

4. RECOMENDACIONES, PROCEDIMIENTOS Y CRITERIOS EN LA SELECCIÓN DE LAS BANDAS EXTENSOMÉTRICAS

4.1 . Introducción

El paso inicial en la preparación de cualquier instalación de una banda extensométrica es la selección de la banda extensométrica apropiada para la tarea. A priori podría parecer que la selección de la banda es un ejercicio simple, sin mayores consecuencias para el analista de la deformación; pero lo contrario es lo cierto. La selección cuidadosa y racional de las características y los parámetros de banda puede ser muy importante en: la optimización en el desarrollo de la banda para condiciones medioambientales y de operación especificadas, obtener medidas de deformación precisas y seguras, contribuir a la facilidad de la instalación, y minimizar el coste total de la instalación de la banda.

Las características de instalación y de operación de un sensor de deformación se ven afectadas por los siguientes parámetros, los cuales se clasifican en variados grados:

- Aleación deformación-sensible
- Materiales de protección
- Longitud de banda
- Modelo de banda
- Número de autocompensación de temperatura
- Resistencia de red
- Opciones

Básicamente, el proceso de selección de la banda consiste en la determinación de la combinación particular de parámetros disponibles que es más compatible con las condiciones medioambientales y de operación, y al mismo tiempo la que mejor satisfaga las restricciones de instalación y de operación. Estas restricciones se expresan en general en la forma de requerimientos tales como:

- Precisión
- Estabilidad
- Temperatura
- Elongación
- Duración a ensayo
- Resistencia cíclica
- Facilidad de instalación
- Medio ambiente

El coste de la banda extensométrica por sí mismo no es normalmente una consideración prioritaria en la selección de la banda, ya que la medida económica significativa es el coste total de la instalación, del cual el coste de la banda es normalmente una pequeña fracción. En muchos casos, la selección de una característica opcional o en serie del sensor, la cual aumenta el coste de este, sirve para disminuir el coste total de la instalación.

Se debe apreciar que el proceso de selección de la banda en general, implica compromisos. Esto es debido a que las elecciones de parámetros que tienden a satisfacer una de las restricciones o requerimientos, pueden funcionar en contra de la satisfacción de otras. Por ejemplo, en el caso de un filete de radio pequeño, donde el espacio disponible para la instalación de la banda está limitada, y el gradiente de deformación es extremadamente alto, una de las bandas más pequeñas puede ser la elección óptima. Al mismo tiempo, sin embargo, bandas más pequeñas de aproximadamente 0.125 in (*3 mm*) se caracterizan generalmente por una elongación máxima más baja, vida a fatiga reducida, menor comportamiento estable, y mayor dificultad en la instalación. Otra situación que con frecuencia tiene influencia en la selección de bandas, y está envuelta en compromisos, es el stock de sensores en mano para las medidas de deformación día a día. Mientras los compromisos son casi siempre necesarios, el analista de deformación debería ser totalmente consciente de los efectos de tales compromisos enfrentados con los requerimientos en la instalación del sensor. Es necesario esta interpretación para conseguir el mejor compromiso global para cualquier conjunto particular de circunstancias, y para juzgar los efectos de ese compromiso en la precisión y validez de los datos de los ensayos.

Los criterios de selección de bandas extensométricas considerados aquí, se relacionan fundamentalmente con aplicaciones del análisis de tensiones. Aunque los relativos a la elección de las adecuadas para transductores son, en muchos aspectos, similares a los presentados en este documento, estos pueden variar significativamente de una aplicación a otra y, por lo tanto, se deberían tratar en consecuencia.

4.2 . Parámetros de selección de banda

4.2.1. Aleaciones sensibles a la deformación

El principal componente que determina las características de operación de una banda extensométrica, es la aleación sensible a deformación usada en la red de hojuela. Sin embargo, la aleación no es en cada caso un parámetro seleccionable independientemente. Esto es debido a que cada serie de bandas extensométricas se diseña como un sistema completo. Ese sistema consta de una combinación particular de hojuela y protección, y normalmente incorpora características de construcción de sensores adicional (tales como encapsulados, conductores integrales, o soldadura por puntos) específicas a cada serie en cuestión.

Se suministran una variada gama de aleaciones extensométricas, como se indica a continuación (con su respectiva letra de designación):

A: Constantan autocompensado en temperatura.

P: Constantan templado (recocido).

D: Isoelástico.

K: Aleación Ni-Cr, un Karma modificado en forma de temperatura autocompensada.

4.2.1.1. Aleación Constantan

De todas las aleaciones modernas de medida de deformación, constantan es la más antigua, y todavía la más ampliamente utilizada. Esta situación refleja el hecho de que constantan tenga la mejor combinación global de propiedades necesarias para muchas aplicaciones en la medida de deformación. Esta aleación tiene, por ejemplo, una sensibilidad a la deformación adecuadamente alta, o un factor de banda relativamente insensible al nivel de deformación y a la temperatura. Su resistividad es suficientemente elevada para lograr valores de resistencia apropiados en incluso redes muy pequeñas, y su coeficiente de resistencia a la temperatura no es excesivo. Además, constantan se caracteriza por una vida a fatiga aceptable y por una capacidad de elongación relativamente alta. Se debe añadir, sin embargo, que constantan tiende a exhibir un impulso continuo de temperaturas de aproximadamente +150 °F (+65 °C); y esta característica se debería tomar en cuenta cuando la estabilidad nula de la banda es crítica bajo un periodo de horas o días.

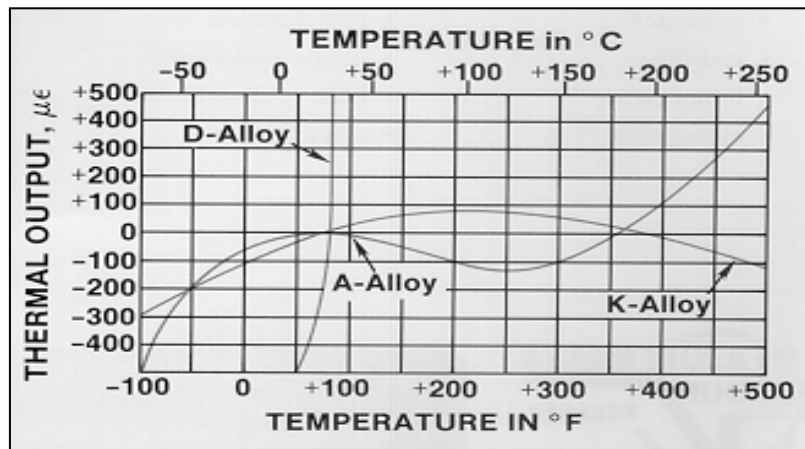
Es importante tener en cuenta que el constantan se puede procesar para autocompensación de temperatura para igualar un amplio rango de coeficientes de expansión del material a ensayar. La aleación A se suministra con los siguientes números de autocompensación de temperatura (self-temperature-compensation S-T-C) 00, 03, 05, 06, 09, 13, 15, 18, 30, 40 y 50, para uso en materiales de ensayo con coeficientes de expansión térmica correspondientes (expresados en ppm/°F).

Para la medida de deformaciones muy grandes, 5% o superior, constantan templado (aleación P) es el material de red normalmente elegido. Constantan en esta forma es muy dúctil; y, en longitudes de banda de 0.125 in (3 mm) y mayores, se puede deformar a >20%. Se debe tener en cuenta, sin embargo, que bajo elevadas deformaciones cíclicas la aleación P exhibirá algún cambio de resistencia permanente con cada ciclo, y causará un correspondiente cambio a cero en la banda extensométrica. A causa de esta característica, y la tendencia a fallo prematuro de la red ante deformación repetida, la aleación P no se recomienda comúnmente para aplicaciones de deformación cíclica. La aleación P está disponible con números S-T-C de 08 y 40 para uso en metales y plásticos, respectivamente.

Autocompensación con la Temperatura

Una propiedad importante compartida por las aleaciones de medida de deformación constantan y Karma modificado, su sensibilidad al tratamiento especial para autocompensación de temperatura. Las bandas autocompensadas en temperatura se diseñan para producir una salida térmica mínima (temperatura inducida por deformación aparente) sobre el rango de temperatura de aproximadamente -50° a $+400^{\circ}\text{F}$ (-45° a $+200^{\circ}\text{C}$). Cuando se seleccionen otras bandas extensométricas de constantan (aleación A) o de Karma modificado (aleación K), se debe especificar el número S-T-C. Este número S-T-C es el coeficiente de expansión térmica aproximado en ppm/ $^{\circ}\text{F}$ del material estructural en el cual la banda mostrará una salida térmica mínima.

El gráfico siguiente muestra las características típicas de salida térmica para aleaciones A y K. La salida térmica de aleación isoelástica no compensada se incluye en el mismo gráfico debido a propósitos de comparación. En la práctica normal, el número S-T-C para bandas de aleación A o K se selecciona para igualar de la forma más cercana el coeficiente de expansión térmica del material a ensayar.



Sin embargo, las curvas de salida térmica para estas aleaciones se pueden girar alrededor del punto de referencia de temperatura ambiente en orden a favorecer un rango de temperaturas particular. Esto se hace intencionadamente para deslizar el número S-T-C y el coeficiente de expansión en la dirección apropiada. Cuando el número S-T-C seleccionado es más bajo que el coeficiente de expansión, la curva se rota en sentido contrario al de las agujas del reloj. Una deslización opuesta produce rotación en el sentido de las agujas del reloj de la curva de salida térmica. Bajo condiciones de deslización de S-T-C, las curvas de salida térmica para aleaciones A y K (suministradas con cada paquete de bandas extensométricas) no interesan, por supuesto, y será en general necesario calibrar la instalación para salida térmica como una función de la temperatura.

4.2.1.2. Aleación Isoelástica

Cuando se van a realizar medidas de deformación dinámica exclusivamente – esto es, cuando no es necesario mantener una referencia estable a cero – la aleación D (isoelástica) ofrece ciertas ventajas. Las principales entre estas son vida a fatiga superior, comparada con la aleación A, y un elevado factor de banda (aproximadamente 3.2) el cual desarrolla la relación señal-ruido en ensayos dinámicos.

