise todas las conexiones, terminales y enchufes. Si encuentra algún corto en el cable, únalo siguiendo las instrucciones de la Sección Sección 3.1.
- ☐ Puede que el agua haya penetrado en el instrumento. No hay solución.

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

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

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

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

Si la resistencia es demasiado alta o infinita, el cable probablemente está roto. Si la resistencia es demasiado baja, los conductores pueden tener un corto. Si existe algún corte o corto, únalo siguiendo las instrucciones en Sección 3.1.

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

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

Rojo/Negro  $\cong 180\Omega$  ( $\cong 50\Omega$  para el Modelo 4150)

Verde/Blanco  $3000\Omega$  a 25 °C

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



## APÉNDICE A. ESPECIFICACIONES

### A.1 DEFORMÍMETROS DE CUERDA VIBRANTE

Modelo	Modelo 4100	Modelo 4150/4151	Modelo 4150-ER-10
Rango (nominal)	3000 $\mu\epsilon$		10000 $\mu\epsilon$
Resolución <sup>1</sup>	0.4 $\mu\epsilon$		1.3 $\mu\epsilon$
Exactitud <sup>2</sup>	0.5% F.S.		0.5% F.S.
Estabilidad	0.1% FS/yr		0.1% FS/yr
Linealidad	$\pm 2.0\%$ FSR		$\pm 7.5\%$ FSR
Coefficiente térmico	12.2 $\mu\epsilon / ^\circ\text{C}$		Vea Apéndice G
Frecuencia Rango	1400 – 3500 Hz		
Dimensiones (medidor) (L x D)	57.2 x 6.4 mm (2.25 x 0.25 pulgadas)		
Dimensiones (bobina) (L x A x Alt.)	76.2 x 22.2 x 12.7 mm 3.000 x 0.875 x 0.500 pulgadas	19.1 x 6.4 mm 0.750 x 0.250 pulgadas	19.1 x 6.4 mm 0.750 x 0.250 pulgadas
Resistencia de la bobina	180 $\Omega$	50 $\Omega$	50 $\Omega$
Temp. Rango	-20 a +80 $^\circ\text{C}$		

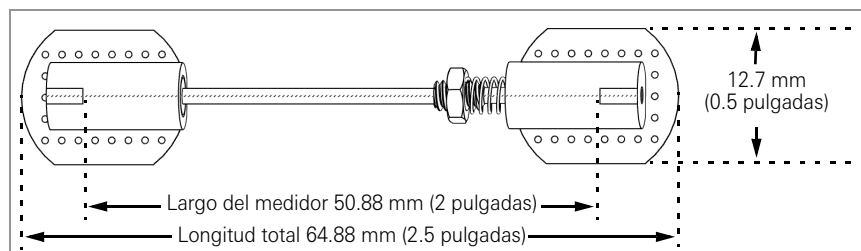
Modelo	Modelo 4100-ER-5	Modelo 4150-ER-5	Modelo 4100-ER-10
Rango (nominal)	5000 $\mu\epsilon$		10000 $\mu\epsilon$
Frecuencia Rango	1400 – 3500 Hz		
Dimensiones (medidor) (L x D)	57.2 x 6.4 mm (2.25 x 0.25 pulgadas)		
Dimensiones (bobina) (L x A x Alt.)	76.2 x 22.2 x 12.7 mm 3.000 x 0.875 x 0.500 pulgadas	19.1 x 6.4 mm 0.750 x 0.250 pulgadas	76.2 x 22.2 x 12.7 mm 3.000 x 0.875 x 0.500 pulgadas
Resistencia de la bobina	180 $\Omega$	50 $\Omega$	180 $\Omega$
Temp. Rango	-20 a +80 $^\circ\text{C}$		

