



El Líder Mundial en Tecnología de Cuerda Vibrante

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

*Manual de Instrucciones*  
**Deformímetros de Cuerda Vibrante**  
**Modelo VK-4100/4150**



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

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

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

(Doc Rev T 5/09)

## Declaración de Garantía

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

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

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

<b>INDICE</b>
---------------

Página

<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INSTALACION DEL MEDIDOR .....</b>	<b>2</b>
2.1 PRUEBAS PRELIMINARES .....	2
2.2 INSTALACION DE DEFORMIMETROS CON SOLDADURA ELECTRICA CON SOLDADURA DE PUNTOS.....	2
2.2.1 <i>Preparación de la superficie</i> .....	3
2.2.2 <i>Tiras para Prueba de Soldadura Eléctrica con Puntos</i> .....	3
2.2.3 <i>Soldadura Eléctrica por Puntos de los Medidores</i> .....	3
2.2.4 <i>Instalación de Calza de Ajuste para el Collarín</i> .....	5
2.2.5 <i>Aseguramiento del Cable del Medidor -Para el VK-4150</i> .....	6
2.3 PROTECCION CONTRA CORROSION .....	6
2.4 INSTALACION DE LA CUBIERTA DE LA BOBINA DE EXCITACIÓN (PARA EL VK-4100) .....	6
2.5 INSTALACION DE LA CUBIERTA DEL MODELO 4150 .....	7
2.6 PROTECCION ADICIONAL DEL MEDIDOR Y CABLES .....	7
2.6.1 <i>Protección adicional contra daño mecánico</i> .....	7
2.6.2 <i>Protección adicional contra corrosión</i> .....	8
2.6.3 <i>Protección de la Luz Solar</i> .....	8
<b>3. CABLES Y CONECTORES .....</b>	<b>9</b>
3.1 PROTECCION CONTRA DAÑO MECANICO .....	9
3.2 PROTECCION CONTRA RUIDO ELECTRICO .....	9
3.3 PROTECCION CONTRA RAYOS .....	9
<b>4. TOMA DE LECTURAS .....</b>	<b>10</b>
4.1 OPERACIÓN DE LA CONSOLA DE LECTURA GK-403.....	11
4.2 OPERACIÓN DE LA CONSOLA DE LECTURA GK-404 .....	11
<b>5. MEDICION DE LAS TEMPERATURAS .....</b>	<b>12</b>
.....	
<b>6. INTEPRETACION DE DATOS.....</b>	<b>12</b>
6.1 LECTURAS INICIALES.....	12
6.2 CONVERSION DE LAS LECTURAS A DEFORMACIONES DE ESFUERZO .....	12
6.3 CONVERSION DE DEFORMACIONES A ESFUERZOS .....	13
6.4 EFECTOS DE FLEXION .....	16
6.5 EFECTOS DE LA TEMPERATURA .....	16
6.6 EFECTOS DE LA SOLDADURA .....	16
6.7 EFECTOS EN LOS EXTREMOS.....	16
<b>7. SOLUCION DE PROBLEMAS.....</b>	<b>17</b>
<b>APENDICE A - ESPECIFICACIONES .....</b>	<b>18</b>
<b>APENDICE B - TEORIA DE LA OPERACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>APENDICE C - DERIVACION DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR .....</b>	<b>21</b>
<b>APENDICE D - CORRECCION DE LA TEMPERATURA CUANDO SE USA EN CONCRETO ..</b>	<b>22</b>
<b>APENDICE E - AJUSTANDO LA TENSION DE LA CUERDA DEL MEDIDOR .....</b>	<b>23</b>
<b>APENDICE F - SEPARACION DE DEFORMACIONES INDUCIDAS POR CARGAS EXTERNAS Y ESFUERZOS INDUCIDOS POR CAMBIOS DE LA TEMPERATURA .....</b>	<b>24</b>
<b>APENDICE G - CALCULO DE CARGAS AXIALES Y DEFORMACIONES POR FLEXION .....</b>	<b>25</b>

**APENDICE H - INSTALACION DEL MEDIDOR USANDO ADHESIVO EPOXICO ..... 26**

**LISTA DE FIGURAS, TABLAS Y ECUACIONES**

Página

FIGURA 1 - MONTAJE DEL DEFORMIMETRO DE CUERDA VIBRANTE VK-4100 Y DE LA BOBINA .....	1
FIGURA 2 - DEFORMIMETRO DE CUERDA VIBRANTE VK-4150 .....	1
FIGURA 3 - PRUEBA DE ADHERENCIA .....	3
FIGURA 4 - SECUENCIA DEL SOLDADO POR PUNTOS - HILERAS EXTERIORES .....	3
FIGURA 5 - SECUENCIA DEL SOLDADO POR PUNTOS - HILERAS INTERIORES .....	4
FIGURA 6 - USO DE LA HERRAMIENTA DE ALINEACION .....	4
FIGURA 7 - SOLDANDO LA PLACA SEPARADORA DEL COLLARIN EN SU LUGAR .....	5
FIGURA 8 - PLACA SEPARADORA DEL COLLARIN TERMINADA .....	5
FIGURA 9 - PLACA PROTECTORA SOLDADA POR PUNTOS .....	7
FIGURA 10 - PLACA PROTECTORA DE ACERO DEL CANAL .....	8
FIGURA 11 - ESQUEMA DE PROTECCION CONTRA RAYOS .....	10
TABLA 1 - POSICIONES DEL LECTOR DEL DEFORMIMETRO .....	10
.....	
ECUACION 1 - MICROESFUERZO TEORICO .....	12
ECUACION 2 - CALCULO APARENTE DE DEFORMACIONES .....	12
ECUACION 3 - CALCULO DE ESFUERZO AXIAL .....	13
ECUACION 4 - ESFUERZO DEBIDO A LA FLEXION EN EL EJE YY .....	14
ECUACION 5 - ESFUERZO DEBIDO A LA FLEXION EN EL EJE XX .....	14
ECUACION 6 - ESFUERZO MAXIMO .....	14
FIGURA 12A- DEFORMIMETROS MONTADOS EN LA PARTE CENTRAL DE LAS DEFORMACIONES AXIALES Y MOMENTOS DE FLEXION ALREDEDOR DE LOS EJES XX E YY (RECOMENDADO) ....	14
FIGURA 12B - DEFORMIMETROS MONTADOS EN BRIDAS (SOLAMENTE RECOMENDADOS PARA VIGAS CON CARGA AXIAL EN FLEXION SIMPLE .....	15
FIGURA 12CA- MEDICION DE DEFORMACION AXIAL Y MOMENTO DE FLEXION SOLAMENTE SOBRE EL EJE YY .....	15
FIGURA 13D - DEFORMACION AXIAL Y MOMENTOS DE FLEXION SOLAMENTE SOBRE EL EL EJE XX .....	16
ECUACION C-1 - CONVERSION DE LA RESISTENCIA DEL TERMISTOR A TEMPERATURA .....	21
TABLA C-1 - RESISTENCIA DEL TERMISTOR VERSUS TEMPERATURA .....	21
ECUACION D-1 - ESFUERZO TOTAL DE LA DEFORMACION DEL CONCRETO CORREGIDO PAR LOS EFECTOS TERMICOS DEL MEDIDOR .....	22
ECUACION D-2 - DEFORMACIONES TERMICAS DEL CONCRETO .....	22
ECUACION D-3 - CALCULO DE LA DEFORMACION DEBIDO A CAMBIO DE CARGA .....	22
FIGURA E-1 - AJUSTE DE LA TENSION .....	23
TABLA E-1 - GUIA PARA ESTABLECER LA TENSION INICIAL .....	23
ECUACION F-1 - DEFORMACIONES TERMICAS EN CAMPO LIBRE .....	24
ECUACION F-2 - ESFUERZO TOTAL DESPUES DE LA COMPENSACION DE LOS EFECTOS TERMICOS EN LA CUERDA .....	24

## 1. INTRODUCCION

Los Deformímetros de Cuerda Vibrante VK-4100 y VK-4150 están diseñados para medir las deformaciones en miembros estructurales de acero de puentes, pilotes, recubrimientos de acero en túneles, edificios, etc. El modelo VK-4100 consiste de un elemento de cuerda vibrante y un montaje de bobina desmontable. El VK-4150 consiste de un elemento de cuerda vibrante y un montaje integral de bobina.

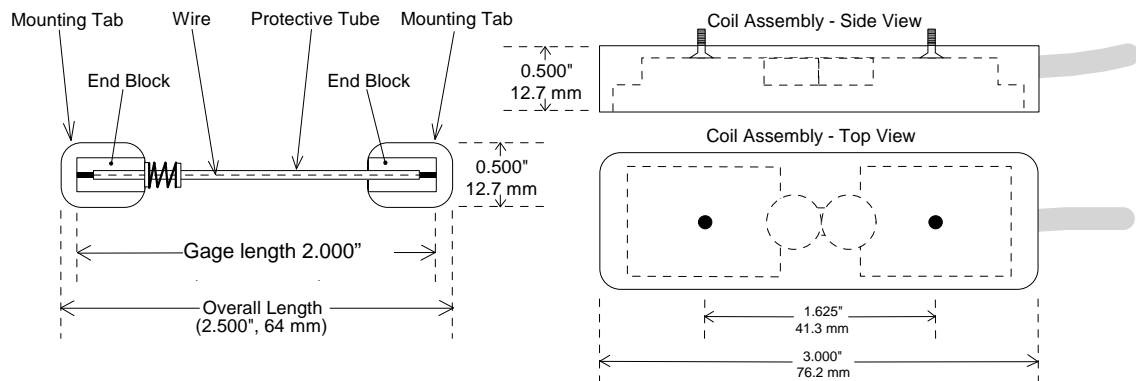


Figura 1 - Deformímetro de Cuerda Vibrante y Montaje de Bobina

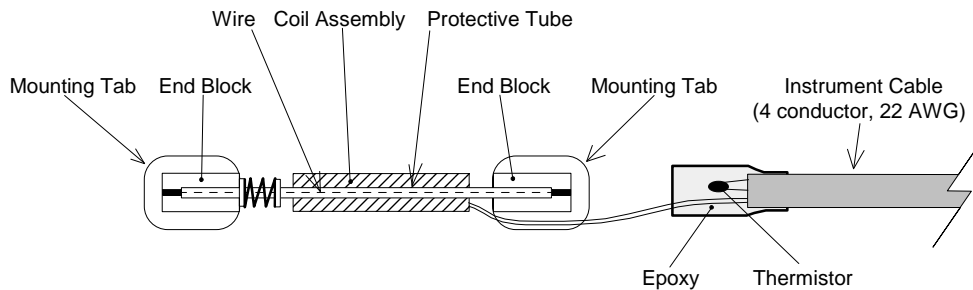


Figura 2 - Deformímetro de Cuerda Vibrante VK-4150

El principal medio de fijación es por soldadura de puntos, pero también se puede usar un adhesivo epóxico. (Ver el Apéndice H).