La aleación D no está sujeta a la autocompensación de temperatura. Por otra parte, como se muestra en el gráfico (ver cuadro), su salida térmica es tan alta [alrededor de $80 \mu\epsilon/^{\circ}\text{F}$ ($145 \mu\epsilon/^{\circ}\text{C}$)] que por lo tanto esta aleación no se puede usar normalmente para medidas de deformación estática. Hay veces, sin embargo, cuando la aleación D encuentra una aplicación en transductores de propósito especial donde se necesita una salida elevada, y donde no se puede usar un ajuste en puente completo (*fullbridge*) para conseguir compensación razonable en temperatura con el circuito.

Otras propiedades de aleación D se debe señalar además al considerar la selección de este material de red. Es, por ejemplo, magnético-resistivo; y su respuesta a deformación es de algún modo no lineal, convirtiéndose significativamente hasta una deformación superior a $\pm 5000 \mu\epsilon$.

4.2.1.3 Aleación Karma

Karma modificado, a la aleación K, con sus extensas áreas de aplicación, representa un miembro importante en la familia de aleaciones de extensométricas. Esta aleación se caracteriza por tener vida a fatiga aceptable y una estabilidad excelente; y es la elección preferida para medidas de deformación estática precisas bajo largos periodos de tiempo (meses o años) a temperatura ambiente, o bajo periodos menores a temperatura elevada. Se recomienda para medidas amplias de deformación estática bajo el rango de temperatura desde -452° a $+500^{\circ}\text{F}$ (-269° a 260°C). Para periodos cortos, las bandas extensométricas de aleación K encapsuladas se pueden exponer a temperaturas tan altas como $+750^{\circ}\text{F}$ ($+400^{\circ}\text{C}$). Una atmósfera inerte mejorará la estabilidad y aumentará la vida útil de la banda a elevadas temperaturas.

Entre otras ventajas, la aleación K ofrece una curva de salida térmica mucho más horizontal que la aleación A, lo que permite una corrección más precisa para los errores en la salida térmica en extremos de temperatura. Al igual que constantan, la aleación K se puede autocompensar en temperatura para uso en materiales con distintos coeficientes de expansión térmica. Los números S-T-C disponibles en aleación K están limitados, sin embargo, a los siguientes: 00, 03, 05, 06, 09, 13, y 15. La aleación K es la elección normal cuando se requiere una banda autocompensada en temperatura que tenga capacidades medioambientales y características de funcionamiento no accesibles en bandas de aleación A.

Debido a la dificultad de soldar directamente sobre la aleación K, lo que antiguamente se ofrecía como una opción, es ahora una característica de todas las bandas sin encapsulación de esta aleación, y es el hecho de incorporar un área o punto de cobre sobre los terminales (DP o DD respectivamente), dependiendo del área disponible.

4.2.2. Materiales de protección

La construcción de bandas extensométricas de hojuela convencional envuelve un modelo de hojuela de metal fotograbada al agua fuerte montado en un apoyo o portador de plástico. La protección es útil en variadas funciones importantes:

- Provee la manera de manejar el modelo de hojuela durante la instalación.
- Presenta una superficie de vínculo para adherir fácilmente la banda al espécimen a ensayar.
- Provee aislamiento eléctrico entre la hojuela de metal y el objeto a ensayar.

Los materiales de protección suministrados en bandas extensométricas son básicamente de dos tipos: poliamida y epoxi-fenólico de fibra de vidrio reforzada. Como en el caso de la aleación sensible a deformación, la protección no es completa e independientemente un parámetro especificable. Ciertas combinaciones de protección y aleación, junto con artículos de construcción especial, se diseñan como sistemas, y se dan designaciones de serie de banda. Como resultado, cuando se llega al tipo de banda óptima para una aplicación particular, el proceso no permite la combinación arbitraria de una aleación y un material de protección, pero requiere la especificación de una serie de banda disponible. Cada serie tiene sus propias características y áreas preferentes de aplicación; y las recomendaciones de selección se dan en la tabla de la página 7. Los materiales de protección individuales se discuten aquí, como se hizo en las aleaciones en la sección anterior, para entender las propiedades de la serie en la cual concurren aleaciones y materiales de protección.

La protección de poliamida E, es un portador resistente y extremadamente flexible, y puede ser contorneada efectivamente para adaptarse a radios pequeños. Además, la alta resistencia de la cubierta de la hojuela en la protección de poliamida hace a las bandas de poliamida reforzada menos sensibles a daños mecánicos durante la instalación. Con su facilidad de manejo y su idoneidad para el uso bajo el rango de temperatura de -320° a $+350^{\circ}\text{F}$ (-195° a $+175^{\circ}\text{F}$), poliamida es un material de protección ideal para análisis de esfuerzo para medir deformaciones plásticas superior al 20%.

Para el desarrollo destacado sobre el más ancho rango de temperaturas, el material de protección epoxi-fenólico de fibra de vidrio reforzado es la elección más apropiada. Esta protección se puede usar para medida de deformación estática y dinámica desde -452° a 550°F (-269° a 290°C). En aplicaciones a corto plazo, el límite de temperatura superior se puede

extender a un valor tan alto como +750°F (+400°C). La elongación máxima de este material portador está limitada, sin embargo, alrededor del 1 al 2%.

4.2.3. Series de Bandas

Como se dijo en las secciones anteriores, la aleación sensible a deformación y el material de protección no están sujetos a aleación completamente independiente y a combinación arbitraria. En cambio se debe hacer una selección de entre los sistemas de extensómetros disponibles, o series donde cada serie generalmente incorpora diseño o características de construcción especiales, tan bien como una combinación específica de aleación y de material de protección. Por conveniencia en la identificación de la serie de extensómetro apropiado para encontrar requerimientos de ensayo especificados, la información en el desarrollo de series de bandas y la selección se presenta aquí, de forma condensada en dos tablas.

La tabla de la página siguiente describe concisamente, a modo de ejemplo, todas las series de bandas extensométricas de carácter general de Micro-Measurements –incluyendo en cada caso la combinación de aleación y de protección y las principales características de construcción. Esta tabla define el funcionamiento de cada serie en términos de rango de temperatura de operación, rango de deformación, y resistencia cíclica como una función del nivel de deformación. Cabe señalar, sin embargo, que los datos de funcionamiento son nominales, y aplicados fundamentalmente a bandas de 0.125 in (3 mm) o bandas de longitud mayor.

Tabla de selección de Series de Bandas Extensométricas Estándar

SERIE DE BANDA	DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN PRIMARIA	RANGO DE TEMPERATURA	RANGO DE DEFORMACIÓN	VIDA A FATIGA	
				Nivel de def. en $\mu\epsilon$	Número de ciclos
EA	Hojuela constantan en combinación con una protección flexible, resistente de poliamida. Amplio rango disponible de opciones. Destinado a análisis tensional estático y dinámico de propósito general. No recomendado para los transductores de más alta precisión.	Normal: -100° a +300°F (-75° a +175°C) Especial o a corto plazo: -320° a +400°F (-195° a +205°C)	±3% para longs. de banda por debajo de 1/8in (3.2 mm) ±5% para 1/8 in y por encima	±1800 ±1500 ±1200	10 ⁵ 10 ⁶ 10 ⁸
CEA	Bandas extensométricas de propósito general universal. Red de constantan completamente encapsulada en poliamida, con lengüetas robustas, largas, revestidas de cobre. Usadas para análisis tensional estático y dinámico de propósito general. Las bandas tipo "C" son especialmente importantes en todas las listas del Catálogo 500.	Normal: -100° a +300°F (-75° a +175°C) Rosetones apilados limitados a +150°F (+65°C)	±3% para longs. de banda por debajo de 1/8in (3.2 mm) ±5% para 1/8 in y por encima	±1500 ±1500	10 ⁵ 10 ^{6*}
				*vida a fatiga aumentada usando soldador de bajo módulo.	
N2A	Bandas de red constantan de cara abierta con una protección delgada, laminada, de película de poliamida. Recomendada para uso en transductores de precisión, la serie 2-A se caracteriza por funcionamiento gradual bajo y repetible. Recomendado para modelos de bandas grandes en aplicaciones de análisis tensional, donde la matriz horizontal aligera la instalación de banda.	Servicio de transductor estático normal: -100° a 200°F (-75° a +95°C)	±3%	±1500 ±1700	10 ⁶ 10 ⁷
WA	Bandas de constantan encapsuladas totalmente con conductores de alta resistencia. Útiles sobre rangos de temperatura más anchos y ambientes más extremos que en la serie EA. Opción W disponible en algunos artículos, pero restricciones en la vida a fatiga más amplias.	Normal: -100° a +400°F (-75° a +205°C) Especial o a corto plazo: -320° a +500°F (-195° a +260°C)	±2%	±2000 ±1800 ±1500	10 ⁵ 10 ⁶ 10 ⁷
SA	Bandas de constantan encapsuladas totalmente con soldadura por puntos. Misma matriz que en la serie WA. Mismos usos que en la serie WA pero reducidos en parte en la temperatura máxima y en el ambiente de operación a causa de la soldadura por puntos.	Normal: -100° a +400°F (-75° a +205°C) Especial o a corto plazo: -320° a +450°F (-195° a +230°C)	±2%	±1800 ±1500	10 ⁶ 10 ⁷
EP	Red de constantan recocido especialmente con protección resistente, de alta elongación y de poliamida. Usado fundamentalmente para medidas de grandes deformaciones post-producidas. Disponible con las opciones E, L, y LE (puede restringirse la capacidad de elongación).	-100 a +400°F (-75° a +205°C)	±10% para longs. de banda por debajo de 1/8in (3.2 mm) ±20% para 1/8 in y por encima	±1000	10 ⁴
				Las bandas EP muestran cambio nulo bajo altas deformaciones cíclicas.	
ED	Red isoelástica en combinación con película de poliamida, flexible y resistente. Alto factor de banda y vida a fatiga excelente para medidas dinámicas. No usada normalmente en medidas estáticas debido a características de salida térmica muy altas.	Dinámico: -320 a +400°F (-195° a +205°C)	±2% No lineal a niveles de deformación por encima de ±0.5%	±2500 ±2200	10 ⁶ 10 ⁷
WD	Bandas isoelásticas encapsuladas totalmente con conductores de alta resistencia. Usado en aplicaciones de medida de deformación dinámica de ancho rango en ambientes severos.	Dinámico: -320 a +500°F (-195° a +260°C)	±1.5% no lineal a niveles de deformación por encima de ±0.5%	±3000 ±2500 ±2200	10 ⁵ 10 ⁷ 10 ⁸
SD	Equivalente a la serie WD, pero con soldadura por puntos en lugar de conductores.	Dinámico: -320 a +400°F (-195° a +205°C)	±1.5% ver nota superior	±2500 ±2200	10 ⁶ 10 ⁷
EK	Red de aleación K en combinación con una protección de poliamida, flexible y resistente. Usada fundamentalmente donde se requiere una combinación de resistencias de red elevadas, estabilidad y temperatura elevada.	Normal: -320° a +350°F (-195° a +175°C) Especial o a corto plazo: -452° a +400°F (-269° a +205°C)	±1.5%	±1800	10 ⁷