**TABLA 3:** Especificaciones

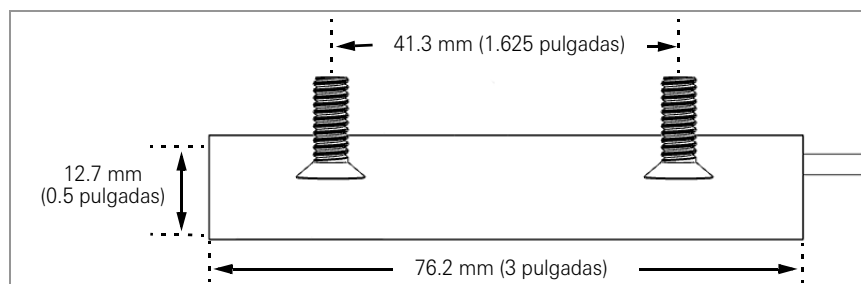
#### Notas:

<sup>1</sup> La resolución depende del dispositivo de lectura; estas cifras corresponden al GK-404.

<sup>2</sup> 1% con calibración individual.



**FIGURA 28:** Dimensiones del ensamblaje del medidor



**FIGURA 29:** Dimensiones del ensamblaje de la cubierta

### A.2 TERMISTOR

Vea Apéndice C para más información.

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

Exactitud:  $\pm 0.5$   $^\circ\text{C}$

## 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).

### **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 la longitud de la cuerda en pulgadas.

$F$  es la tensión de la cuerda en libras.

$m$  es la masa de la cuerda por unidad de longitud (libras, segundos<sup>2</sup>/pulgadas<sup>2</sup>).

2. Tenga en cuenta que:

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

Donde:

$W$  es el peso de  $L_w$  pulgadas de la cuerda en libras.

$g$  es la aceleración de la gravedad (386 pulgadas/segundos<sup>2</sup>).

3. Y:

$$W = \rho a L_w$$

Donde:

$\rho$  es la densidad del material de la cuerda (0.283 libras/pulgada<sup>3</sup>).

$a$  es la sección transversal de la cuerda en pulgadas<sup>2</sup>.

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:

$\epsilon_w$  es la deformación de la cuerda (pulgadas/pulgadas).

$E$  es el módulo de Young de la cuerda ( $30 \times 10^6$  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  $\rho$  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 anterior 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:

$\epsilon$  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 deformímetro Modelo 4100/4150)

$L_W$  es 2.000 pulgadas

$L_g$  es 2.000 pulgadas

12. Por lo tanto:

$$\epsilon = 0.391 \times 10^3 \left[ \frac{1}{T^2} \right]$$

13. La visualización en la posición "E" se basa en la ecuación:

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

Sacar el cuadrado, invertir, y multiplicar por el factor  $0.391 \times 10^9$  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 ( $\epsilon$ ).

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

En forma alternativa:

$\epsilon = 0.391 \times 10^{-3} f^2$  micro deformación, en dónde f es la frecuencia en Hz.

APÉNDICE C. DERIVACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR

C.1 RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 3KΩ

Tipos de termistor:

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

Ecuación para obtener la resistencia a la temperatura:

T = 1 / (A+B(LnR)+C(LnR)³) - 273.15

ECUACIÓN 7: Resistencia de termistor de 3kΩ

Donde:  
T = Temperatura en °C  
LnR = Registro natural de la resistencia del termistor  
A = 1.4051 x 10<sup>-3</sup>  
B = 2.369 x 10<sup>-4</sup>  
C = 1.019 x 10<sup>-7</sup>

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 4: Resistencia de termistor de 3KΩ



## C.2 RESISTENCIA DE TERMISTOR DE 10KΩ

Tipo de termistor: Sensor US 103JL1A

Ecuación para obtener la resistencia a la temperatura:

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

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

Donde:

T = Temperatura en °C

LnR = Registro natural de la resistencia del termistor

A =  $1.127670 \times 10^{-3}$

B =  $2.344442 \times 10^{-4}$

C =  $8.476921 \times 10^{-8}$

D =  $1.175122 \times 10^{-11}$

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

Ohmios	Temp.	Ohmios	Temp.	Ohmios	Temp.	Ohmios	Temp.	Ohmios	Temp.	Ohmios	Temp.	Ohmios	Temp.	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
<b>10000</b>	<b>25</b>	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 5:** Resistencia de termistor de 10kΩ

