

INFLUENCIA DEL TIEMPO EN CELDAS DE CARGA DE ALTA EXACTITUD

Jeily Cervantes Contreras/Jorge C. Torres Guzmán. Centro Nacional de Metrología (CENAM).

INTRODUCCIÓN

Con los continuos avances realizados en el diseño de instrumentos, controles automáticos, y equipo automatizado y computarizado el estudio de la caracterización de patrones toma un significado muy importante. El presente trabajo es un estudio del comportamiento que presentan los transductores de fuerza debido a la influencia del tiempo, como una variable independiente.

Los estudios se desarrollaron en transductores de fuerza de alta exactitud (clase 00) y utilizando patrones primarios del CENAM para la aplicación de fuerza (MMS 3kN, MMS 50kN).

La caracterización permite un mejor entendimiento del comportamiento de los patrones de medición (transductores de fuerza) y de la diseminación de la magnitud en la calibración de otros equipos que se realiza en los laboratorios encargados de esta actividad. El continuo estudio de efectos inherentes durante la calibración en la respuesta de elementos elásticos genera una basta experiencia con el fin de aumentar los niveles de confianza en las mediciones, lo que permite determinar y establecer métodos para obtener la mejor capacidad de medición de sistemas de medición.

1. ESTUDIO DEL EFECTO DE FLUENCIA

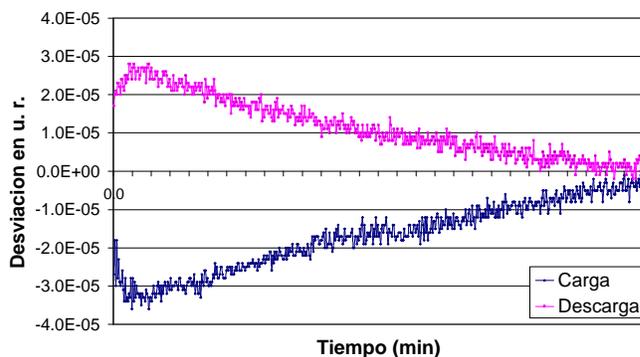
El efecto "creep" o fluencia se define como 'la deformación lenta de un material, normalmente

medido bajo una tensión constante'. Fluencia y relajación son fenómenos que ocurren diferidos en el tiempo. La fluencia es un proceso que ocurre bajo una carga sostenida y presenta aumentos de deformaciones elásticas con el tiempo prolongado. Relajación es un proceso que ocurre bajo deformaciones constantes y presenta pérdidas de esfuerzos con el tiempo prolongado. Los estados límites que ocurren debido a la fluencia son: Falla debida a la fluencia, deformaciones excesivas. Fractura por fluencia, Pandeo por fluencia (en el caso de materiales con bajo módulo de elasticidad). Para el caso de los transductores de fuerza de alcances pequeños (por debajo de los 10kN) influye en gran parte la sensibilidad que estos presentan debido a su diseño y son afectados por factores que incidan en la aplicación de la fuerza.

Los principales factores que influyen a la fluencia son: temperatura, nivel de carga y tiempo de aplicación. Otros factores pueden ser la historia de carga, la radiación y la corrosión. Hay una temperatura de activación, por encima de la cual un material presenta fluencia, esto sucede en aplicaciones de materiales en donde el ambiente de trabajo no controla la temperatura.

A continuación se muestra una prueba realizada a un transductor de fuerza modelo C3H2 10kN y permite conocer la estabilidad que presenta dicho transductor para un periodo de carga de 30 minutos. Nótese que la mayor estabilidad sucede para este intervalo de tiempo (característica

individual del propio instrumento). La carga aplicada fue del cero a 100% de fuerza del alcance nominal y la descarga se considera a partir del momento en que cesa la aplicación de la fuerza. Ambos para un intervalo de tiempo de 30 minutos.



Fluencia en celda C3H2 de 10 kN.