WK	Bandas de aleación K totalmente encapsuladas con conductores de alta resistencia. Rango de temperatura más ancho y capacidad ambiental más extrema que cualquier banda de propósito general cuando se requiere autocompensación de temperatura. Opción W disponible en algunos artículos, pero restringe tanto la vida a fatiga como la temperatura de operación máxima.	Normal: -452° a +550°F (-269° a +290°C) Especial o a corto plazo: -452° a +750°F (-269° a +400 °C)	±1.5%	±2400 ±2200 ±2000	10 ⁶ 10 ⁷ 10 ⁸
SK	Bandas de aleación K totalmente encapsuladas con soldadura por puntos. Mismos usos que la serie WK, pero reducidos en la temperatura máxima y en el ambiente de operación a causa de la soldadura por puntos.	Normal: -452° a +450°F (-269° a +230°C) Especial o a corto plazo: -452° a +500°F (-269° a +260 °C)	±1.5%	±2200 ±2000	10 ⁶ 10 ⁷
S2K	Red de aleación K laminada a protección gruesa de poliamida de alta resistencia de 0.001 in (0.025 mm), con una poliamida laminada, la red y las lengüetas cubren el encapsulado totalmente recubierto. Provisto de gran cojinete soldado para facilitar la adhesión de los conductores.	Normal: -100° a +250°F (-75° a +120°C) Especial o a corto plazo: -300° a +300°F (-185° a +150 °C)	±1.5%	±1800 ±1500	10 ⁶ 10 ⁷

Los datos de funcionamiento dados aquí son nominales, y se aplican a bandas de 3 mm de longitud o mayores.

Tabla de Selección de las Bandas Extensométricas y los Adhesivos

TIPO DE ENSAYO Ó APLICACIÓN	RANGO DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN	DURACIÓN DEL ENSAYO EN HORAS	PRECISIÓN REQUERIDA **	RESIST. CÍCLICA REQUERIDA		SELECCIÓN TÍPICA	
				Def. máx, $\mu\epsilon$	Nº de ciclos	Serie de banda	Adhesivo de unión M
ANÁLISIS TENSIONAL ESTÁTICO GENERAL Ó ESTÁTICO-DINÁMICO *	-50° a +150°F (-45° a +65°C)	<10 ⁴	Moderada	±1300	<10 ⁶	CEA, EA	200 o AE-10
		>10 ⁴	Moderada	±1300	<10 ⁶	CEA, EA	AE-10 o AE-15
		>10 ⁴	Muy alta	±1600	>10 ⁶	WA, SA	AE-15 o 610
		>10 ⁴	Alta	±2000	>10 ⁶	WK, SK	AE-15 o 610
	-50° a +400°F (-45° a +205°C)	<10 ³	Moderada	±1600	<10 ⁶	WA, SA	600 o 610
		>10 ³	Alta	±2000	<10 ⁶	WK, SK	600 o 610
	-452° a +450°F (-269° a +230°C)	>10 ³	Moderada	±2000	>10 ⁶	WK, SK	610
	<600°F (<315°C)	<10 ²	Moderada	±1800	<10 ⁶	WK	610
<700°F (<370°C)	<10	Moderada	±1500	<10 ⁶	WK	610	
ALTA-ELONGACIÓN (POS-PRODUCIDA)	-50° a +150°F (-45° a +65°C)	<10	Moderada	±50 000	1	CEA, EA	AE-10
		>10 ³	Moderada	±100 000	1	EP	AE-15
		>10 ³	Moderada	±200 000	1	EP	A-12
	-0° a +500°F (-20° a +260°C)	<10 ²	Moderada	±15 000	1	SA, SK, WA, WK	610
-452° a +500°F (-269° a +260°C)	<10 ³	Moderada	±10 000	1	WK, SK	600 o 610	
ANÁLISIS TENSIONAL (CÍCLICO) DINÁMICO	-100° a +150°F (-75° a +65°C)	<10 ⁴	Moderada	± 2000	10 ⁷	ED	200 o AE-10
		<10 ⁴	Moderada	± 2400	10 ⁷	WD	AE-10 o AE-15
	-320° a +500°F (-195° a +260°C)	<10 ⁴	Moderada	± 2000	10 ⁷	WD	600 o 610
		<10 ⁴	Moderada	± 2300	<10 ⁵	WD	600 o 610
BANDA TRANSDUCTOR	-50° a +150°F (-45° a +65°C)	<10 ⁴	Del 1 al 5%	± 1300	<10 ⁶	CEA, EA	AE-10 o AE-15
		<10 ⁶	Del 1 al 5%	± 1300	<10 ⁶	CEA	AE-15
	-50° a +200°F (-45° a +95°C)	<10 ⁴	Superior a .2%	± 1500	10 ⁶	N2A	600, 610 o 43-B
	-50° a +300°F (-45° a +150°C)	<10 ⁴	Del .2 al .5%	± 1600	10 ⁶	WA, SA	610
	-320° a +350°F (-195° a +175°C)	<10 ⁴	Superior a .5%	± 1300	10 ⁶	WK, SK	610

* Esta categoría incluye la mayoría de situaciones de ensayo donde se requiere algún grado de estabilidad bajo condiciones de carga estáticas. Para bandas de constantan de estabilidad absoluta bajo largos periodos de uso y temperaturas por encima de +150 ° F (65 ° C), puede ser necesario emplear configuraciones de medio puente o de puente completo. Revestimientos de protección puede tener influencia en la estabilidad en casos en otras aplicaciones de transducción, donde el elemento está herméticamente sellado.

** Es inapropiado cuantificar precisión como se usa en esta tabla sin considerar varios aspectos del programa de ensayo actual y la instrumentación usado. En general, “moderado” para propósito de análisis tensional está en el rango del 2 al 5%, “alto” en el rango del 1 al 3% y muy alto del 1% o mejor.

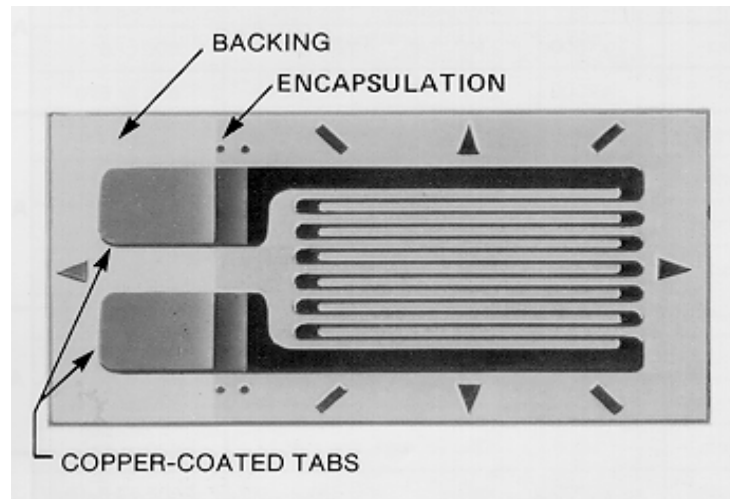
La tabla superior recomienda la serie de bandas para “perfiles” de ensayo específicos, o conjuntos de requerimientos de ensayo, categorizados por los siguientes criterios:

- Tipo de medida de deformación (estático, dinámico, etc.)
- Temperatura de operación de la instalación.
- Duración del ensayo
- Precisión requerida
- Resistencia cíclica requerida

Esta tabla provee los medios básicos para la selección preliminar de las series de bandas extensométricas para la mayor parte de aplicaciones convencionales. Además, incluye recomendaciones para adhesivo, ya que el adhesivo en la instalación de una banda extensométrica se convierte en parte del sistema, y afecta correspondientemente al funcionamiento de la banda. Esta tabla de selección, suplementada por la información en la tabla de la página 7, se usa conjuntamente con el catálogo 500, *Bandas Extensométricas de Precisión (Precision Strain Gages)* para conseguir la completa selección de la banda.

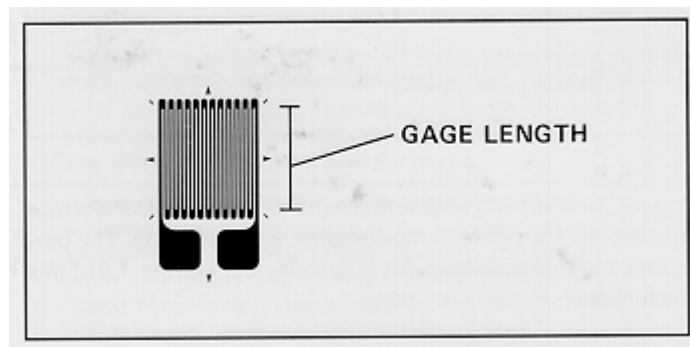
Cuando se descubre que el perfil de ensayo va más allá de los rangos especificados en la tabla superior, se puede asumir que los requerimientos de ensayo se acercan o exceden las limitaciones de funcionamiento de los bandas extensométricas disponibles. Bajo estas condiciones, las interacciones entre las características en el funcionamiento de la banda se hacen demasiado complejas para ser presentadas en una simple tabla.

Como se indica en la tabla anterior, la serie CEA es usualmente la elección preferida para situaciones de medida rutinaria de deformación, no requiriendo extremos en capacidades de funcionamiento o medioambientales (y no requiriendo extremos las más pequeñas longitudes de banda, o configuraciones de red especializadas). Las bandas extensométricas de la serie CEA son bandas de aleación A de poliamida-encapsulada, con lengüetas (recubiertas de cobre), largas, robustas y recubiertas de cobre para aligerar en los conductores soldados directamente a la banda (fotografía inferior). Estas bandas delgadas y flexibles se pueden adaptar a casi cualquier radio. En características globales de manejo, por ejemplo, conveniencia, resistencia a daños, en el manejo, etc. , las bandas extensométricas de la serie CEA son excepcionales.