## APÉNDICE D. 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:

$$\mu\epsilon_{\text{térmica}} = (T_1 - T_0) \times CF_2$$

**ECUACIÓN 9:** 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 se requiera la deformación real de la parte de concreto (es decir, el cambio en la unidad de longitud que sería medido con un comparador de cuadrante fijado a la superficie), puede obtener esta medición usando la siguiente ecuación:

$$\mu\epsilon_{\text{real}} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) \times CF_1$$

**ECUACIÓN 10:** 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:

$$\mu\epsilon_{\text{carga}} = \mu\epsilon_{\text{real}} - \mu\epsilon_{\text{térmica}} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) \times (CF_1 - CF_2)$$

**ECUACIÓN 11:** 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

$$\mu\epsilon_{\text{aparente}} = (2900 - 3000) \times 0.91 = -91_{\text{(compresión)}}$$

$$\mu\epsilon_{\text{real}} = (2900 - 3000) \times 0.91 + (30 - 20) \times 12.2 = 31_{\text{(tensión)}}$$

$$\mu\epsilon_{\text{térmica}} = (30 - 20) \times 10.4 = 104_{\text{(tensión)}}$$

$$\mu\epsilon_{\text{carga}} = (2900 - 3000) \times 0.91 + (30 - 20) \times (12.2 - 10.4) = -73_{\text{(compresión)}}$$

**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.

**Explicación:** La tensión de compresión aparente que indica la consola de lectura después de la aplicación del factor grupal  $B$ , es  $(R_1 - R_0) \times B = -91$  microdeformaciones. Si la tensión en el concreto no ha cambiado, la cuerda vibrante de acero se habrá expandido y aflojado por el equivalente de  $(30 - 20) \times 12.2 = -12.2$  microdeformaciones, por lo tanto, la expansión real del concreto deberá ser de +31 microdeformaciones considerando la tensión aparente observada. El concreto debe haberse expandido por  $(30 - 20) \times 10.4 = +104$  microdeformaciones por el aumento de la temperatura, el hecho de que no alcanzó este valor debe significar que ha existido un aumento superpuesto de tensión de compresión igual a  $104 - 31 = -73$  microdeformaciones. Esto, multiplicado por el módulo de Young, resultará en la tensión real en el concreto, causada por el cambio de carga impuesto.

## 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. 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.

El deformímetro medirá con precisión la magnitud de esta temperatura inducida, la tensión de compresión aumenta porque la cuerda vibrante no tiene restricciones para expandirse, aunque la parte sí las tenga. La expansión se indicaría en la consola de lectura por una reducción en la lectura de la tensión igual al aumento de temperatura inducido 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 produce un factor empírico de corrección,  $CF_{emp}$  microdeformación/grado. El factor empírico de corrección puede aplicarse a la información total de tensión y temperatura para eliminar las tensiones inducidas por la temperatura, dejando solamente las tensiones producidas por el cambio en las cargas externas, es decir,

$$\text{Tensión por cargas externas} = [(R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0)CF_{emp}] \times E$$

### **ECUACIÓN 12:** Tensión de carga externa únicamente

Tome en cuenta que el factor de corrección,  $CF_{emp}$  puede cambiar con el tiempo y con la actividad de la construcción, ya que la rigidez de la restricción puede variar. Es una buena idea repetir el procedimiento anterior en orden para calcular un nuevo factor de corrección de la temperatura.