Las deformaciones se miden usando el principio de cuerda vibrante: se tensa un tramo de cuerda de acero entre dos bloques de montaje que están soldados a la superficie de acero que se está estudiando. Las deformaciones (es decir, los cambios) de la superficie provocarán que los dos bloques de montaje se muevan entre sí, alterando por consiguiente la tensión en la cuerda de acero. La tensión se mide tirando de la cuerda y midiendo su frecuencia resonante de vibración. Al tirar de la cuerda se mide su frecuencia resonante por medio de una bobina electromagnética colocada junto a la cuerda.

Las lecturas de la Cuerda Vibrante usadas conjuntamente con el Deformímetro, proporcionan la excitación necesaria para tirar del cable y mostrar el periodo de la vibración resultante directamente en unidades de microesfuerzos.

Este manual contiene instrucciones para la instalación, instrucciones para la lectura y procedimientos para solución de problemas. También se proporciona la teoría del medidor junto con algunas sugerencias para la interpretación de datos.

## **2. INSTALACION DEL MEDIDOR**

### **2.1. Pruebas Preliminares**

Los Deformímetros VK-4100 y VK-4150 se proporcionan totalmente sellados y con la tensión apropiada. El VK4100 tiene una bobina electromagnética desmontable, mientras que el VK-4150 contiene una integral. Es aconsejable una lectura preliminar y esto se hace conectando los cables de la bobina electromagnética (para el VK-4100 coloque la carcasa del montaje de la bobina en forma invertida y fije el elemento del Deformímetro adentro) a la consola de lectura observando la lectura desplegada. Ver la sección 3 para mayor información sobre la operación y posición de la lectura. Los Deformímetros se proveen con la tensión de la cuerda establecida a medio rango (es decir 2500  $\mu$ strain, +/-200) lo que da un rango de aproximadamente 1250 microesfuerzos tanto en la tensión como en la compresión, que es adecuado para la mayoría de las aplicaciones. Ver el Apéndice E si es necesario ajustar el rango de esfuerzos. Pero tome nota: **Bajo ninguna circunstancia se deberán usar los procedimientos descritos en el Apéndice E después que se ha soldado el Deformímetro.** Si se requiere que el Deformímetro lea grandes deformaciones por tracción entonces configure la lectura entre 1500 y 2000 microesfuerzos, si el Deformímetro va a leer grandes deformaciones generales configure la lectura inicial entre 2500 y 3000 microesfuerzos.

Una ligera presión en los extremos del Deformímetro debe hacer que disminuyan las lecturas de los microesfuerzos. Jale los extremos del Deformímetro para aumentar la lectura desplegada. No jale muy fuerte (> 10 lbs., 4.5 kg) los extremos del Deformímetro o el cable se puede romper.

Verifique la resistencia entre los cables conductores del Deformímetro de cuerda vibrante (usualmente los cables rojos y negros). La resistencia nominal del montaje de la bobina para el VK-4100 es  $180\Omega$ ,  $+10\Omega$ , para el VK-4150,  $50\Omega$ ,  $+10\Omega$ . Recuerde añadir resistencia al cable cuando verifique (los conductores trenzados de cobre 22 AWG son aproximadamente de  $48.5\Omega/\text{km}$ , multiplique por 2 para ambas direcciones). La resistencia del termistor (elemento detector de temperatura) también se puede verificar (usualmente los cables blancos y verdes). Verifique la resistencia con la tabla en el Apéndice C.

### **2.2 Instalaciones de Deformímetros mediante Soldadura por Puntos**

(USE LENTES DE PROTECCIÓN)

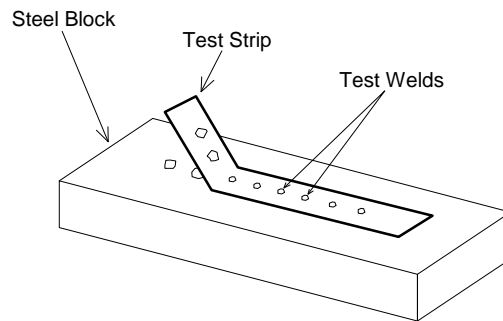
Las siguientes herramientas y accesorios son necesarios para instalar el modelo VK-4100 o el VK4150 en acero mediante soldadura por puntos:

- Amoladora mecánica o lijadora, limas, cepillo de alambre, lijas, desgrasadora.
- Tiras de prueba de montaje.
- Soldadura eléctrica por puntos y una sonda manual
- Adhesivo de cianoacrilato.
- Una lata en aerosol de primer autoadherible y pintura en aerosol. (Disponible en tiendas de autopartes).
- Material de acero inoxidable para el calzo de ajuste (se provee).
- Material de calzo de ajuste para asegurar el cable del medidor (VK4150 (se provee)
- Uniones para cable, uniones para alambre y/o cinta adhesiva para conductos (la cantidad que se requiera).
- Cinta adhesiva

Tome nota de las siguientes instrucciones:

**2.2.1 Prepare la Superficie** - La superficie de la pieza de acero debe estar plana y limpia, libre de herrumbre, grasa y corrosión. Desengrase la superficie usando un agente limpiador apropiado, después use una amoladora mecánica o lijadora, lima, cepillo de alambre o lija, para lograr una superficie uniforme.

**2.2.2 Tiras para Prueba de Soldadura por Puntos** - Antes de soldar el Deformímetro es necesario probar la soldadura por puntos para asegurarse que funcione adecuadamente y que se use la energía correcta. La energía del soldado y, hasta cierto punto, la presión de contacto determina la calidad del soldado. Se requiere aproximadamente una energía de 20-40 watt-segundos para soldar apropiadamente a un acero estructural los Deformímetros modelo VK-4100 o VK-4150. Usando el material de prueba que se proporciona con los medidores haga una serie de pruebas para determinar la energía apropiada. Después realice una prueba de adherencia como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3 - Prueba de Adherencia**

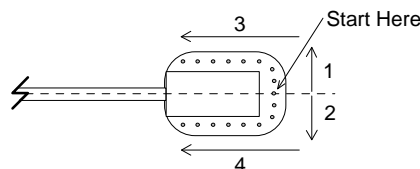
Cuando se está usando la energía correcta para el soldado, la tira de prueba, cuando se retira de la superficie de acero con pinzas, mostrará una serie de hoyos indicando donde ha quedado la tira soldada en el sustrato. Si no se usa la energía suficiente, la tira de prueba se jala con facilidad sin que la soldadura de puntos se haya definido. Si se usa excesiva energía en el soldado, la tira de prueba se decolorará, fundirá y será rechazada del punto.

Un chispazo es usualmente una indicación de suciedad entre la tira de prueba y el sustrato, o puede ser una indicación de fuerza insuficiente, en cuyo caso se debe ajustar la fuerza manual.

Una deformación excesiva del área de soldado requiere una disminución de la fuerza aplicada manualmente y/o una disminución de la energía del soldado.

### 2.2.3 Soldado de los medidores

Realice el soldado por puntos de un extremo del medidor usando el patrón y la secuencia que se muestra en la Fig. 4.



**Figura 4 - Secuencia del Soldado por Puntos - Filas Exteriores**

Si va a soldar el modelo VK-4150, comience con el extremo donde sale el cable. Mueva cuidadosamente los conductores para que no estorben. Comience en medio de la fila trasera de puntos marcados en la lengüeta de montaje, complete la fila trasera, trabajando en una dirección lejos del centro. Coloque un punto de soldadura en cada uno de los puntos marcados en los lados del bloque.

A continuación añada otra fila de puntos de soldadura en ambos lados del bloque lo más cerca posible y entre las soldaduras de las filas anteriores, como se muestra en la siguiente figura:

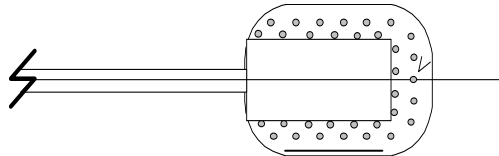


Figura 5 - Secuencia del Soldado por Puntos - Filas interiores

Cuando se hayan soldado todos los puntos en la brida, proceda a soldar el otro extremo como sigue: Coloque la herramienta de alineación sobre los dos extremos del medidor como se muestra en la figura 6 siguiente. Esto le asegurará que los dos extremos del medidor estén en línea recta.