1.1 FLUENCIA EN INTERVALOS CORTOS DE TIEMPO

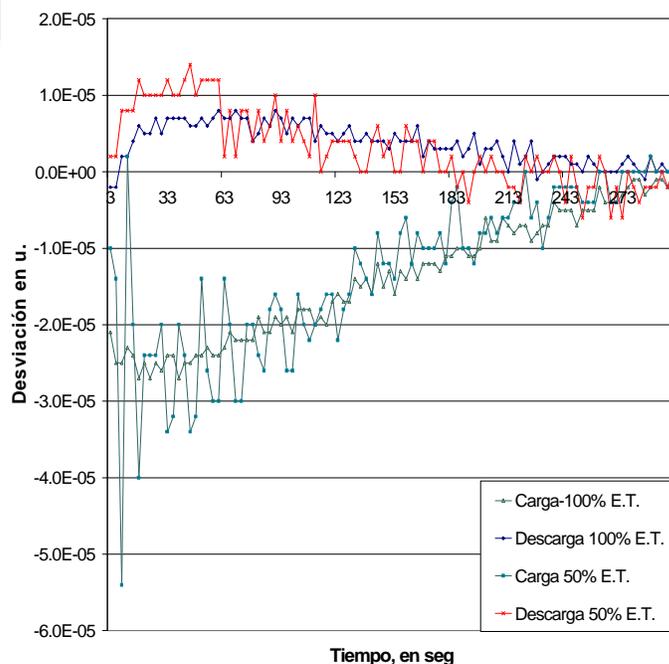
La fluencia en corto tiempo se obtiene cargando el transductor de fuerza y se anotan las lecturas de estabilización. De la gráfica de datos en la fase de experimentación, se selecciona el periodo más estable del transductor, este periodo se utiliza para determinar el tiempo al cual debe captarse la lectura para cada intervalo de fuerza aplicada durante un proceso de calibración.

Existen dos puntos de gran importancia en el análisis del elemento elástico desde el punto de vista ingenieril:

- ◆ Fase de absorción de energía de deformación (tiempo de aplicación de la fuerza a la celda de carga)
- ◆ Fase de relajación o recuperación elástica (tiempo de descarga o cese de aplicación de fuerza)

Si se observa detalladamente en la curva del periodo de carga, se puede apreciar que existen “periodos” de estabilización, una vez que se ha aplicado la fuerza. Esto es, la deformación que sufre el elemento elástico cuando es cargado al 100% de E. T. (Escala total) y la concentración de esfuerzos en zonas de cambio de forma, dado por el diseño del propio elemento elástico.

En el siguiente gráfico se muestra la fluencia presentada por un transductor de fuerza de 2 kN (Z3H3), para un intervalo de prueba de 5 minutos, a 100% y 50% de carga total:



Nótese las variaciones existentes entre el 100% y el 50% de su E. T.; los comportamientos difieren en gran medida en la dispersión, con lo cual se puede establecer que la mejor estabilidad del transductor sucede en el intervalo de tiempo de 1 a 1,5 min para una carga del 100% de E. T. Contrario al periodo de carga, la curva en el periodo de descarga se observa más estable, denominada “relajación” del elemento elástico y

es donde se determina la deformación total remanente.

1.2 SENSIBILIDAD DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

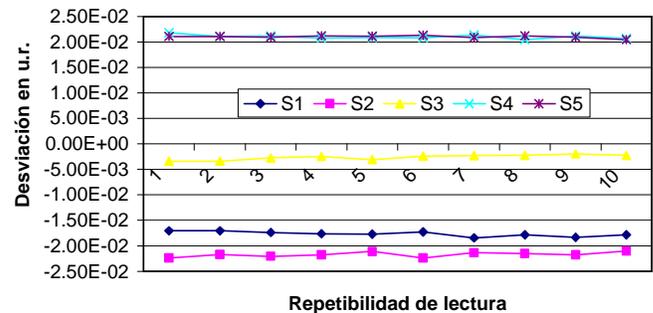
La sensibilidad de un transductor de fuerza en cero carga depende principalmente de la capacidad de carga, clase de exactitud y módulo de elasticidad del elemento elástico. En comparaciones entre laboratorios de metrología los transductores de fuerza utilizados juegan un papel muy importante, puesto que el resultado de las mediciones depende de ellos.