En un campo libre, en el que no haya cargas actuando y el acero es libre de expandirse o contraerse sin restricciones, entonces  $R_1$  será igual a  $R_0$  y las deformaciones térmicas en el acero estarán dadas por la siguiente ecuación:

$$\mu\epsilon_{térmica} = (T_1 - T_0) \times CF_1$$

### **ECUACIÓN 13:** Deformaciones térmicas en un campo libre

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

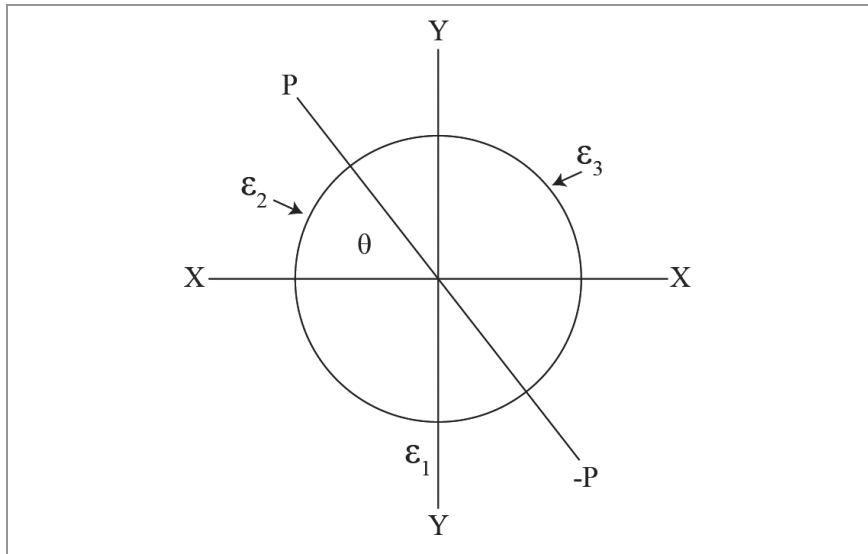
Si por alguna razón se requiere la deformación **real** de la parte de acero (es decir, el cambio en la unidad de longitud que sería medido con un comparador de cuadrante fijado a la superficie), puede obtener esta medición usando la siguiente ecuación:

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

### **ECUACIÓN 14:** Deformación real

En donde  $CF_1$  es el coeficiente de expansión del acero = 12.2 microdeformaciones/°C. Cuando los extremos de la parte estructural están perfectamente restringidos, entonces  $(R_1 - R_0)B$  la tensión de compresión inducida solo por el cambio de la temperatura sería cancelada exactamente por  $(T_1 - T_0) \times CF_1$ , la tensión de expansión y  $\mu\epsilon_{real}$  será igual a cero.

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



**FIGURA 30:** Diagrama de tres deformímetros montados sobre una tubería circular

$$A = (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) / 3$$

**ECUACIÓN 15:** Tensión axial promedio

$$(Y) = \pm[(\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) / 3] - \epsilon_1$$

**ECUACIÓN 16:** Tensión de flexión máxima alrededor del eje YY

$$(X) = \pm[(\epsilon_2 - \epsilon_3) / 1.732]$$

**ECUACIÓN 17:** Tensión de flexión máxima alrededor del eje XX

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

**ECUACIÓN 18:** Tensión máxima

Ejemplo:

Donde  $\epsilon_1 = 20$ ,  $\epsilon_2 = 192$  y  $\epsilon_3 = 88$  (todas son deformaciones de tensión)

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

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

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

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

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

## APÉNDICE G. DEFORMÍMETRO DE RANGO EXTENDIDO MODELO 4150-ER-10

---

El deformímetro Modelo 4150-ER-10, una versión modificada del medidor 4150, tiene un rango de 10000 microdeformaciones. Tenga en cuenta lo siguiente al usar el 4150-ER-10:

- El deformímetro se instala de la misma forma que el medidor estándar 4150; sin embargo, la posición dentro del rango debe ser configurada por el usuario usando como guía el reporte de calibración para cada medidor.
- Presione o jale cuidadosamente el medidor antes de fijar la segunda pestaña con puntos de soldadura.
- Para una máxima precisión, use las ecuaciones de reducción de información polinómica.
- Los deformímetros 4150-ER-10 se calibran de forma individual debido a la técnica que se usa para obtener el rango requerido.
- El coeficiente térmico del deformímetro también es diferente al del medidor estándar en cuanto a que varía a lo largo de las lecturas. Use las instrucciones a continuación para corregir los efectos de la temperatura:

### **AL USAR LA ECUACIÓN LINEAR:**

$$\text{Deformación} = G[R_1 - R_0] - K_t(T_1 - T_0)$$

**ECUACIÓN 19:** Efectos de la temperatura sobre el Modelo 4150-ER-10

Donde:

$$K = (M \cdot R_1 + B)$$

M es 0.0002205

$$B = -0.03886$$

G es el factor del medidor lineal = 1.0296 microdeformaciones/dígito (posición B)

$R_1$  es la lectura actual

$R_0$  es la lectura inicial

$T_1$  es la temperatura de  $R_1$

$T_0$  es la temperatura de  $R_0$

Por ejemplo:

Si:

$$R_1 = 6682$$

$$R_0 = 6596$$

$$T_1 = 30.13^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 20.09^\circ\text{C}$$

$$K = [(0.0002205 \cdot 6682) - 0.03886] = 1.4345$$

Entonces, después de la corrección de la temperatura,

$$\text{Deformación} = 1.0296[(6682 - 6596) + 1.4345(30.13 - 20.09)] = +103 \text{ microdeformaciones.}$$

### **AL USAR LA ECUACIÓN POLINÓMICA:**

El valor de  $R_1$  para la temperatura debe ser corregido antes de usar la ecuación polinómica.

Usando el mismo ejemplo anterior, la corrección a  $R_1$  es  $K(T_1 - T_0) = 1.4345(10.04) = +14.4$ .

Por lo tanto, si el valor actual de  $R_1$  es 6682, el valor (corregido para la temperatura) que debe ser usado en la ecuación polinómica, es  $6682 + 14.4 = 6696.4$ .

## APÉNDICE H. LISTA DE PIEZAS

La siguiente tabla enumera los componentes de los deformímetros Modelo Serie 4100/4150.

4100 número de pieza	Descripción
4100	Solo deformímetro
4100A-1	Deformímetro de cuerda vibrante, puede soldarse con soldadura por puntos, medidor con longitud de 2 pulgadas, calzas que pueden soldarse con soldadura por puntos. Incluye un cable de 10 pies/3 m y termistor.
4100A-2	Deformímetro de cuerda vibrante, puede soldarse con soldadura por puntos, medidor con longitud de 2 pulgadas, calzas que pueden soldarse con soldadura por puntos. El cable se vende por separado.
4100-1	Bobina de recolección, con termistor y tiras de montaje, el cable varía. El cable se vende por separado.
4100-2	Bobina de recolección, con termistor y tiras de montaje, cable de 10 pies.
02-187V3-E	Cable rojo de PVC, 0.187 pulgadas Ø, 2 pares trenzados, para el anterior
02-187V3-M	Cable rojo de PVC, 0.187 pulgadas Ø, 2 pares trenzados, para el anterior
4150-3	Herramienta de posicionamiento
4100-4	Llave de tensión
4100-5	Placa de protección soldable, canal de 2 pulgadas x 12 pulgadas de longitud, con pernos de montaje
4100-6	Soldadora por puntos Micro-Measurements Modelo 700 para calzas 4100/4150 que pueden soldarse con soldadura por puntos. Incluye una punta angulada y una recta.
4100-7-A	Electrodos para soldadora por puntos Micro-Measurements Modelo 700 (angulada)
4100-7-S	Electrodos para soldadora por puntos Micro-Measurements Modelo 700 (recta)
4100-ER-5	Deformímetro de cuerda vibrante, 5000 microdeformaciones, calibrado, puede soldarse con soldadura por puntos
4100-ER-10	Deformímetro de cuerda vibrante, 10000 microdeformaciones, calibrado, puede soldarse con soldadura por puntos
4100-10	Kit de protección de deformímetro, compuesto por 128 RTV (ADH-124B), Permabond 910 SuperGlue (ADH-104) y cinta Mastic Tape (suficiente para 25 medidores aproximadamente). Se requiere una hoja de datos de seguridad del material (MSDS) para cualquier envío.
4100-10A	Kit de protección de deformímetro, compuesto por 128 RTV (ADH-124B) y Permabond 910 SuperGlue (ADH-104) (suficiente para 25 medidores aproximadamente). Se requiere una hoja de datos de seguridad del material (MSDS) para cualquier envío.
4100-15	Kit de adhesivos. Adhesivo Loctite 410 (0.70 oz.) y Loctite 712 acelerador (0.70 oz.), suficiente para hasta 50 medidores. Se requiere una hoja de datos de seguridad del material (MSDS).