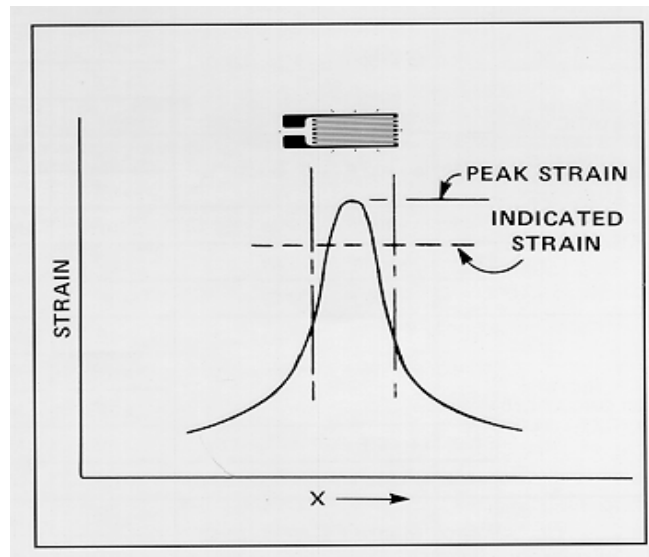
4.2.4. Longitud de la Banda

La longitud de una banda extensométrica es la longitud activa o sensible a deformación de la red, como se muestra encima. Las presillas y las lengüetas soldadas se consideran insensibles a la deformación a causa de su área transversal relativamente grande y a su baja resistencia eléctrica. Para satisfacer ampliamente las necesidades de variación del análisis tensional experimental y las aplicaciones del transductor, se ofrecen longitudes de banda en un rango desde 0.008 in (0.2 mm) a 4 in (100 mm).



La longitud de banda es con frecuencia un factor muy importante en la determinación del funcionamiento del extensómetro bajo un conjunto de circunstancias dado. Por ejemplo, las medidas de deformación normalmente se hacen en los puntos más críticos en una parte de una máquina o estructura –esto es, en los puntos con mayores esfuerzos. Y, muy comúnmente, los puntos altamente cargados se asocian con concentraciones de esfuerzos, donde el gradiente de deformación es bastante abrupto y el área de máxima deformación está restringido a una región muy pequeña. El extensómetro tiende a integrar, o a promediar, la deformación sobre el área cubierta por la red. Puesto que la medida de cualquier distribución de deformación no uniforme es siempre menor que el máximo, una banda extensométrica el cual sea notablemente

más largo que la región de deformación máxima, indicará una magnitud de deformación que es demasiado baja. El croquis inferior ilustra una distribución de deformación representativa en la vecindad de una concentración de esfuerzo, y demuestra el error en la deformación indicado por una banda que es demasiado larga con respecto a la zona de deformación máxima.



Como regla basada en la experiencia, cuando se pueda, la longitud de banda no debería ser superior a 0.1 veces el radio de una cavidad, filete o muesca, o la correspondiente dimensión de cualquier otro que aumente el esfuerzo en el cual se va a realizar la medida de deformación. Con configuraciones que aumentan el esfuerzo que tengan una dimensión significativa menor que 0.5 in (13 mm), esta regla puede llevarnos a longitudes de banda muy pequeñas. Es con frecuencia necesario comprometerse porque el uso de una banda extensométrica pequeño puede introducir otros problemas.

Las bandas extensométricas de longitud de banda menor de aproximadamente 0.125 in (3mm) tienden a exhibir un funcionamiento degradado –particularmente en términos de la elongación máxima permitida, la estabilidad bajo esfuerzo estático, y la resistencia cuando estén sujetos a deformación cíclica alternante. Cuando una de estas consideraciones valen más que la imprecisión debida a al promediado de deformación, se puede requerir una banda mayor.

Cuando se puedan utilizar las bandas mayores, ofrecen varias ventajas que merece la pena describir. Ellas son normalmente más fáciles de manejar que (en longitudes de banda hasta 0.5 in o 13 mm) en aproximadamente cada aspecto de la instalación y en el proceso de cableado que miniaturiza las bandas. Además, las bandas grandes proveen disipación de calor aumentada porque introducen, para la misma resistencia de banda nominal, menor potencia por unidad de área de red. Esta consideración puede ser muy importante cuando la banda se instala en un plástico y otro substrato con pobres propiedades de transformación de calor. Disipación

de calor inadecuada causa altas temperaturas en la red, en la protección, en el adhesivo, y en la superficie del ejemplar a ensayar, y puede afectar notablemente al funcionamiento y a la precisión de la banda.

Otra aplicación de grandes bandas extensométricas –en este caso, con frecuencia muy grandes –se encuentra en la medida de deformación de materiales no homogéneos. En concreto, por ejemplo, consideramos aquel que es una mezcla de agregado (normalmente piedra) y cemento. Cuando se miden deformaciones en una estructura concreta es deseable usar una banda extensométrica de longitud de banda suficiente para extenderse por varias piezas de agregado en orden a medir la deformación representativa de la estructura. En otras palabras, es normalmente la deformación media la que se pretende en tales ejemplos, no las fluctuaciones locales severas en deformación que ocurren en las interfases entre las partículas de agregado y el cemento. En general, cuando se miden deformaciones en estructuras hechas de materiales compuestos de cualquier tipo, la longitud de banda debería ser normalmente grande con respecto a las dimensiones de las heterogeneidades del material.

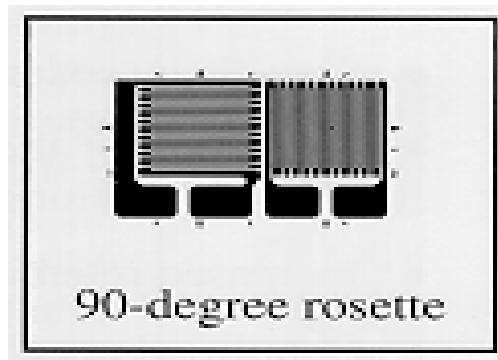
Como una guía aplicable en general, cuando las consideraciones anteriores no mandan de otra manera, las longitudes de banda en el rango de 0.125 a .25 in (*3 a 6 mm*) son preferibles. La mayor selección de formas de banda y existencias (stock) de bandas está disponible en este rango de longitudes. Además, modelos mayores o menores generalmente cuestan más, y bandas más grandes evidentemente no mejoran la vida a fatiga, la estabilidad o la elongación, mientras que bandas menores son inferiores en estas características.

4.2.5. Forma de la banda

El diseño de banda cumulativamente a la forma de la red, el número y orientación de las redes en una banda multired, la configuración de la lengüeta soldada, y varios artículos de construcción que son modelo para un diseño particular. La extensa variedad de modelos en la lista se diseñan para satisfacer el rango completo de los requerimientos de instalación normal de las bandas y de medidas extensométricas.

Con bandas una sola rejilla, el modelo más adecuado para una aplicación en particular depende fundamentalmente de lo siguiente:

Lengüetas soldadas –Estas deberían, por supuesto, ser compatibles en dimensiones y orientación con el espacio disponible en el lugar de la instalación de la banda. Además es importante que el ajuste de la lengüeta sea tal que no imponga la habilidad del instalador en conseguir conexiones de los conductores apropiados.



Ancho de red –Cuando existen gradientes severos de deformación perpendiculares al eje de la banda en la superficie del espécimen a ensayar, una red estrecha minimizará el error de promediado. Redes más anchas, cuando sean apropiadas y estén disponibles en el lugar de la instalación, mejorarán la disipación de calor y aumentarán la estabilidad de la banda – particularmente cuando ésta sea instalada en un material o espécimen con propiedades pobres de transferencia de calor.

Resistencia de banda –En ciertas ocasiones, la única diferencia entre dos diseños de banda disponibles en las mismas series es la resistencia de red –típicamente 120Ω vs. 350Ω . Cuando la elección existe, la banda de mayor resistencia es preferible ya que reduce el coeficiente de generación de calor por un factor de tres (para el mismo voltaje aplicado a través de la banda). La resistencia de banda mayor, además, tiene la ventaja de disminuir los efectos de conducción al igual que los de sensibilidad debido a la resistencia de conducción, y las variaciones de señal no deseadas causadas por cambios en la resistencia de conducción con fluctuaciones de temperatura. De forma similar, cuando el circuito de banda incluye cambios, anillos de deslizamiento, u otras fuentes de cambio aleatorio de resistencia, la relación señal-ruido se aumenta con bandas de resistencia mayores operando al mismo nivel de energía.

En análisis experimental de tensiones, se emplearán las bandas unidireccionales únicamente cuando se conozca el estado de tensiones en el punto de medida, siendo éste uniaxial, y se conozcan, con una aceptable precisión ($\pm 5\%$), las direcciones principales.

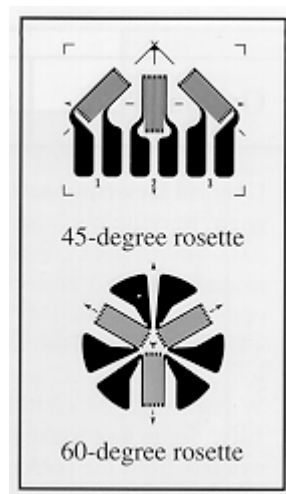
Estas exigencias limitan severamente la aplicabilidad con sentido de las bandas unired en el análisis de esfuerzos, y el fallo al considerar biaxialidad del estado tensional puede llevarnos a grandes errores en la magnitud del esfuerzo deducidos de medidas hechas con una banda unidireccional.

Para un estado biaxial de esfuerzo –un caso común que necesita medida de deformación – un rosetón de dos o tres elemntos- se requiere para determinar los esfuerzos principales.

Cuando las direcciones de los ejes principales se conocen con profundidad, un rosetón de dos elementos y 90 grados (o “T”) se puede emplear con los ejes de la banda alineados para coincidir con los ejes principales.