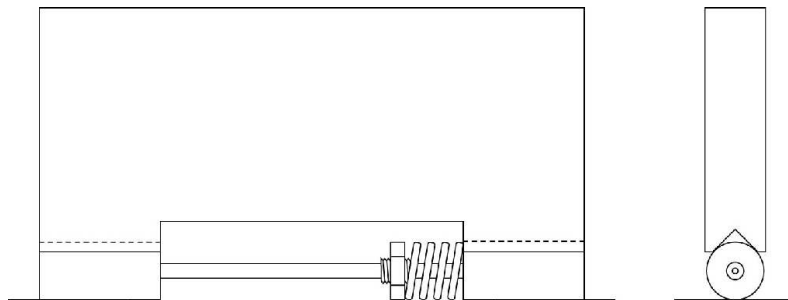


Figura 6 - Uso de la Herramienta de Alineación

Con la plantilla en su lugar, aplique la soldadura en un punto preliminar, en el centro de la segunda lengüeta pero fuera de la fila trasera y cerca de la orilla de la lengüeta. Cuando se haya soldado este punto, conecte el medidor a la consola de lectura y verifique la lectura. Si la lectura se encuentra dentro del rango aceptable, proceda a aplicar dos puntos de soldadura a lo largo de la línea trasera, después retire la herramienta de alineación y aplique la soldadura del resto de la lengüeta siguiendo el mismo patrón y secuencia de antes. Si la lectura no es aceptable entonces se puede deshacer el punto introduciendo una hoja de afeitar afilada debajo de la lengüeta en un punto cerca de la soldadura. Las soldaduras deben tener una ligera depresión y ser uniformes en su apariencia. Mantenga la punta de la sonda manual limpia y libre de protuberancias. Lijela periódicamente con suavidad con una lija de grano superfino 400. Se debe tener cuidado para mantener la superficie de la punta como un punto bien redondeado. Un cuidado adecuado evitará que la punta se pegue a la lengüeta de montaje durante el soldado.

Nota: Cuando se usa el medidor en superficies curvas se recomienda que se aplique una tercera fila de soldadura en la periferia de la lengüeta de montaje (entre la fila marcada con la plantilla y la orilla).

### 2.2.4 Instalación de Calza de Ajuste del Collarín

El desempeño del Deformímetro se mejora mediante la adición de calzas de ajuste del collarín. Estas calzas de ajuste se proporcionan preformados en la forma de una L y están soldadas sobre la parte superior de los extremos de los bloques.

Tome la calza y colóquela sobre el bloque extremo para que la orilla de la calza de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de ancho (6mm) quede al ras de la orilla trasera del extremo del bloque. Use la punta de la sonda de la soldadora por puntos para presionar con fuerza el ángulo en la calza del collarín en la esquina entre el extremo del bloque y la base de la lengüeta. A continuación suelde el extremo pequeño de la calza en forma de L en la lengüeta usando tres soldaduras todas tan cerca como sea posible de la esquina. Ahora añada otras tres soldaduras en la orilla exterior de la calza.

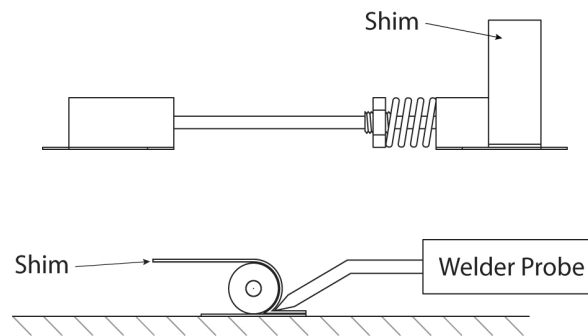


Figura 7 - Soldado de la calza de ajuste del collarín en su lugar

Ahora flexione la calza sobre el extremo del bloque y presiónelo en la esquina en el otro lado del extremo del bloque. Sóldele en la esquina como antes usando un total de seis soldaduras.

Después suelde la calza al extremo del bloque usando tres soldaduras a lo largo del punto más alto en el extremo del bloque.



Figura 8 - Terminación de la Calza de Ajuste del Collarín

Repita el proceso en el otro extremo del bloque. Cuando se han soldado ambos extremos de esta manera, tome un destornillador pequeño y de un golpe ligero en ambos extremos de los bloques con el mango en los puntos sobre las bridas solamente.

El objeto de dar este ligero golpe es disipar cualquier deformación local inducida por el procedimiento del soldado.

**Después de dar cuatro o cinco golpes ligeros en cada extremo del bloque vuelva a leer el medidor. Continúe este procedimiento hasta que se asienten las lecturas y no cambien más de unos cuantos dígitos.**

#### **2.2.5 Asegure el Cable del Medidor - Para el modelo VK-4150**

Use el material de la calza que se proporcionó, suelde por puntos el empalme del cable al conductor principal firmemente a la base de acero. Asegúrese de dejar algún espacio en los conductores principales. Use la segunda calza y suelde el cable al acero aproximadamente a 1" (25 mm) detrás del empalme del conductor principal.

### **2.3 Protección Contra Corrosión**

Con el medidor ahora instalado, es imperativo que los puntos de soldadura se protejan contra la corrosión. El propio medidor no mostrará corrosión ya que está hecho de acero inoxidable, pero la base sí, especialmente en los puntos de soldadura, a menos que se cubran con una capa a prueba de agua. El procedimiento recomendado es el siguiente:

1. Aplique varias gotas de adhesivo de cianoacrilato en la orilla de todas las lengüetas de montaje soldadas. El pegamento se introducirá en la hendidura entre las lengüetas de montaje y la base y suministrará la primera línea de defensa.
2. Cubra con cinta adhesiva las áreas donde se requiere que las soldaduras sostengan la cubierta de la bobina de excitación del Modelo 4100 o la placa de protección del Modelo 4150.
3. Rocíe una capa de Primer Auto Adherente (disponible en cualquier tienda de autopartes), sobre las áreas de las lengüetas de montaje y sobre las áreas de metal sin revestimiento protector. Una vez más, la idea es proteger los puntos soldados del sustrato, por lo que debe tener cuidado de cubrir completamente las orillas de las lengüetas de montaje, prestando atención especial al punto donde la lengüeta se encuentra debajo del tubo del medidor. Tenga cuidado de rociar debajo de la cubierta de la bobina en el Modelo 4150. No se preocupa si el primer también cubre el medidor.
4. Rocíe una capa de pintura sobre las áreas con primer. (Disponible en cualquier tienda de autopartes).

### **2.4 Instalación de la cubierta de la Bobina de Excitación (para el Modelo VK-4100)**

Retire las áreas donde se aplicó cinta adhesiva y coloque la cubierta de la bobina de excitación sobre el medidor. Conéctelo a la consola de lectura y mueva la cubierta hasta que obtenga una lectura estable. En esta posición, use la soldadora por puntos para soldar las lengüetas que sostienen la cubierta de la bobina a la base. Las lengüetas y el metal libre de protección circundante se deben proteger de la corrosión como se indicó anteriormente.

## 2.5 Instalación de la cubierta del medidor Modelo 4150

El modelo VK-4150 se provee con una cubierta de metal semicilíndrica, la cual se puede soldar en su lugar sobre el medidor y en la mayoría de los casos será adecuada. (Figura 9). Las lengüetas deben ser a prueba de agua como se mencionó anteriormente.

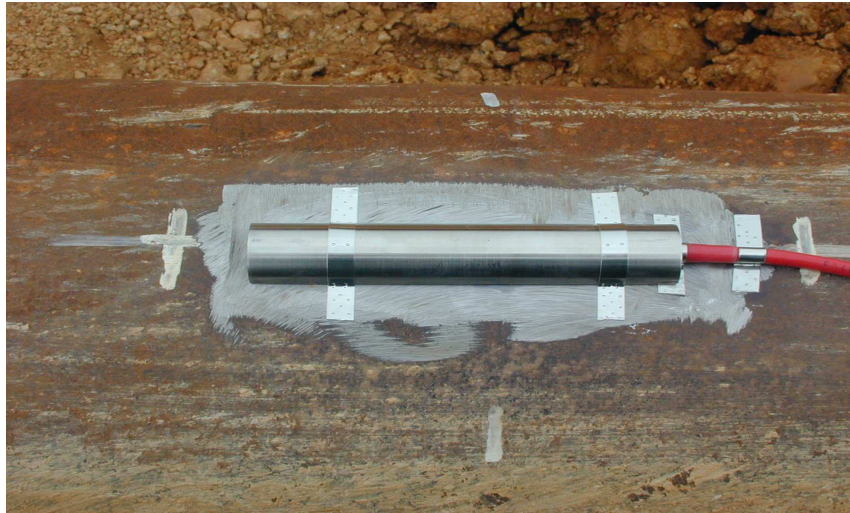


Figura 9 - Soldadura por puntos en la cubierta protectora

## 2.6 Protección Adicional para el Medidor y el Conductor Principal

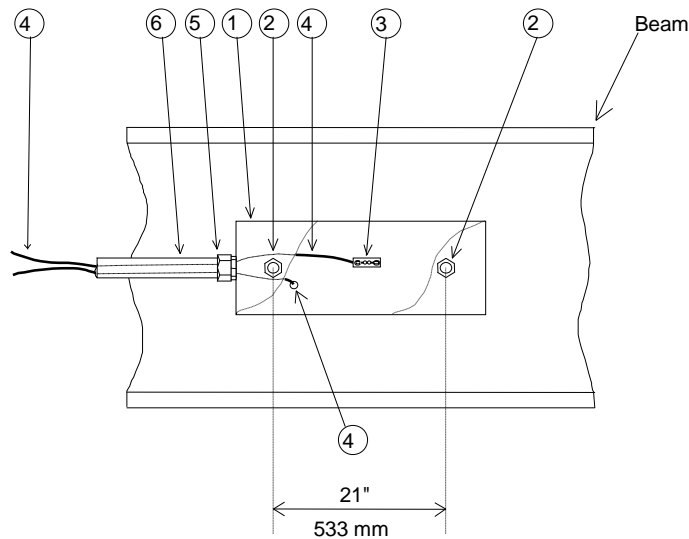
La cubierta de la bobina para el modelo VK-4100 proporciona una medida de protección para el deformímetro, y en la mayoría de los casos puede ser adecuada.

En entornos extremos y/o donde se requiere un rendimiento a largo plazo, el medidor y los conductores principales pueden requerir protección adicional contra la corrosión y daño mecánico.