4150 número de pieza	Descripción
4150	Deformímetro de cuerda vibrante, rango de 3000 microdeformaciones, con calzas que pueden soldarse con soldadura por puntos, bobina de recolección integrada, placa de protección y termistor. El cable se vende por separado.
4150-ER-5	Deformímetro de cuerda vibrante, rango de 5000 microdeformaciones, con calzas que pueden soldarse con soldadura por puntos, bobina de recolección integrada y placa de protección. Incluye termistor y calibración individual. El cable se vende por separado.
4150-ER-10	Deformímetro de cuerda vibrante, rango de 10000 microdeformaciones, con calzas que pueden soldarse con soldadura por puntos, bobina de recolección integrada y placa de protección. Incluye termistor y calibración individual. El cable se vende por separado.
4150-1	Placa de protección adicional con tiras soldables
02-187V3-E	Cable rojo de PVC, 0.187 pulgadas Ø, 2 pares trenzados, para el anterior
02-187V3-M	Cable rojo de PVC, 0.187 pulgadas Ø, 2 pares trenzados, para el anterior
4150-3	Herramienta de posicionamiento
4150A	Deformímetro de cuerda vibrante, rango de 3000 microdeformaciones con calzas que pueden soldarse con soldadura por puntos, con bobina de recolección integrada y termistor. El cable se vende por separado.
4150A-ER-5	Deformímetro de cuerda vibrante, rango de 5000 microdeformaciones, sin calzas que pueden soldarse con soldadura por puntos, con bobina de recolección integrada. Incluye termistor y calibración individual. El cable se vende por separado.
4150A-ER-10	Deformímetro de cuerda vibrante, rango de 10000 microdeformaciones, sin calzas que pueden soldarse con soldadura por puntos, con bobina de recolección integrada. Incluye termistor y calibración individual. El cable se vende por separado.
4150A-1	Bloques de extremos para deformímetros 4150 series (y placa de protección 4150A-2 y barra espaciadora 4150A-3 si se requiere).
4150A-2	Placa de protección con tiras soldables, para usar sobre los bloques de extremos 4150A-1.
4150A-3	Barra espaciadora, para usar con bloques de extremos 4150A-1.

4151 número de pieza	Descripción
4151	Deformímetro de cuerda vibrante para montaje en superficie, rango de 3000 microdeformaciones, con bobina de recolección integrada, bloques de extremos con pins para lechada, placa protectora y termistor. El cable se vende por separado.
4151-ER-5	Como el anterior, pero con un rango de 5000 microdeformaciones. Incluye calibración individual.
4151-ER-10	Como el anterior, pero con un rango de 10.000 microdeformaciones. Incluye calibración individual.
02-187V3-E	Cable rojo de PVC, 0.187 pulgadas Ø, 2 pares trenzados, para el anterior
02-187V3-M	Cable rojo de PVC, 0.187 pulgadas Ø, 2 pares trenzados, para el anterior
4151-3	Plantilla de perforación para 4151

**TABLA 6:** Modelo 4100/4150 y lista de piezas





GEOKON  
48 Spencer Street  
Lebanon, New Hampshire  
03766, USA

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

GEOKON  
es una compañía  
**ISO 9001:2015**