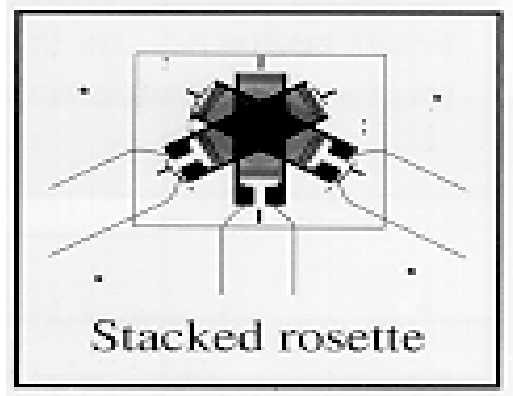
Las direcciones de los ejes principales se pueden determinar, a veces, con suficiente precisión de una de varias consideraciones. Por ejemplo, la forma del objeto a ensayar y el modo de carga puede ser tal que las direcciones de los ejes principales sean obvios desde la simetría de la situación, como en un recipiente cilíndrico de presión. Los ejes principales se pueden definir por los ensayos de PhotoStress®.

En el caso más general de esfuerzos superficiales, cuando las direcciones de los ejes principales no se conocen de otras consideraciones, se debe usar un rosetón de tres elementos para obtener las magnitudes del esfuerzo principal. El rosetón se puede instalar con cualquier orientación, pero se monta normalmente de forma que una de las redes esté alineado con algún eje significativo del objeto a ensayar. Los rosetones de tres elementos están disponibles en ambas configuraciones de 45 grados rectangular y 60 grados delta. La elección normal es el rosetón rectangular ya que la tarea de reducción de datos es de alguna manera más simple para esta configuración.



Cuando se va emplear un rosetón, se deberá tener siempre consideración en la diferencia de características entre rosetones de plano único o superpuestos. Para cualquier longitud de banda dada, el rosetón de plano único es superior al que está superpuesto en términos de transferencia de calor con el espécimen a ensayar, generalmente consiguiendo mejor estabilidad y precisión para medidas de deformación estática. Además cuando hay un gradiente de deformación significativo perpendicular a la superficie de ensayo (como en curva), el rosetón de plano único producirá datos de deformación más precisos porque todas las redes están tan cerca como es posible a la superficie de ensayo. Otra consideración es que los rosetones superpuestos son generalmente menos adaptables en superficies de nivel los rosetones de plano único.

Por otro lado, cuando hay grandes gradientes de deformación en el plano de la superficie de ensayo, como es el caso con frecuencia, el rosetón de plano único puede producir errores en la indicación de la deformación porque las redes muestran la deformación en puntos diferentes. Para estas aplicaciones el rosetón superpuesto es preferible. Este último tipo de rosetón es ventajoso cuando el espacio para montar el rosetón es limitado.



4.2.6. Características opcionales

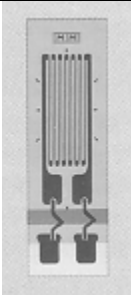
Se ofrecen una selección de artículos opcionales para las bandas extensométricas y sensores especiales. La adición de opciones a la construcción básica de la banda normalmente aumenta el coste, pero este es generalmente compensado con los beneficios. Son ejemplos:

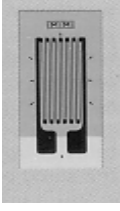
- Reducción significativa del tiempo y costes de instalación
- Reducción del nivel de destreza necesario para conseguir instalaciones seguras
- Aumento de seguridad de las aplicaciones
- Instalación simplificada de sensores situados en lugares difíciles en los componentes o en el campo
- Aumento de la protección, tanto en el manejo durante la instalación como de la protección del medio ambiente del ensayo
- Realización de las características especiales de funcionamiento


La muestra ofrecida a continuación es un resumen de los posibles artículos opcionales ofrecidos.

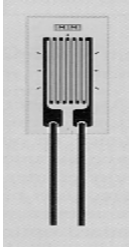
Opciones del catálogo estándar

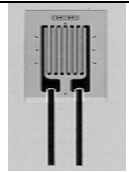
OPCIÓN	BREVE DESCRIPCIÓN
W	Terminales integrales y encapsulado
E	Encapsulado con lengüetas al descubierto
SE	Soldadura por puntos y encapsulado
L	Conductores preadheridos
LE	Conductores preadheridos y encapsulado
P	Cable Preinstalado y Encapsulación
P22	Cable Preinstalado en la Serie CEA

<p>Opción W</p>	<p>Disponibilidad de series: EA, EP, WA, ED, WD, EK, WK</p>	
<p>Descripción general: Esta opción provee de encapsulado, y de terminales delgados de circuito e impresos en el extremo de la lengüeta de la banda. Hilos de cierre de cobre y berilio conectan los terminales a las lengüetas de la banda. Los terminales son de 1.4 mils [0.0014 in (0.036 mm)] de grosor de cobre con protección de poliamida de 1.5 mils [0.0015 in (0.038 mm)] de grosor. Las bandas de la opción W son robustas y están bien protegidas, y permiten la adhesión directa de conductores más largos que pueden estar instalados con bandas de cara abierta. Esta opción es fundamentalmente usada en bandas de la serie EA para aplicaciones de propósito general. Soldadura: Uniones de soldadura de aleación de estaño y plata a +430°F (+220°C) en bandas de protección E, uniones de soldadura de aleación de estaño, plata y conductor a +570°F (+330°C) en bandas de protección W. Límite de temperatura: +400°F (+200°C) para bandas de protección E, +500°F (+260°C) para bandas de protección W. Protección de red: la red completa y una parte de los terminales están encapsulados con poliamida. Vida a fatiga: Pérdida de vida afatiga a menos que los niveles de deformación en la situación del terminal sean por debajo de $\pm 1000 \mu\epsilon$. Dimensiones: Prolongaciones de la opción W desde el final de la lengüeta soldada de las bandas y aumento, de ese modo, del tamaño de la banda. Con algunos artículos, el ancho es ligeramente mayor. Rango de deformación: Con algunas series de banda, notablemente la serie de protección E, el rango de deformación se verá reducido. Este efecto es mayor con las bandas EP, y la opción W debería ser eludida con ellos si fuera posible. Flexibilidad: La opción W añade encapsulado, haciendo que las bandas sean ligeramente más gruesas y más rígidas. La adaptación a superficies curvas será reducida, de algún modo. En el área del terminal, la rigidez se aumenta pronunciadamente. Tolerancia a resistencia: En bandas de protección E, la tolerancia a resistencia se dobla.</p>		

<p>Opción E</p>	<p>Disponibilidad de series: EA, ED, EK, EP</p>	
<p>Descripción general: La opción E consiste en un encapsulado protector de película de poliamida de 1 mil [0.001 in (0.025 mm)] de grosor. Esto provee rigidez y una protección de red excelente, con poco sacrificio en flexibilidad. La soldadura está simplificada ya que esta previene del pequeño valor de la lengüeta de la banda que está deliberadamente expuesta a la unión de conductores. La opción E protege la red de las huellas dactilares y otros agentes contaminantes durante la instalación, por lo que contribuye a la estabilidad de la banda a largo plazo. Conductores más pesados pueden ser unidos directamente a las lengüetas de la banda para ensayos simples de carga estática. Envolturas de protección suplementaria se deberían aplicar después de la unión de conductores en la mayoría de los casos. Límite de temperatura: No se degrada. Protección de red: La red completa y parte de las lengüetas van encapsuladas. Vida a fatiga: Cuando se les ponen los cables a las bandas con pequeños saltadores, se obtiene fácilmente máxima resistencia. Dimensiones: El tamaño de banda no afecta. Rango de deformación: el rango de deformación de las bandas se reduce debido a que el refuerzo adicional del encapsulado de poliamida puede causar fallo de unión antes de que la banda alcance su capacidad de total de deformación. Flexibilidad: las bandas de la opción F son casi tan adaptables a superficies curvas como las bandas de cara abierta, ya que los conductores internos están presentes en el momento de la instalación. Tolerancia a resistencia: la tolerancia a resistencia se duplica cuando se elige la opción E.</p>		

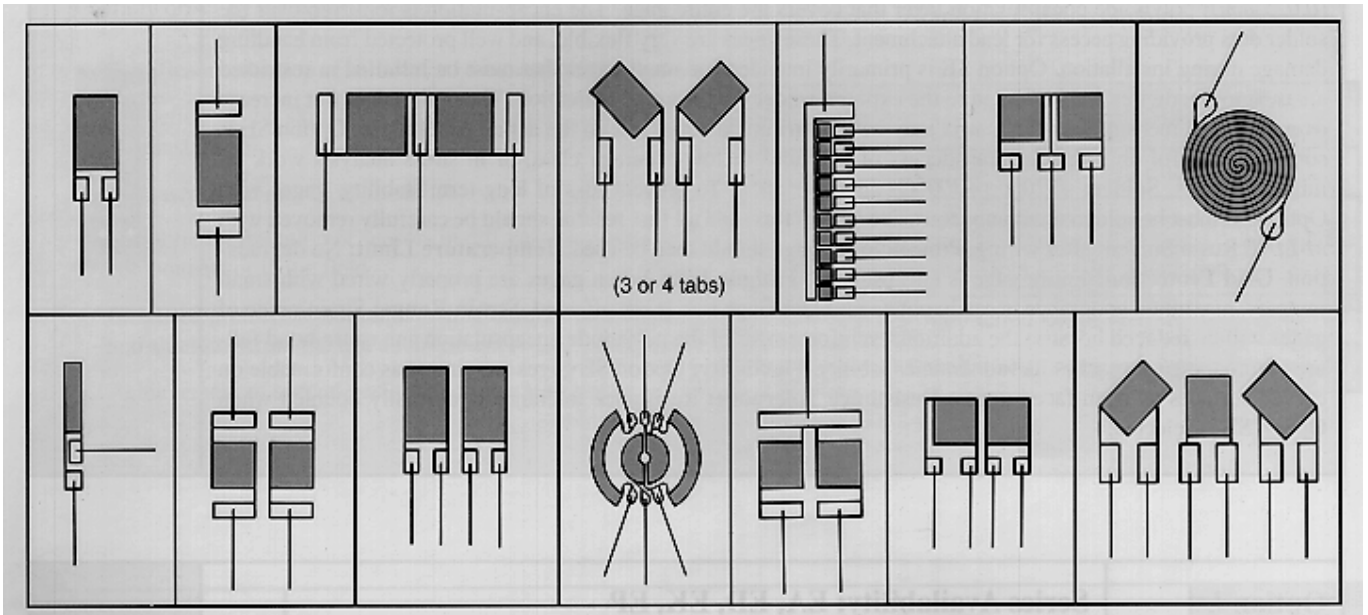
<p>Opción SE</p>	<p>Disponibilidad de series: EA, ED, EK, EP</p>	
<p>Descripción general: La opción SE es la combinación de soldadura por puntos en las lengüetas de la banda con una capa de encapsulado de poliamida de 1 mil [0.001 in (0.025 mm)] que cubre la banda completa. El encapsulado está separado de las soldaduras por puntos dando acceso a la unión de conductores. Estas bandas son muy flexibles, y están muy bien protegidas de daños de manipulación durante la instalación. La opción SE es para bandas pequeñas que deben ser instaladas en áreas restringidas, ya que los conductores pueden ser colocados a las soldaduras por puntos en cualquier dirección. La opción no aumenta las dimensiones globales de banda, ya que la matriz puede ser ajustada muy cerca al tamaño de artículo. La opción SE es a veces útil en transductores miniaturizados de clase media o baja en precisión, en el trabajo de análisis tensional en partes miniaturizadas. Soldadura: Aleación estaño-plata +570°F (+300°C). Para prevenir pérdidas de estabilidad a largo plazo, las bandas con la opción SE se deben soldar con flujo no corrosivo (colofonia), y todo el residuo del flujo debe ser eliminado con disolvente de colofonia M-LINE después del cableado. Se deben usar estructuras protectoras. Vida a fatiga: Cuando las bandas están propiamente cableadas con pequeños saltadores, la resistencia máxima es fácil de obtener. Dimensiones: el tamaño de banda no afecta. Rango de deformación: El rango de deformación de las bandas se reducirá porque el esfuerzo adicional de encapsulado de poliamida puede causar fallos de unión antes de que la banda alcance su capacidad de deformación total. Flexibilidad: Las bandas de la opción SE son casi tan adaptables en superficies curvas como en bandas de cara abierta. Tolerancia a resistencia: La tolerancia a resistencia se dobla cuando se selecciona la opción SE.</p>		