### 2.6.1 Protección adicional contra daño mecánico

Los medidores se pueden proteger adicionalmente con cubiertas protectoras fabricadas de fierro en ángulo, (mínimo de 2 ½ pulgadas) o fierro en U; (4" x 1 ½ pulgadas), atornilladas sobre la parte superior del medidor. En la Figura 10 se muestra un sistema típico para el modelo 4100.

Se pueden soldar los vástagos directamente en la superficie usando un soldador automático, o los pernos con cabeza hexagonal se pueden soldar con arco con la cabeza hacia abajo. En este último caso, la fábrica cuenta con una plantilla especial para el soldado de los pernos para lograr el espaciado correcto. Las placas protectoras se ajustan sobre estos pernos y para sostenerlos en su lugar se aprietan las tuercas. No se deben colocar los pernos a 6 pulgadas del deformímetro y no se debe usar fuerza excesiva cuando se aprietan las tuercas que retienen la cubierta ya que esto distorsionaría la superficie de acero subyacente y daría origen a lecturas falsas. También evite soldar en cualquier lugar cerca del medidor ya que esto ocasionaría grandes distorsiones locales del metal.



Clave	Descripción	Fabricante	No. de Parte
	Deformímetro VK-4100 (debajo de la bobina)	Geokon	4100-2
1	Cubierta de Acero en U (L×W×H) 21 × 4 × 1 1/2", 533 × 101 × 37mm	Geokon	4100-7
2	Perno 1/2-13 × 3"		
3	Bobina de Excitación del Deformímetro	Geokon	4100-3
4	Cables, 4 conductores blindados, con forro de PVC	Geokon	2-187V3
5	Conector de Conductores	T&B	5231
6	Conductor Flexible	SealTite	3/8"

Figura 10 - Placa Protectora de Hierro en U

### 2.6.2 Protección adicional contra corrosión.

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 protectora y el Deformímetro Modelo 4150 se pueden llenar con una grasa espesa (por ej. grasa para ejes). Para mayor protección, se puede cubrir todo el montaje - el Deformímetro, la carcasa de la bobina o placa protectora - con una capa de mastique aislante (por ej. Plymouth 10 Plyseal que viene en un rollo de 3 3/4" x 1/8" x 10pies. (Disponible de Geokon)).

### 2.6.3 Protección contra Luz Solar.

El coeficiente térmico de expansión de la cuerda vibrante de acero es el mismo que el del acero de la estructura a la cual está fijado el medidor, y como resultado no se requiere corrección de la temperatura a la deformación medida cuando se calculan las deformaciones inducidas por la carga. Sin embargo, esto solamente es real si la cuerda y la estructura de acero subyacente están a la misma temperatura. Si se permite que la luz solar repercuta directamente sobre el medidor, esto podría elevar la temperatura de la cuerda arriba del acero circundante y ocasionar grandes cambios en la deformación aparente.

Por lo tanto, **siempre proteja los medidores de la luz solar directa** cubriéndolos con material aislante como espuma de estireno o fibra de vidrio.

### **3. CABLES Y CONECTORES**

#### **3.1 Protección contra Daño Mecánico**

Los cables se deben resguardar adecuadamente para que no exista el peligro de que la cubierta de la bobina se desprenda (Modelo VK-4100) o que se rompan los cables (Modelo VK-4150) al jalar el cable. Los cables se pueden marcar usando tiras de ajuste de acero inoxidable (se proporcionan) soldadas por punto en su lugar sobre la parte superior del cable. También se pueden usar bandas de sujeción o bridas para asegurar los cables.

Se deben proteger los cables de algún daño accidental al mover el equipo o de voladuras de roca. Esto se logra mejor colocando el cable dentro de un conducto flexible y posicionando el conducto en un lugar lo más seguro posible. El conducto se puede conectar por medio de conectores de unión de conductos a las placas protectoras y a una consola de lectura (ver la Figura 10). La consola de lectura cuenta con una tapa con junta metálica que se puede retirar para leer los medidores. De esta manera, los extremos de los cables principales y/o clavijas se mantienen limpios y secos. Una caja de cables del tipo de interruptor manual (Modelo 4911-16VTS) se puede incorporar si se van a leer muchos deformímetros en el mismo lugar: el panel frontal tiene conectores integrados o postes para conectarse al cable de conexión de la consola de lectura y un interruptor o interruptores manuales giratorios para hacer la conexión rápidamente a los varios medidores.

Se pueden empalmar los cables para alargarlos, sin afectar las lecturas del medidor. Procure siempre que el empalme sea completamente a prueba de agua, de preferencia usando un kit de empalme a base de pasta epóxica como el 3M Scotchcast™, modelo 82-A1. Estos kits están disponibles de Geokon.

#### **3.2. Protección contra Ruido Eléctrico**

Se debe tener cuidado al instalar los cables del instrumento los cuales deberán mantenerse lo más lejos posible de fuentes de interferencia eléctrica tales como líneas suministro de energía, generadores, motores, transformadores, soldadoras de arco eléctrico, etc. Los cables nunca se deben enterrar o correr con líneas de suministro de CA. Los cables del instrumento captarán el ruido de 50 o 60 Hz (u otra frecuencia) del cable de suministro de energía y esto probablemente ocasionará un problema para obtener una lectura estable. Póngase en contacto con la fábrica para obtener opciones de blindaje y filtrado disponible para usarse con los Deformímetros Modelo VK-410 y Modelo VK-4150.

#### **3.3 Protección contra Descargas Eléctricas**

Los Deformímetros de Cuerda Vibrante VK-4100 y VK-4150, a diferencia de otros numerosos tipos de instrumentación disponible de Geokon, no cuentan con componentes para protección integral contra descargas eléctricas, es decir, supresores de sobretensión de plasma o de tensión transitoria (transorbs).

A continuación unas cuantas sugerencias:

- Si el medidor está conectado a una caja terminal o multiplexores se pueden instalar componentes tales como los supresores de picos de voltaje de plasma (descargas disruptivas) en la caja de cables/multiplexor para suministrar una medida de protección transitoria. Las cajas terminales y los multiplexores disponibles de Geokon proporcionan lugares para la instalación de estos componentes.
- Geokon cuenta con tableros de pararrayos y compartimentos, que se instalan en el punto de salida del cable del instrumento desde la estructura que se está monitoreando. El compartimento tiene una parte superior desprendible, de manera que en caso que se dañe el tablero de protección (LAB-3), el usuario puede dar servicio a los componentes (o reemplazar el tablero). Se hace una conexión entre este compartimento y la conexión a tierra para facilitar que la corriente momentánea se desvíe del Deformímetro. Ver la Figura 11.

Consulte a la fábrica para información adicional sobre estos esquemas de protección contra descargas eléctricas.

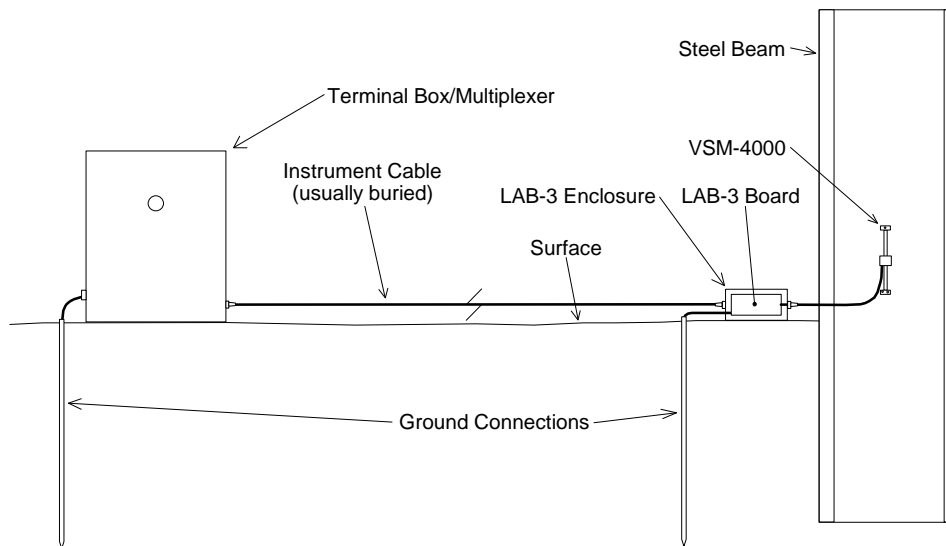


Figura 11 - Esquema de Protección contra Rayos

- Los supresores de picos de voltaje de plasma se pueden embeber en una resina epoxi en el cable del medidor cerca del sensor. Una tira de puesta a tierra conectaría el supresor de picos de voltaje a tierra, ya sea una estaca o a la propia estructura de acero.

#### 4. TOMA DE LECTURAS

Las siguientes tres secciones describen cómo tomar las lecturas usando cualquiera de las consolas disponibles de Geokon.

<b>Modelo:</b>	<b>VK-4100</b>	<b>VK-4150</b>
Posición de la Consola de Lectura:	E	E
Unidades de Despliegue:	microesfuerzo ( $\mu\epsilon$ )	microesfuerzo ( $\mu\epsilon$ )
Rango de Frecuencia:	1400-3500 Hz	1400-3500 Hz
Lectura de Rango Medio	2500 $\mu\epsilon$	2500 $\mu\epsilon$
Lectura Mínima	1000 $\mu\epsilon$	1000 $\mu\epsilon$
Lectura Máxima	4000 $\mu\epsilon$	4000 $\mu\epsilon$

Tabla 1 - Posiciones de Lecturas del Deformímetro

Nota: Cuando se tome la lectura del Modelo VK-4150, ésta puede continuar cambiando ligeramente debido a un efecto de calentamiento de la bobina. Registre la lectura en los pocos primeros segundos.