Opción L	Disponibilidad de series: EA, ED, EK, EP	
<p>Descripción general: La opción L es la suma de cintas de conducción de cobre blando y bandas de cara abierta con protección de poliamida. El uso de este tipo de cinta da como resultado una banda más delgada y más adaptable que es el caso con cables redondos de sección transversal equivalente. Al mismo tiempo, la cinta está diseñada de forma que funciona en cualquier dirección. Conductores: El tamaño de cinta nominal para la mayoría de bandas es 0.012 de ancho \times 0.004 in de grosor ($0.3 \times 0.1 \text{ mm}$). Los conductores son aproximadamente 0.8 in (20 mm) de longitud. Soldadura: aleación de estaño-plata a +530°F (+220 °C). Límite de temperatura: +400°F (+200°C). Vida a fatiga: La opción L se degrada ante fatiga. Esto ocurre fundamentalmente porque la cinta de cobre tiene resistencia cíclica limitada. Cuando sea posible conformar con cuidado los conductores para que no estén unidos en un campo de deformación elevado, la limitación de funcionamiento no se aplica. La opción L no se recomienda para bandas de muy elevada resistencia tales como las de la serie ED. Dimensiones: El tamaño de la matriz no cambia. Rango de deformación: El rango de deformación normalmente se reducirá por la adición de la opción L. Flexibilidad: Las bandas de la opción L no son tan adaptables como las bandas estándar. Tolerancia a resistencia: No se ve afectada.</p>		

Opción LE	Disponibilidad de series: EA, ED, EK, EP	
<p>Descripción general: Esta opción provee las mismas cintas de conductor de cable blando conformable usadas en la opción L, de 1 mil [0.001 in (0.025 mm)] de película de poliamida. La capa de encapsulado provee protección excelente para la banda durante la manipulación e instalación. Además contribuye a la protección medioambiental, aunque se recomiendan todavía envolturas suplementarias para el uso en el exterior. Las bandas con opción LE muestran mejor estabilidad a largo plazo que las de cara abierta, las cuales están protegidas acuáticamente sólo después de la instalación. La razón de esto es que la capa de encapsulado previene la contaminación de la superficie de la red de huellas dactilares u otros agentes durante la manipulación e instalación. La presencia de tales contaminantes causará pérdida en la estabilidad de la banda, incluso aunque la banda esté envuelta con posterioridad con componentes protectores. Conductores: El tamaño de cinta nominal par la mayoría de bandas es de 0.012 de ancho \times 0.004 in de ancho ($0.3 \times 0.1 \text{ mm}$) [cintas de cobre]. Los conductores son aproximadamente de 0.8 in (20 mm) de longitud. Soldadura: Aleación de estaño-plata a +430°F (+220°C). Límite de temperatura: +400°F (+200°C). Protección de red: La banda completa está encapsulada. Una pequeña extensión de la protección no cubre el extremo del conductor para evitar el contacto entre los conductores y la superficie del espécimen. Vida a fatiga: La opción LE se degrada a fatiga. Esto ocurre porque la cinta de cobre tiene resistencia cíclica limitada. La opción LE no se recomienda para bandas de muy elevada resistencia como lo es la serie ED. Dimensiones: El tamaño de la matriz no cambia. Rango de deformación: El rango de deformación se reduce con la adición de la opción LE. Flexibilidad: Las bandas de la opción LE no son tan adaptables como las estándar. Tolerancia a resistencia: la tolerancia a resistencia se dobla con la opción LE.</p>		

Orientación de los conductores para las opciones L y LE

Estas ilustraciones muestran la orientación estándar de los conductores relativa a la geometría de la banda para las opciones L y LE. La regla general es que los conductores están en paralelo a la dimensión más larga del modelo. Las ilustraciones, además, se pueden aplicar a la orientación de conductores para bandas de las series WA, WK y WD, cuando el modelo mostrado esté disponible en una de estas series.



2.7. Características de las opciones del Catálogo estándar en bandas de la serie EA

Como en otros aspectos de la selección de bandas extensométricas, la elección de opciones envuelve una variedad de compromisos. Por ejemplo, una opción que maximiza un parámetro de funcionamiento de banda particular tal como la vida a fatiga puede requerir al mismo tiempo mayor destreza en la instalación de la banda. A causa de las variadas interacciones entre los atributos de instalación y los parámetros de funcionamiento asociados con las opciones, las ventajas de todas las opciones estándar se resumen cualitativamente en el cuadro siguiente como una ayuda a la selección de opción. Por propósitos de comparación, las características correspondientes de la serie CEA se dan en la columna más a la derecha de la tabla.

Ya que, en medida de deformación para análisis tensional, las opciones estándar son con frecuencia aplicados a los bandas extensométricas de la serie EA, la información que se da en esta sección está dirigida hacia tales aplicaciones de opción.

Al contemplar la aplicación de una banda de la serie EA con una opción, la primera consideración debería ser si hay una banda de la serie CEA, se descubre que la última se

caracteriza por un menor coste, mayor flexibilidad y conformabilidad, y superior vida a fatiga. Las únicas ventajas posibles para la selección de la opción W son la mayor variedad de modelos disponibles y la necesidad ocasional para grandes terminales soldados.

Se debería destacar que muchos tipos de bandas extensométricas estándar, sin opciones, están normalmente disponibles en stock; mientras que bandas con opciones se fabrican por pedido, y esto puede envolver un requerimiento de pedido mínimo.

En la tabla inferior, los parámetros de funcionamiento respectivos para una banda de la serie EA de cara abierta sin opciones se les asigna arbitrariamente un valor de 5. Números mayores de 5 indican que un parámetro particular se mejora con la adición de la opción, mientras que números más pequeños indican una reducción en funcionamiento.

ATRIBUTO DE INSTALACIÓN O PARÁMETRO DE FUNCIONAMIENTO	OPCIONES ESTÁNDAR					SERIE CEA
	W	E	SE	L	LE	
Facilidad global en la instalación de banda	8	7	6	5	6	10
Facilidad en la adhesión del conductor	10	8	7	7	8	10
Protección de la red de ataque medioambiental	8	8	8	5	8	8
Resistencia a la deformación cíclica	2	7	8	3	4	4
Capacidad de elongación	2	3	3	4	3	3
Tolerancia a resistencia	3	3	3	5	3	3
Efectos de refuerzo	2	3	3	5	3	3

4.3. Procedimiento de selección de banda

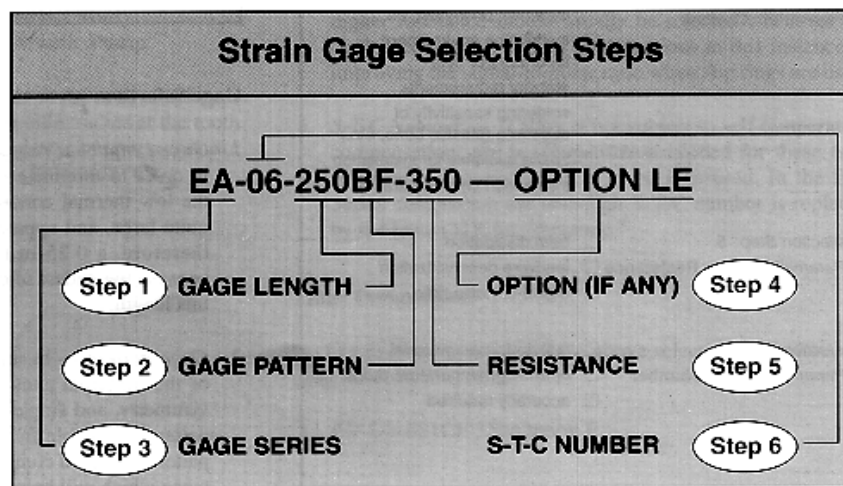
El funcionamiento de una banda extensométrica en cualquier aplicación dada se ve afectado por cada elemento en el diseño y manufactura de la banda. Se ofrece una gran variedad de tipos de banda para conseguir cubrir el rango más amplio de necesidades de medida de deformación. A pesar del gran número de variable envueltas, el proceso de selección de banda se puede reducir a sólo unos pocos pasos básicos. Del diagrama siguiente que explica el código de designación de banda, es evidente que hay cinco parámetros a seleccionar, sin contar las opciones. Estos son: la serie de banda, el número S-T-C, la longitud, el modelo y la resistencia de banda.

De los parámetros precedentes, la longitud y diseño de banda son normalmente la primera y segunda elecciones que se hacen, basados en el espacio disponible para montar la banda y la naturaleza del campo de tensiones en términos de biaxialidad y de gradiente de deformación esperado. Un buen punto de partida como consideración inicial de la longitud de banda es 0.125 in (*3 mm*). Este tamaño ofrece la mayor variedad de elecciones de las cuales seleccionar los parámetros de banda restantes tales como modelo, serie y resistencia. La banda y sus lengüetas soldadas son suficientemente grandes para un manejo e instalación relativamente fáciles. Al mismo tiempo, las bandas de esta longitud proveen capacidades de funcionamiento comparables a aquellas de bandas mayores.

La razón principal para seleccionar una banda más larga sería comúnmente una de las siguientes: (a) área de red mayor para mejorar la disipación de calor; (b) promediado de deformación mejorado en materiales heterogéneos tales como compuestos de fibra reforzada; o (c) manejo e instalación ligeramente más fácil [para longitudes de banda de hasta 0.5 in (*13 mm*)]. Por otro lado, una longitud de banda más corta puede ser necesaria cuando el objeto es para medir deformaciones máximas localizadas en la vecindad o de una concentración de tensión, tal como un orificio u hombro. Lo mismo ocurre cuando el espacio disponible para montar la banda está muy limitado.

Al seleccionar el modelo de banda, la primera consideración es si se requiere una banda de cara abierta. Las bandas de cara abierta están disponibles con diferentes radios (longitud-ancho) y varios ajustes de la lengüeta soldada por adaptabilidad con los diferentes requerimientos de instalación. Los rosetones de 90 grados y de dos elementos, cuando sea aplicable, se pueden seleccionar de un número de configuraciones de distintas red y lengüeta soldada. Con los rosetones de tres elementos (rectangular o delta), la primera elección en selección de modelo, una vez que se ha determinado la longitud de banda, es entre construcción planar y superpuesta.

Con una selección inicial de las dimensiones y modelo de la banda, el siguiente paso es seleccionar la serie de bandas determinando la combinación de hojuela y protección, y otras características comunes a la serie. Esto se efectúa refiriéndose a la tabla de la página 6, la cual da la serie de banda recomendada para “perfiles” de ensayo específicos, o conjuntos de requerimientos de ensayo. Si la serie de banda tiene aplicada una opción estándar, la opción debería ser especificada al mismo tiempo, ya que la disponibilidad de la opción deseada en el modelo de banda elegida en esa serie requiere verificación durante el procedimiento exterior al siguiente párrafo.



Después de seleccionar la serie de banda (y la opción si la hubiese), se hace de nuevo referencia al Catálogo para indicar la designación de la banda del tamaño y modelo de banda deseado en la serie recomendada. Si esta combinación no aparece como disponible en el catálogo, un modelo de banda similar en el mismo grupo de tamaño, o un tamaño ligeramente diferente en un modelo equivalente se puede seleccionar para encontrar los requerimientos de instalación y de ensayo. Es casos extremos, podría ser necesario seleccionar una serie alternativa y repetir este proceso. Bastante frecuentemente, y de forma especial para medida de deformación rutinaria, más de una combinación de modelo y tamaño de banda será adaptable para las condiciones de ensayo especificadas. En estos casos, es acertado seleccionar una banda de Super Stock Listings para eliminar la probabilidad de demasiado tiempo o requerimiento de pedido mínimo.

Como se explica en la discusión de modelo de banda de la página 8, hay ventajas para seleccionar la resistencia de 350 Ω si esta resistencia es compatible con la instrumentación que se va a usar. Esta decisión puede estar influenciada, sin embargo, por consideraciones de coste, particularmente en el caso de bandas muy pequeñas. La reducción en la vida a fatiga se puede esperar para pequeñas bandas de elevada resistencia. Finalmente,

indicando la designación de banda completa, el número S-T-C sería insertado de la lista de números disponibles para cada aleación dados en la página 5, del Catálogo 500.

Esto completa el procedimiento de selección de banda. En cada paso del procedimiento, nos podemos referir a la Lista de selección de bandas extensométricas de la página como una ayuda al tomar en cuenta las consideraciones y los requerimientos de ensayo que pueden afectar a la selección.

4.4. Lista de comprobación en la selección de bandas extensométricas

Esta lista provee medios rápidos y convenientes para ayudar a hacer cierto que el requerimiento no crítico del perfil de ensayo, el cual no pudo afectar a la selección de banda, se ha pasado por alto. Debería tenerse en mente al usar la Lista de comprobación que las “consideraciones” en lista se aplican a situaciones de análisis tensional convenientes y rutinarias, y no incluye aplicaciones exóticas que envuelven radiación nuclear, campos magnéticos intensos, fuerzas centrífugas extremas, etc...

CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DE PARÁMETRO

Paso 1 de selección:

Parámetro: Longitud de banda

- gradientes de deformación
- área de deformación máxima
- precisión requerida
- estabilidad de deformación estática
- elongación máxima
- resistencia cíclica
- disipación térmica
- espacio para la instalación
- facilidad de instalación

Paso 2 de selección:

Parámetro: Modelo de banda

- gradientes de deformación (planos y normales a la superficie)
- biaxialidad de esfuerzo
- disipación térmica

- espacio para instalación
- facilidad de instalación
- disponibilidad de resistencia de banda

Paso 3 de selección:

Parámetro: Serie de banda

- tipo de aplicación de medida de deformación (estática, dinámica, postproducida, etc.)
- temperatura de operación
- duración del ensayo
- resistencia cíclica
- precisión requerida
- facilidad de instalación

Paso 4 de selección:

Parámetro: Opciones

- tipo de medida (estática, dinámica, postproducida, etc.)
- instalación de laboratorio al medio ambiente
- requerimientos de estabilidad
- sensibilidad a la soldadura del sustrato (plástico, hueso, etc...)
- espacio disponible para la instalación
- restricciones de tiempo de instalación

Paso 5 de selección:

Parámetro: Resistencia de banda

- disipación térmica
- insensibilización del conductor
- relación señal-ruido

Paso 6 de selección:

Parámetro: Número S-T-C

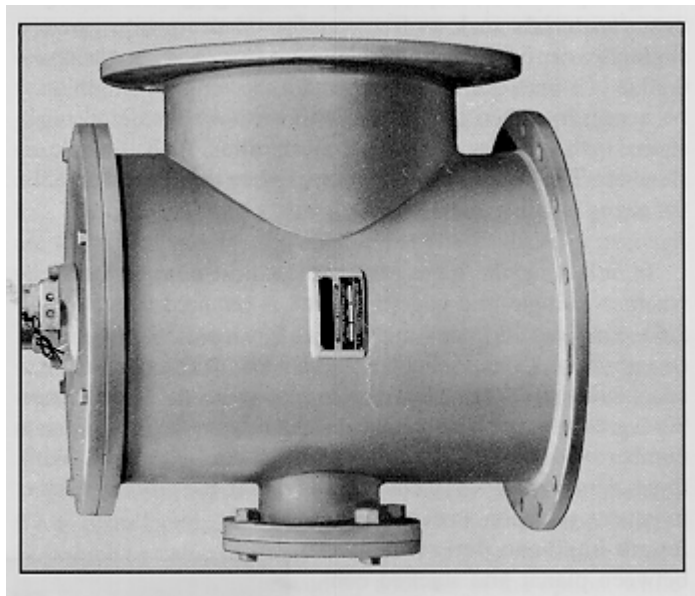
- material del espécimen a ensayar
- rango de temperatura de operación
- precisión requerida

4.5. Ejemplos de selección de banda

En esta sección, se dan tres ejemplos de procedimiento de selección de banda en situaciones de análisis tensional representativos. Un ensayo se ha hecho para proveer las razones principales para las elecciones particulares que se hacen. Se debería destacar, sin embargo, que un análisis tensional experimentado no procede del mismo estilo paso a paso ilustrado en estos ejemplos. En cambio, mantener en mente simultáneamente las condiciones de ensayo y el medio ambiente, las restricciones de instalación de banda, y los requerimientos de ensayo, el analista revisa el Catálogo 500 y rápidamente segrega los mejores candidatos de entre las combinaciones de serie y modelo de banda disponibles en las dimensiones apropiadas. Los criterios de selección son refinados en concordancia con la tarea de medida de deformación particular para converger en la banda o bandas para ser especificados en le programa de ensayo. Si formalmente o de otra manera, la práctica sabia consigue las consideraciones de selección de parámetros tal como aquellos especificados en la lista de comprobación anterior.

A. Estudio de diseño de un recipiente de presión

Se hacen medidas de deformación en un modelo de plástico escalado de un recipiente de presión. El modelo será ensayado estáticamente en, o cerca, de la temperatura ambiente; y, aunque los ensayos pueden durar un período de varios meses, los ensayos individuales tomarán unas pocas horas el llevarlos a cabo.