#### 4.1 Operación de la Consola de Lectura GK-403

La consola de lectura GK-403 puede almacenar lecturas y también aplicar los factores de calibración para convertir las lecturas a unidades de ingeniería. Consulte el Manual de Instrucciones GK-403 para información adicional sobre el Modo "G" de la Consola de Lectura. El modelo GK-403 lee la temperatura del termistor directamente en grados C.

Conecte la Consola de Lectura usando los cables volantes o en el caso de una estación de cables, con un conector. Las pinzas roja y negra son para el deformímetro de cuerda vibrante, los cables blanco y verde son para el termistor y el azul para la toma a tierra.

1. Gire el selector a la posición "E".
2. Encienda la unidad y aparecerá una lectura en la pantalla frontal. El último dígito puede cambiar uno o dos dígitos mientras se observa la lectura. Presione el botón "Store" para registrar el valor desplegado. Si no se despliega la lectura o es inestable ver la sección 5 para sugerencias de resolución de problemas. Se desplegará la lectura del termistor en la pantalla arriba de la lectura del medidor en grados centígrados.
3. La unidad se apagará automáticamente después de 2 minutos aproximadamente para conservar la energía.

#### 4.2 Operación de la Consola de Lectura GK-404

El modelo GK404 es una Consola de Lectura del tamaño de la palma de la mano que despliega el valor de la cuerda vibrante y la temperatura en grados centígrados.

La Consola de Lectura GK-404 se suministra con un cordón provisional para conectar los deformímetros de cuerda vibrante. Un extremo consistirá de una clavija de 5 pines para conectarse a su enchufe respectivo de la caja del GK-404. El otro extremo consistirá de 5 conectores que terminan con pinzas de conexión. Nótese que los colores de las pinzas de conexión son rojo, negro, verde, blanco y azul. Los colores representan el cable positivo del deformímetro de cuerda vibrante (rojo), el cable negativo del deformímetro de cuerda vibrante (negro), el cable positivo del termistor (verde), el cable negativo del termistor (blanco) y el cable de toma a tierra del transductor (azul). Las pinzas se deben conectar a los colores respectivos de los cables desde el cable del Deformímetro de cuerda vibrante.

Use el botón **POS** (Posición) para seleccionar la posición **E** y el botón **MODE** para seleccionar **µE** (micro esfuerzos).

Se pueden seleccionar otras funciones que se describen en el Manual GK-404.

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

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

## **5. MEDICION DE TEMPERATURAS**

Todos los Deformímetros de cuerda vibrante están equipados con un termistor para leer la temperatura. El termistor da una salida de resistencia variable en lo que la temperatura cambia. Usualmente los cables blanco y verde están conectados al termistor interno. Las consolas de lectura GK-403 y GK-404 leerán el termistor automáticamente y desplegarán la temperatura en °C.

La relación entre temperatura y resistencia se muestra en la Tabla C-1 del Apéndice C. La temperatura también se puede calcular usando la Ecuación C-1.

## **6. INTERPRETACION DE DATOS**

Las lecturas en el Canal E de la consola de lectura tanto del GK-403 como del GK-404 se despliegan directamente en microesfuerzos con base en la ecuación teórica:

$$\text{teoría } \mu\epsilon = 4.062 (f^2 \times 10^{-3})$$

Donde  $\mu\epsilon$  es el microesfuerzo y  $f$  es la frecuencia resonante de la cuerda vibrante.

### **6.1. Lecturas Iniciales**

Todas las lecturas se refieren a una lectura inicial, por lo que es importante que esta lectura inicial se tome cuidadosamente. Es preferible instalar medidores en piezas de acero que estén inmóviles y en una condición de sin carga, es decir, antes de su montaje en la estructura. De esta manera, las lecturas iniciales corresponden a una carga cero. De otra manera las lecturas iniciales corresponderán a un nivel de carga desconocido.

### **6.2. Conversión de las Lecturas a Deformaciones de Esfuerzos**

En la práctica el método de sujeción de la cuerda efectivamente acorta la cuerda vibrante ligeramente ocasionando que registre en exceso el esfuerzo. Este efecto se elimina aplicando un factor de calibración por lote (B) que se proporciona con cada medidor. (Un factor típico de calibración por lote para el Deformímetro Modelo 4000 es  $0.943 \pm 0.01$ ). Por consiguiente:

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

#### **Ecuación 5 - Cálculo de Esfuerzos Aparentes**

donde  $R_0$  es la lectura inicial en el Canal C y  $R_1$  es una lectura posterior.

Nota: cuando  $(R_1 - R_0)$  es positiva, el esfuerzo es de tensión.

### **6.3 Conversión de Deformaciones a Esfuerzos**

Considerando que los deformímetros miden el esfuerzo o deformación de la estructura, el diseñador está más interesado en las cargas estructurales o esfuerzos. Esto requiere una conversión de las deformaciones medidas a esfuerzos calculados.

Los esfuerzos se calculan multiplicando el esfuerzo medido 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 el esfuerzo por el área transversal de la pieza de acero.

Los cambios en las deformaciones con el tiempo se calculan de las lecturas tomadas en varios momentos y, por comparación con algunas lecturas iniciales tomadas en el tiempo cero. Esta lectura inicial se toma mejor cuando la pieza estructural no se encuentra bajo carga, es decir, los medidores se deben montar mientras que la pieza está todavía en el taller ó en el almacén.

Las temperaturas se deben registrar al momento de cada lectura junto con las notas al respecto de la actividad de construcción que se está realizando. Estos datos pudieran proveer razones lógicas para los cambios observados en las lecturas. Para los factores de corrección de la temperatura cuando se usan en concreto, ver el Apéndice D.

#### 6.4 Efectos de Flexión

En el caso de una estructura de acero, un deformímetro mide el esfuerzo en un punto en la superficie, y esto sería suficiente si se pudiera garantizar que no estaba ocurriendo una flexión en la pieza. En la práctica, esto solamente ocurrirá cerca del centro de piezas largas y esbeltas sometidas puramente a cargas de tensión. En algún otro lugar, **los momentos de flexión son la regla más que la excepción**, y habrá un eje neutral sobre el cual suceda la flexión.

Si los efectos de flexión se van a tomar en cuenta entonces **se requiere más de un deformímetro en cada sección transversal de la pieza estructural**, y para un análisis completo se requieren por lo menos tres deformímetros y a menudo más. En un puntal de tubo circular tres medidores espaciados a 120° serían suficientes alrededor de la periferia del puntal (cuatro serían preferibles). (Ver el Apéndice G para un análisis). En un pilote H o viga I se requerirían por lo menos cuatro deformímetros, y en un tablestacado se requeriría dos medidores consecutivos en cualquier lado del pilote. (Cuando una pieza está sujeta a flexión y solamente la superficie frontal es accesible, por ejemplo, el blindaje de acero de una galería o el exterior de tablestacados, se pueden medir los momentos de flexión instalando dos deformímetros de cuerda vibrante a diferentes distancias del eje neutral).

Considere el ejemplo de una viga I que se muestra en la Figura 12A. Cuatro deformímetros (1, 2, 3 y 4) están soldados en dos pares uno tras otro en el alma central. Los medidores se encuentran a una altura (d) arriba del alma (eje yy) y separados a una distancia (2c). La viga I tiene un patín (ancho 2b) y un alma (ancho 2a).

El esfuerzo axial se da promediando la lectura de todos los deformímetros y multiplicándola por el módulo.

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

Ecuación 3 - Cálculo del Esfuerzo Axial

El esfuerzo debido a la flexión se calcula viendo la diferencia entre los pares de deformímetros montados en lados opuestos del eje neutro. Por lo tanto el esfuerzo máximo debido a la flexión alrededor del eje yy se obtiene como sigue:

$$\sigma_{yy} = \frac{(\epsilon_1 + \epsilon_3) - (\epsilon_2 + \epsilon_4)}{4} \times \frac{b}{d} \times E$$

Ecuación 4 - Esfuerzo debido a la flexión en el Eje yy

El esfuerzo máximo debido a la flexión alrededor de eje xx se obtiene como sigue:

$$\sigma_{xx} = \frac{(\epsilon_1 + \epsilon_2) - (\epsilon_3 + \epsilon_4)}{4} \times \frac{a}{c} \times E$$

Ecuación 5- Esfuerzo debido a la flexión en el Eje xx

$$\sigma_{\text{max inum}} = \sigma_{\text{axial}} + \sigma_{xx} + \sigma_{yy}$$

Ecuación 6 - Esfuerzo Máximo

En todos los cálculos anteriores ponga atención estricta al signo del cambio del esfuerzo. Un cambio positivo es de tensión y un cambio negativo es de compresión-

Nótese que el esfuerzo total, en cualquier punto en la sección transversal, es la suma algebraica de los esfuerzos de flexión y el esfuerzo axial. Se observará que los esfuerzos en las esquinas exteriores del patín pueden ser mayores que los esfuerzos medidos en el alma y que la falla de la sección se puede iniciar en estos puntos, por lo tanto la importancia de analizar los momentos de flexión.

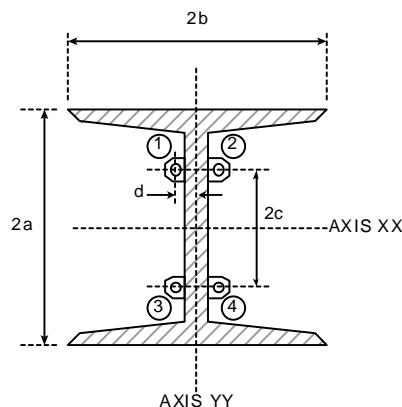
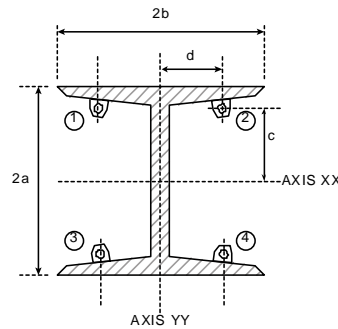


Figura 12A - Deformímetros Montados con el Esfuerzo Axial en el Alma Central y Los Momentos de Flexión sobre los Ejes XX e YY (Recomendado)

La consideración anterior también parecería llevar a la conclusión, desde el punto de vista de obtener la mejor exactitud, que el mejor lugar para los deformímetros sería en las esquinas exteriores del patín como se muestra en la Figura 12B. La desventaja de tener los deformímetros ubicados aquí estriba en la dificultad de proteger los medidores y los cables de algún daño accidental. **Sin embargo, un problema más serio se puede originar del hecho de que cada uno de los 4 deformímetros puede estar sujeto a fuerzas de flexión localizadas que afecten solamente a un deformímetro, pero no a los otros.**

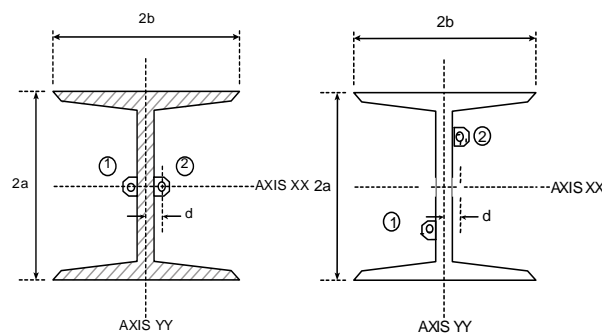
Lo que podría pasar si los patines fueran impactados por revestimientos termoaislantes de madera o bloqueos; o si existe soldadura en uno de los patines. O si el revestimiento transversal está soldado solo a una parte de la brida.



**Figura 12B - Deformímetros Montados en los patines (Recomendados solamente para vigas con carga axial en pura flexión).**

Esta es la razón, para un análisis exacto de los esfuerzos que actúan en la viga, de por qué siempre es necesario ubicar los medidores en pares, uno en cualquier lado del eje neutral de la parte de la viga en la que está adherido el medidor. También es necesario ubicar los medidores por lo menos a cuatro alturas de la viga distantes de los efectos en los extremos y de cualquier otro objeto que aplique una fuerza a la viga. Por esto es preferible la configuración de la Figura 12A. También se tiene la ventaja añadida de que los medidores ubicados en el alma como se muestra en la Figura 12A son mucho más fáciles de proteger.

Si por motivos económicos se decide que solamente se van a usar dos deformímetros por sección transversal, entonces la configuración de la figura **12Ca** se usa algunas veces, aunque dará los esfuerzos axiales y el momento de flexión alrededor del eje menor YY solamente. Los medidores en la Figura 12Cb darán alguna medida de la flexión alrededor de eje mayor XX aunque también se afectarán por la flexión en el eje YY.



**Figura 12Ca (Recomendada)**

**Figura 12Cb**

**Figura 12Ca - Medición del Esfuerzo Axial y Momento de Flexión alrededor del eje YY solamente**

Esta configuración tiene la ventaja de posicionar los medidores y cables donde son fáciles de proteger. De hecho, usando la configuración **12Ca**, se puede pasar el cable de un medidor a través de un hoyo perforado en el alma para que se puedan proteger los dos cables fácilmente por un solo conducto. La configuración **12Cb** sufre de la posibilidad de que el pandeo y distorsiones locales que producen flexión en un medidor no puedan ser detectados por el otro medidor.

Otra configuración de 2 medidores que se ha usado con algún éxito se muestra en la fig. 12D.

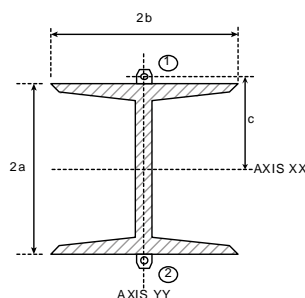


Figura 12D - Esfuerzo Axial y Momentos de Flexión alrededor del eje XX solamente

Esta configuración permite el cálculo de los esfuerzos axiales y el momento de flexión alrededor del eje mayor XX. La desventaja está en la posición expuesta de los medidores en el exterior de las bridas lo que requeriría un mayor grado de protección para los medidores y cables.

### 6.5 Efectos de la Temperatura

El coeficiente térmico de expansión de la cuerda vibrante de acero es el mismo que para el acero de la estructura a la cual se fija el deformímetro, por lo que **no se requiere una corrección de la temperatura al esfuerzo medido cuando se calculan los esfuerzos de carga inducidos**. Sin embargo, esto solamente es cierto si el cable y el acero subyacente están a la misma temperatura. Si se permite que la luz solar repercuta directamente en el medidor, entonces esto podría elevar la temperatura del cable por encima del acero circundante y ocasionar grandes cambios en el esfuerzo aparente. **Por lo tanto, siempre proteja los deformímetros de la luz solar directa**. También, evite el manejo excesivo del deformímetro antes de tomar las lecturas cero. En cualquier caso, siempre es buena idea registrar la temperatura cada vez que se toma una lectura, para que se puedan evaluar las cargas y esfuerzos ocasionados únicamente por cambios en la temperatura. **(Ver también el Apéndice D y F)**. Para facilitar la medición de la temperatura, cada deformímetro tiene un termistor encapsulado junto con la bobina de encendido. El termistor se lee en los conductores verde y blanco usando un ohmímetro o la Consola de Lectura Modelo GK-301. Si se usa un ohmímetro la relación entre resistencia (ohms) y temperatura se muestra en el Apéndice C. Si los deformímetros están unidos a concreto ver el Apéndice D.

### 6.6 Efectos de la Soldadura

La soldadura de arco cerca de los deformímetros puede originar mayores esfuerzos en la estructura de acero. Por lo tanto, soldar los pernos en pilotes verticales para soportar el revestimiento térmico, o malla de refuerzo de concreto lanzado, puede ocasionar grandes cambios en las deformaciones al soldar las cubiertas protectoras o canales de protección, etc., sobre los deformímetros y cables. Siempre tome las lecturas antes y después de cualquier soldadura de arco sobre la estructura de acero para que se puedan aplicar las correcciones a cualquier cambio aparente de deformación.

### 6.7 Efectos en los Extremos

Si se van a evitar los efectos en los extremos entonces los deformímetros se deben colocar lejos de los extremos de los puntales donde se puedan ver influenciados por distorsiones localizadas de las abrazaderas y pernos. Para la mayoría de las piezas estructurales una distancia de 1.5 m. es suficiente.

Por otro lado, los efectos finales pueden ser de algún interés debido a que añaden a la carga efectos inducidos y pueden ser lo suficientemente grandes para iniciar una falla más bien en los extremos que en medio de la pieza estructural.

## **7. SOLUCION DE PROBLEMAS**

El mantenimiento y solución de problemas de estos deformímetros se reducen a verificaciones periódicas de las conexiones de los cables y el mantenimiento de las terminales. Una vez que están instalados, usualmente son inaccesibles y una acción correctiva está limitada.

En caso que se presente alguna dificultad, consulte la siguiente lista de problemas y soluciones posibles. Consulte a la fábrica para ayuda adicional al respecto.

### ***Síntoma: Las Lecturas del Deformímetro son Inestables***

- ✓ ¿La posición de la Consola de Lectura se fijó correctamente? Si se usa un almacenador de datos para registrar las lecturas automáticamente, ¿están correctas las graduaciones de la excitación de la frecuencia por barrido?
- ✓ ¿Las lecturas están fuera del rango especificado (ya sea de compresión o de tensión) del instrumento? El deformímetro puede llegar a estar demasiado flojo o demasiado apretado; la inspección de los datos pudiera indicar que esta es una posibilidad.
- ✓ ¿Hay alguna fuente de ruido eléctrico cerca? Lo más probable es que las fuentes de ruido eléctrico sean motores, generadores y antenas. Aleje el equipo de la instalación o instale un filtrado electrónico. Asegúrese que el cable esté conectado a tierra usando un lector portátil o almacenador de datos.
- ✓ ¿La consola de lectura trabaja con otro medidor? Si no, la consola de lectura tiene baja la batería o no está funcionando correctamente
- ✓ ¿El montaje de la bobina trabaja con otro medidor? Si no, el montaje de la bobina puede estar defectuoso.

### ***Síntoma: El Deformímetro no Puede Leer***

- ✓ ¿Está cortado o aplastado el cable? Esto se puede verificar con un ohmímetro. La resistencia nominal entre los dos cables del medidor (usualmente el rojo y el negro) para el VK-4100 es de  $180\Omega$ ,  $\pm 10\Omega$ ., para el VK-4150, es de  $50\Omega$ ,  $\pm 10\Omega$ . Recuerde añadir resistencia al cable cuando verifique (los cables trenzados de cobre 22AWG son aproximadamente de  $14.7\Omega/1000'$  o  $48.5\Omega/km$ , multiplique por 2 para ambas direcciones). Si la lectura de la resistencia es infinita, o muy alta (megaohms), se puede sospechar que un cable está cortado. Si la lectura de la resistencia es muy baja ( $<100\Omega$  para el VK-4100,  $<25\Omega$  para el VK-4150) es probable un cortocircuito en el cable. La fábrica cuenta con kits de empalme e instrucciones para reparar cables cortados o en corto. Consulte la fábrica para información adicional.
- ✓ ¿El lector o el almacenador de datos trabaja con otro deformímetro? Si no es el caso, el lector o el almacenador de datos pueden estar funcionando defectuosamente.
- ✓ ¿El montaje de la bobina trabaja con otro medidor? Si no es el caso, el montaje de la bobina puede estar defectuoso.