Selección de banda:

1. *Longitud de banda* –Longitudes de banda muy cortas se deben evitar para minimizar problemas de disipación térmica causados por la baja conductividad térmica del plástico. El modelo es bastante grande, y aparentemente libre de gradientes severos de tensión; por lo tanto, se especifica una longitud de banda de 0.25 in (6.3 mm), porque la mayor selección de modelos de banda está disponible en esta longitud.
2. *Modelo de banda* –En algunas zonas del modelo, en la direcciones de los ejes principales son obvias de consideraciones de simetría, y se pueden emplear bandas unired. De los modelos disponibles en la longitud elegida, el modelo 250BF es un buen compromiso a causa de su alta resistencia de red, la cual ayudará a minimizar los problemas de disipación térmica. En otras zonas del modelo, las direcciones de los ejes principales no se conocen, y se requerirá un rosetón de tres elementos. Para este propósito, se debería elegir un rosetón “planar”, ya que uno superpuesto contribuiría significativamente a los problemas de refuerzo y disipación térmica. A causa de su alta resistencia de red, el modelo 250RD es una buena elección.
3. *Serie de banda* –La protección de poliamida E se prefiere debido a que su bajo módulo elástico minimiza el refuerzo del modelo de plástico. A causa de que la elección normal de aleación de red para medida de deformación estática a temperatura ambiente es la aleación A, la serie EA se debería elegir para esta aplicación.
4. *Opciones* –La aplicación excesiva de calor al modelo de ensayo durante la instalación de los conductores podría dañar el material. La opción L (conductores preadheridos) es por lo tanto elegida para que el conductor de instrumento pueda ser adherido directamente a los conductores sin la aplicación de un hierro soldado a la banda elegida. La opción L es preferible a la LE porque el encapsulado en la segunda opción añadiría refuerzo.
5. *Resistencia* –En este caso, la resistencia se determinó en el paso 2 cuando la alternativa de resistencia más alta se seleccionó de entre los modelos de banda; i.e., al seleccionar el 250BF sobre el 250BG, y el 250RD sobre el 250RA. La resistencia de banda elegida es así de 350 Ω .
6. *Número S-T-C* –Idealmente, las bandas se deberían autocompensar en temperatura para unir el material del modelo, pero esto no es siempre factible, ya que los plásticos particularmente reforzados –hacen que varíe el coeficiente de expansión térmica. Para plástico sin refuerzo, se debería elegir como S-T-C los números 30, 40 o 50. Si es necesario una desunión entre el material del modelo y el número S-T-C, se debería elegir el número S-T-C 13 (a causas de su estado de stock), y el ensayo se debería realizar a temperatura constante.

Designaciones de banda:

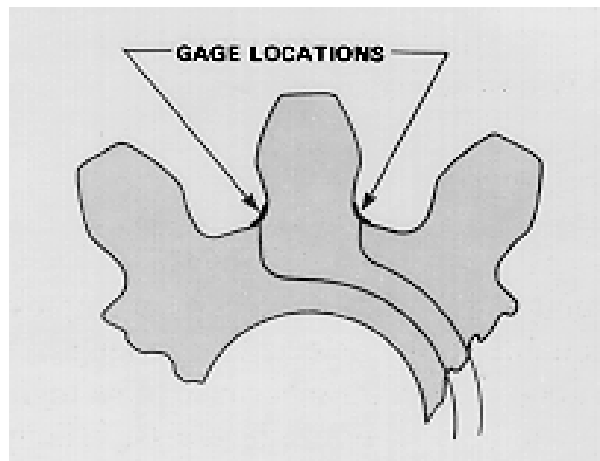
De los pasos anteriores, las bandas extensométricas a usar son:

EA-30-250BF-350/opción L (unired)

EA-30-250RD-350/opción L (rosetón)

B. Estudio de análisis tensional dinámico de un engranaje recto de una bomba hidráulica

Las medidas de deformación se hacen en el radio de entalle de los dientes de engranaje mientras la bomba está operando. El radio de filete en el radio de entalle es de 0.125 in ($\approx 3\text{mm}$) y las temperaturas de ensayo se esperan en un rango de 0° a 180°F (-20° a +80°C).



Selección de banda:

1. *Longitud de banda* –Una longitud de banda que es pequeña con respecto al radio del filete se debe especificar para esta aplicación. Una longitud de 0.015 in (0.38 mm) es preferible, pero la referencia al Catálogo 500 indica que tal elección limita severamente los modelos de banda y aleaciones de red disponibles. Problemas anteriores que serían encontrados en los pasos 2 y 3, se elige una longitud de banda de 0.031 in (0.8 mm).
2. *Modelo de banda* –Ya que el engranaje es recto, la dirección de los ejes principales se conoce, y se pueden emplear bandas unired. Un modelo de banda con ambas lengüetas soldadas al mismo extremo se debería elegir para que las conexiones de los conductores se puedan localizar en el área libre a lo largo del círculo de entalle entre dientes adyacentes. Según estas consideraciones, el modelo 031CF se elige para la tarea.

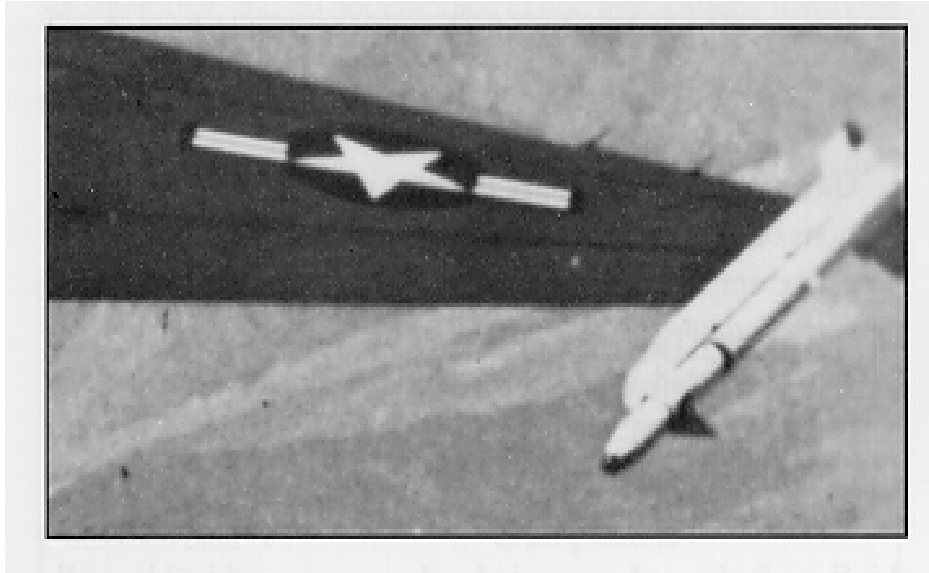
3. *Serie de banda* –Se esperan bajos niveles de deformación en esta aplicación: y por lo tanto, las señales de deformación se deben transmitir a través de anillos de deslizamiento o de un sistema de telemetrología para conseguir desde la componente de rotación hasta la instrumentación estacionaria. La aleación D (isoelástica) se prefiere debido a su alto factor de banda (nominalmente 3.2, en contraste con 2.1 para las aleaciones A y K). Debido a que la banda debe ser muy flexible para adaptarse al pequeño radio de filete, la protección E es la aleación mejor. La temperatura máxima de ensayo no es considerada en este caso, ya que va bien con el rango de temperaturas recomendado para cualquier protección estándar. La combinación de protección E y aleación D define la serie de banda ED.
4. *Opciones* –Para la protección de la red de banda en el medio ambiente del ensayo, se debería especificar el encapsulado de la opción E. A causa del espacio limitado entre el diámetro exterior de un engranaje y el círculo de entalle del engranaje vecino, se debe realizar una instalación de banda particularmente delgada; y condiciones muy pequeños se unirán a las lengüetas de banda a 90° en la dirección de la red, y sobrepasarán los lados del engranaje para la conexión de cables más largos. Este requerimiento necesita la adhesión de pequeños conductores después de la ligadura de banda, y prevenir el uso de conductores preadheridos.
5. *Resistencia* –En el modelo de banda 031CF de la serie ED el Catálogo 500 define la resistencia como de 350 Ω . Una resistencia mayor se elegiría cuando quiera que exista la elección, y será ventajoso en este caso aumentar la relación señal-ruido cuando se unen anillos de deslizamiento.
6. *Número S-T-C* –La aleación D no está sujeta a autocompensación de temperatura, ya que no se necesita compensación para aquellos ensayos en que se va a medir sólo deformación dinámica. En la designación de la serie ED, el número de dos dígitos S-T-C es reemplazado por las letras DY para “dinámica”.

Designación de banda:

Cambiando los resultados del procedimiento de selección anterior, la banda empleada es:
ED-DY-031CF-350/opción E

C. Análisis tensional de ensayo en vuelo en el área exterior del ala de un avión de titanio –con, y sin, un módulo con misil incorporado

El rango de temperatura de operación para medida de deformación es de -65° a $+450^{\circ}\text{F}$ (-55° a $+230^{\circ}\text{C}$), y será un factor dominante en la selección de banda.



Selección de banda:

1. *Longitud de banda* –Estudios de diseño preliminares que usan la técnica de recubrimiento fotoelástico PhotoStress indican que una longitud de banda de 0.062 in (1.6 mm) representa el mejor compromiso en la visión de gradientes de deformación, áreas de deformación máxima, y espacio para la instalación de banda.
2. *Modelo de banda* –Con la información sobre el estado tensional y las direcciones de los ejes principales conseguidos de estudios de recubrimiento fotoelástico, hay algunas áreas del extremo del ala donde las bandas unired y los rosetones “tee” de dos elementos se pueden emplear. En otras localizaciones, donde las direcciones de deformación principal varían con la naturaleza de la maniobra de vuelo, rosetones rectangulares de 45° se requieren. Los gradientes de deformación son lo suficientemente abruptos como para tener que elegir rosetones superpuestos. Del Catálogo 500, los requerimientos anteriores sugieren la selección de los modelos de banda 060WT y 060WR para los rosetones superpuestos, y el modelo 062AP para la banda unired. Al hacer esta selección, se dio atención al hecho de que los tres modelos están disponibles en la serie WK, la cual es compatible con el rango de temperatura de operación especificado.
3. *Serie de banda* –La temperatura de operación máxima, junto con el requerimiento para medida de deformación tanto estática como dinámica, claramente dicta el uso de la aleación

K para el material de red. Cualquiera de las series SK o WK se podrían seleccionar, pero la serie WK es preferible porque tienen conductores integrales.

4. *Opciones* –Para facilidad en la instalación de banda, la opción W, con terminales soldados integrales, es ventajosa. Esta opción no es aplicable a rosetones superpuestos, sin embargo, y está especificado por lo tanto para bandas unired.
5. *Resistencia* –Cuando esté disponible, como en este caso, bandas de 350 Ω se deberían especificar a causa de los beneficios asociados con la resistencia de banda más alta.
6. *Número S-T-C* –La aleación de titanio usada en la sección del extremo del ala es del tipo 6A1-4V, con un coeficiente de expansión térmica de 4.9×10^{-6} por $^{\circ}\text{F}$ (8.8×10^{-6} por $^{\circ}\text{C}$). La aleación K de número S-T-C 05 es la elección apropiada.

Designaciones de banda:

WK-05-062AP-350/opción W

WK-05-060WT-350

WK-05-060WR-350