## **APENDICE A - ESPECIFICACIONES**

<b>Modelo</b>	<b>VK-4100</b>	<b>VK-4150</b>
Rango (nominal):	2500 $\mu\epsilon$	
Resolución:	0.1 $\mu\epsilon$ <sup>1</sup>	
Exactitud de Calibración:	0.1% FS	
Exactitud del Sistema:	2.0% FS <sup>2</sup>	
Estabilidad:	0.1%FS/yr	
Linealidad:	2.0% FSR	
Coefficiente Térmico:	12.2 $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$	
Rango de Frecuencia:	1400 - 3500 Hz	
Dimensiones (medidor): (Largo $\times$ Diámetro)	2.250 x 0.250" 57.2 x 6.4 mm	
Dimensiones (bobina): (LxAxA)	3.000 x 0.875 x 0.500"  76.2 x 22.2 x 12.7 mm	0.750 x 0.250" (diámetro)  19.1 x 6.4 mm (diámetro)
Resistencia de la Bobina:	180 $\Omega$	50 $\Omega$
Rango de Temperatura	-20 a +80 $^\circ\text{C}$	

### Notas:

<sup>1</sup> Depende de la consola, la cifra pertenece a la Consola de Lectura GK-403

<sup>2</sup> La exactitud del sistema toma en consideración histéresis, no linealidad, mala alineación, variaciones en el factor del lote y otros aspectos del programa de medición real. Se puede lograr la exactitud del sistema al 1% FS mediante la calibración individual de cada deformímetro.

### **A.2 Termistor (ver Apéndice C también)**

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

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

## **APENDICE B - TEORIA DEL FUNCIONAMIENTO**

Una cuerda vibrante fijada a la superficie de un cuerpo deformante se deformará de igual manera. Las deformaciones alteran la tensión de la cuerda y por lo tanto su frecuencia natural de vibración (resonancia). La relación entre frecuencia (periodo) y deformación (esfuerzo) se describe como sigue:

1. La frecuencia fundamental (frecuencia resonante) de vibración de una cuerda está relacionada a su tensión, longitud y masa mediante 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 longitud unitaria (libras, seg.<sup>2</sup>/pulg.<sup>2</sup>).

2. Nótese que:

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

Donde:

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

g es la aceleración de gravedad (386 pulg./seg.<sup>2</sup>).

3. y:

$$W = \rho a L_w$$

Donde;

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

a es el área transversal de la cuerda (pulg.<sup>2</sup>).

1. La combinación de las ecuaciones 1, 2 and 3 da como resultado:

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

5. Nótese que la tensión (F) se puede expresar en términos de esfuerzo, por ej.:

$$F = \epsilon_w E a$$

Donde:

$\epsilon_w$  es el esfuerzo de la cuerda (pulg./pulg.).

E es el Módulo de Young de la cuerda (30 x 10<sup>6</sup> Psi).

6. La combinación de las ecuaciones 4 y 5 da como resultado:

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

7. Sustituyendo los valores dados de E, g y  $\rho$  resulta en:

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

8. En el canal 'A', el cual despliega el periodo de vibración, T, multiplicado por un factor de  $10^6$ ;

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

9. La combinación de las ecuaciones 7 y 8 da como resultado:

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

10. La ecuación 9 ahora se debe expresar en términos del esfuerzo en la superficie del cuerpo al cual se va a fijar el deformímetro. Puesto que la deformación del cuerpo debe ser igual a la deformación de la cuerda:

$$\epsilon_w L_w = \epsilon L_g$$

Donde:

$\epsilon$  es el esfuerzo en el cuerpo.

$L_g$  es la longitud del deformímetro (en pulgadas)

11. La combinación de las ecuaciones 9 y 10 da como resultado:

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

Donde: (para el deformímetro Modelo VK-4100 o VK-4150)

$L_w$  es 2.000 pulgadas.

$L_g$  es 2.000 pulgadas.

12. Por lo tanto:

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

(Nótese que T es en segundos  $\times 10^6$  and  $\epsilon$  es en pulgadas por pulgada)

13. El despliegue en la posición "E" del Lector GK-401/403 se base en la ecuación:

$$\epsilon = 0.391 \times 10^9 \left[ \frac{1}{T^2} \right]$$

Nótese que en esta formula  $\epsilon$  es en micro pulgadas por pulgada y T es en segundos  $\times 10^6$

Alternativamente  $\epsilon = 0.391 \times 10^{-3} f^2$  micro esfuerzo. Donde f es la frecuencia en Hz

El microprocesador realiza internamente el elevado al cuadrado, inversión y multiplicación por el factor  $0.391 \times 10^9$ , para que la lectura desplegada en el Canal E se obtenga en términos de micropulgadas por pulgada ( $\epsilon$ ).

## APENDICE C - DERIVACION DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR

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

Ecuación de Resistencia a Temperatura:

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

Ecuación C-1 Convertir la Resistencia del Termistor a Temperatura

donde: T = Temperatura en °C.

LnR = Logaritmo Natural de la Resistencia del Termistor

A =  $1.4051 \times 10^{-3}$  (coeficientes calculados sobre el intervalo -50 a +150° C.)

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

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

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

Tabla C-1 - Resistencia del Termistor vs. Temperatura

## **APENDICE D - CORRECCION DE LA TEMPERATURA CUANDO SE USA EN CONCRETO**

El acero utilizado para la cuerda vibrante tiene un coeficiente térmico de expansión, ( $CF_1$ ), de +12.2 microesfuerzos/°C. Por lo tanto el esfuerzo total o real en el concreto, corregido para los efectos térmicos en el medidor se obtiene mediante la siguiente ecuación:

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

Ecuación D-1 Esfuerzo Total en el Concreto Corregido para los Efectos Térmicos del Medidor

En esta ecuación ( $R_1 - R_0$ ) B es el esfuerzo aparente y  $\mu\epsilon_{total}$  es el esfuerzo real o efectivo e incluye tanto los esfuerzos térmicos inducidos en el concreto más los inducidos por los cambios en la carga.

En un campo libre, donde no están actuando cargas, los esfuerzos térmicos en el concreto se obtienen mediante la siguiente ecuación:

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

Ecuación D-2 Esfuerzos Térmicos en el Concreto

La ecuación D-2,  $CF_2$  representa El coeficiente de expansión del concreto. A menos que se conozca esta cifra, asuma un valor nominal de +10.4 microesfuerzos/°C.

Por lo tanto, para calcular el esfuerzo en el concreto debido a cambios en la carga solamente;

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

Ecuación D-3 Cálculo del Esfuerzo debido a Cambio en la Carga

Observe el siguiente ejemplo, donde  $B = 0.91$

$R_0 = 3000$  microesfuerzo,  $T_0 = 20^\circ\text{C}$

$R_1 = 2900$  microesfuerzo,  $T_1 = 30^\circ\text{C}$

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

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

$$\mu\epsilon_{thermal} = (30 - 20) \times 10.4 = +104(\text{tensile})$$

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

Explicación:

El esfuerzo aparente por compresión, indicado por la consola de lectura después de la aplicación del factor por lote, B, es  $(R_1 - R_0) \times B = -91$  microesfuerzos, pero si el esfuerzo en el concreto no hubiere cambiado, la cuerda vibrante de acero se hubiera expandido y aflojado en el equivalente de  $(30 - 20) \times 12.2 = -122$  microesfuerzos, por lo que el concreto se debe realmente haber expandido en +31 microesfuerzos para explicar el esfuerzo aparente observado. Sin embargo, el propio concreto se hubiera expandido en  $(30 - 20) \times 10.4 = +104$  microesfuerzos a cuenta del aumento de la temperatura, por lo que el factor que no alcanzó este valor debe significar que ha habido un aumento superimpuesto de esfuerzo por compresión igual a  $104 - 31 = 73$  microesfuerzos y esto multiplicado por el Módulo de Young daría el esfuerzo real en el concreto ocasionado por el cambio de carga sobreimpuesto.

## **APENDICE E - AJUSTE DE LA TENSION DE LA CUERDA DEL MEDIDOR**

**Nota. Bajo ninguna circunstancia se deben usar los procedimientos descritos en el Apéndice E después de que se ha soldado el medidor.**

Los medidores se proveen con una lectura inicial de entre 2000 y 2500 microesfuerzos. Esto da un rango de +/- 1250 microesfuerzos. Este rango es adecuado usualmente para la mayoría de los objetivos y no se debe alterar excepto en circunstancias inusuales.

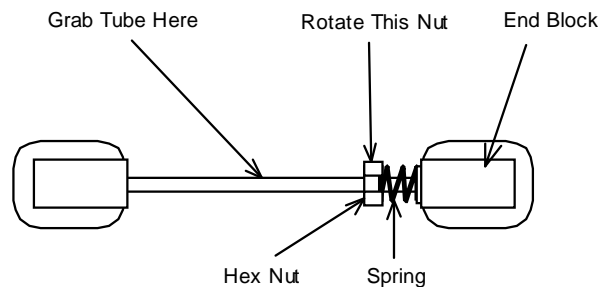
Si se conocen las indicaciones para el esfuerzo, la tensión de la cuerda se puede ajustar para un rango mayor ya sea en la compresión o tensión. Si se requiere que el medidor lea grandes esfuerzos por tensión entonces configure la lectura entre 1500 y 2000 microesfuerzos, si el medidor va a leer grandes esfuerzos por compresión configure la lectura inicial entre 2500 y 3000 microesfuerzos. La Tabla E-1 enumera las lecturas de la tensión de la cuerda.

Se usa una mini llave inglesa para girar una tuerca en un tubo roscado. La posición de la tuerca controla la tensión del resorte.

### E.1. Ajuste del Medidor

Coloque el medidor en la carcasa de una bobina, tome la lectura y anótela. Si es deseable aumentar el rango para la medición de más esfuerzos de compresión, se debe apretar el resorte. Tome el medidor por el tubo (o en el modelo 4150 por el montaje de la bobina) y gire la tuerca en el sentido de las manecillas del reloj para apretarla. Una rotación de ½ vuelta dará un cambio de aproximadamente 600 microesfuerzos. El bloque extremo del medidor a menudo también girará, por lo que después del ajuste se debe regresar el bloque para que se alineen las partes planas. Otra vez sostenga el tubo al hacer esto. Verifique la lectura. Si es correcta, aplique un punto de pegamento bloqueador de la rosca para conservar la posición de la tuerca y la tensión.

Para un mayor rango en la tensión, se gira la tuerca en la dirección opuesta usando la misma técnica de sostener el tubo, girar la tuerca y realinear los bloques extremos, etc.



**Figura E-1 - Ajuste de la Tensión**

<b>Estableciendo el Rango</b>	<b>Lectura del Esfuerzo</b>	<b>Rango de Esfuerzo Disponible</b>	
		<b>Tensión</b>	<b>Compresión</b>
Rango Medio	2500	1250	1250
Tensión (67% del rango)	1775	1675	825
Compresión (67% del rango)	2625	825	1675

**Tabla E-1 - Guía para Configuraciones Iniciales de la Tensión**

## APENDICE F - SEPARACION DE DEFORMACIONES INDUCIDAS POR CARGAS EXTERNAS Y DEFORMACIONES INDUCIDAS POR CAMBIOS DE LA TEMPERATURA

Si los extremos de la pieza estructural estuvieran libres para expandirse o contraerse sin restricción, entonces los cambios por deformación se llevarían a cabo sin ningún cambio en el esfuerzo. Y en estas situaciones el deformímetro realmente no mostraría ningún cambio en la lectura. A la inversa, si los extremos de una pieza estructural de acero o de concreto estuvieran limitados por algún medio semi rígido, entonces cualquier aumento de temperatura en la pieza estructural resultaría en un incremento en la deformación por compresión en la pieza. El deformímetro medirá con exactitud la magnitud de este aumento en la deformación por compresión inducido por la temperatura. (Debido a que mientras que la pieza está limitada para expandirse, la cuerda vibrante no está limitada y la expansión de la cuerda ocasionaría una reducción en la tracción y una disminución resultante en la frecuencia vibracional. Esto estará indicado en la consola de lectura como una disminución en las lecturas del esfuerzo, correspondiendo a un aumento en la deformación/esfuerzo por compresión, la magnitud del cual es exactamente igual al aumento inducido por la temperatura en la deformación/esfuerzo por compresión de la pieza).

Las deformaciones inducidas por la temperatura se pueden separar de las deformaciones inducidas por cargas al leer tanto la deformación y la temperatura de los deformímetros en intervalos frecuentes sobre un periodo de tiempo en el que la carga externa de la actividad de la construcción se puede asumir como constante. De estas lecturas es posible calcular los cambios de temperatura y los cambios correspondientes de deformación durante los mismos intervalos de tiempo. Cuando estos cambios por deformación se trazan contra los cambios correspondientes por temperatura, la gráfica resultante muestra una relación de línea recta, la pendiente de la cual produce un factor  $CF_{emp}$  microesfuerzo/grado. Este factor empírico de corrección se puede aplicar a los datos totales de deformación y temperatura para quitar los esfuerzos inducidos por la temperatura dejando solamente los esfuerzos producidos por los cambios en cargas externas, es decir:

$$\text{Esfuerzos inducidos solamente por carga externa} = [(R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) CF_{emp}]E$$

Nótese que el factor de corrección  $CF_{emp}$  puede cambiar con el tiempo y con la actividad en la construcción debido al hecho que la rigidez de la limitación puede cambiar. Entonces sería una buena idea repetir el procedimiento anterior para calcular un nuevo factor de corrección de la temperatura. En un campo libre, donde no están actuando cargas y el acero está libre para expandirse o contraerse sin limitación, entonces  $R_1 = R_0$  y las deformaciones térmicas en el acero se obtienen mediante la siguiente ecuación:

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

### Ecuación F-1 Deformaciones Térmicas en Campo Libre

En la ecuación F-1,  $CF_1$  representa el coeficiente de expansión del acero = 12.2 microesfuerzo/°C.

La deformación total en la pieza estructural de acero, debido tanto a los cambios de deformaciones como a los cambios de temperatura, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

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

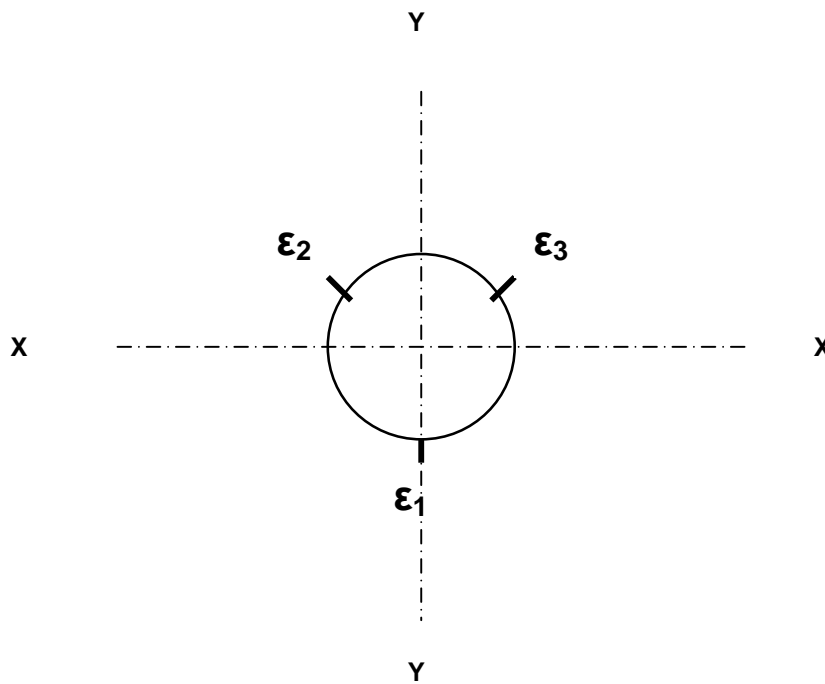
### Ecuación F-2 Deformación Total después de Compensar los Efectos Térmicos en la Cuerda

Donde los extremos de la pieza estructural están perfectamente restringidos entonces  $(R_1 - R_0)B$ , la deformación por compresión inducida por cambio de la temperatura solamente se cancelaría exactamente por  $(T_1 - T_0) \times CF_1$ , la deformación expansiva y  $\mu\epsilon_{total}$  sería cero.

**APENDICE G - CALCULO DE LAS CARGAS AXIALES Y ESFUERZOS DE FLEXION**

**DE**

**TRES DEFORMIMETROS A 120 GRADOS EN UN TUBO CIRCULAR**



$$\text{Deformación Axial Promedio} = (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) / 3$$

$$\text{Deformación por Flexión alrededor del Eje YY} = (\epsilon_2 - \epsilon_3) / 1.732$$

$$\text{Deformación por Flexión alrededor del Eje XX} = (\epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_1) / 2$$

## **APENDICE H - INSTALACION DEL MEDIDOR USANDO ADHESIVO EPOXICO**

### 2.3 Instalación de los Deformímetros usando adhesivo epóxico.

Se necesitan las siguientes herramientas para instalar el VK-4100 o VK-4150 en acero usando adhesivo epóxico:

- Esmeril mecánico o lijadora, limas, cepillo de alambre, lija.
- Adhesivo de 2 partes de fraguado rápido como Loctite® 410 con acelerante.
- Plantilla de ajuste del deformímetro.
- Compuesto a prueba de agua como Dow Corning RTV-3145.
- Amarres para cables y/o cinta aislante (cantidad según se requiera)

Ver las siguientes instrucciones:

1. *Prepare la Superficie* - Siga las instrucciones descritas en la sección de soldado por puntos.
2. *Aplique adhesivo epóxico al Medidor* - Coloque el medidor en la ranura de la plantilla de ajuste. Aplique una base epóxica a las lengüetas de montaje del deformímetro. Aplique el activador al acero en los lugares cercanos a las lengüetas de montaje. Presione el medidor firmemente contra la viga y sosténgalo por lo menos 30 segundos o hasta que el adhesivo epóxico haya fraguado.
3. *Protección del Medidor* - Aplique una capa de compuesto a prueba de agua sobre el área de las lengüetas de montaje.
4. *Instale la cubierta de la Bobina de Excitación (para el VK-4100)* - Antes de que la capa a prueba de agua haya endurecido es necesario instalar la carcasa de la bobina sobre el deformímetro. No use una cantidad excesiva del compuesto a prueba de agua. Mantenga este compuesto lejos del tubo del medidor para que no impida su libertad de movimiento con relación a los bloques extremos.

Si la cubierta de la bobina se va a mantener portátil úsela ahora para escurrir el exceso del compuesto a prueba de agua para que cuando se fije no evite el asentamiento apropiado de la cubierta de la bobina.

Si la cubierta de la bobina se va a fijar permanentemente en su lugar, colóquela sobre el medidor y mire a través de la cubierta transparente, moviéndola hasta que esté libre del medidor. En esta posición, use la soldadora por puntos para soldar las lengüetas sosteniendo la cubierta a la base. El área de la base a la cual están soldadas las lengüetas requerirá la preparación de la superficie como antes y, otra vez las lengüetas se deben proteger contra corrosión.

2. *Asegure el Cable del Medidor* - Para el VK-4150 usando el material de placas separadoras que se proporcionaron, aplique soldadura por puntos al empalme del cable al conductor principal firmemente al acero. Asegúrese de dejar algún espacio en los conductores principales. Usando el segundo material de placas separadoras aplique soldadura por puntos el cable al acero aproximadamente 1" (25 mm) detrás del empalme del conductor principal. Para el VK-4100 o VK-4150 use amarres o cinta aislante para asegurar el cable del medidor a la pieza de acero.
3. *Verifique la Lectura del Medidor* - Conecte una consola lectora portátil (sección 3) y verifique que el medidor esté leyendo en la lectura deseada. Siga las instrucciones en la sección de Solución de Problemas si el medidor no lee.
4. *Aplique soldadura por puntos a la placa protectora del VK-4150 usando las tiras especiales del material de las placas separadoras que se proporcionaron. Suelde por puntos las tiras al tubo con hendidura primero y después a la pieza de acero.*