En calibraciones de celdas de carga esto es determinado, por lo que el análisis y experimentación es de gran relevancia para determinar la deriva metrológica, la interacción entre la máquina de aplicación de fuerzas, el efecto rotacional y las características propias del elemento elástico.

Para determinar la repetibilidad del cero en un transductor de fuerza, se realizan 5 series de medición de fuerza al 100% del alcance nominal en ascenso. Posteriormente, una vez retirada la fuerza ejercida por las masas, se toman 10 puntos de lectura a partir de la estabilización de lectura (relajación del elemento elástico), esto se muestra en el diagrama anterior durante un intervalo corto de tiempo. De esta manera, se analiza la dispersión causada entre la lectura original y la lectura siguiente a la aplicación de la fuerza. La determinación de la variabilidad surgida entre las lecturas iniciales de fuerza nula, nos sirve para realizar la cuantificación de la repetibilidad, así como el comportamiento mecánico que tiene esa celda de carga

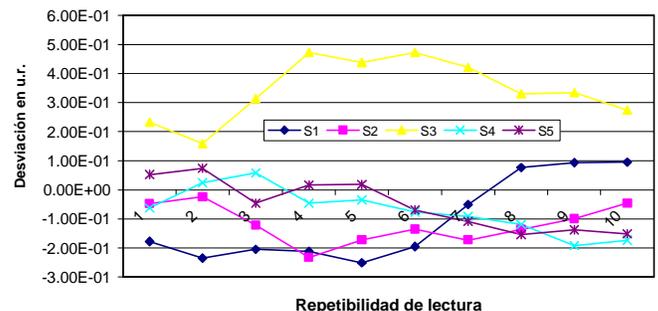
(identificación de tiempo de relajación, homogeneidad y variabilidad del elemento elástico del transductor).

El gráfico de repetibilidad en cero nos muestra la desviación existente entre la lectura original y las posteriores a la aplicación de la fuerza, p. e. para una celda C3H3 de 50 kN:



S₁, S₂, ... S_n son diferentes ciclos de carga (señal de cero en la medición), después de llevar la carga del transductor de fuerza al 100% del alcance nominal. Nótese la tendencia existente entre las primeras tres series de medición como resultado de la absorción de energía de deformación.

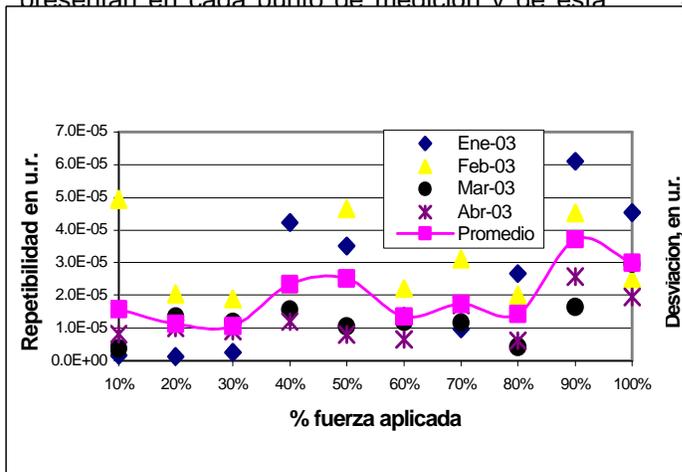
En el siguiente gráfico se muestra la dispersión por sensibilidad del cero (o repetibilidad de cero) que se genera en 5 series de repetición, (con los mínimos efectos ambientales, mecánicos, de operario, etc.).



Sensibilidad del cero en celda Z6C2/H2 de 2kN

2. REPRODUCIBILIDAD A LARGO PLAZO

El estudio de la reproducibilidad a largo plazo juega un papel muy importante en la verificación del instrumento de medición. De acuerdo con la norma ISO-10012 "Metrological confirmation system for measuring equipment" el equipo de medición (en este caso los transductores de fuerza) debe someterse a lapsos de confirmación metrológica, una forma de emitir las variaciones del resultado de una calibración es mediante el uso de **cartas de control**. El uso de dichas cartas permiten poder definir el tiempo al cual se debe efectuar una calibración. El estudio de la reproducibilidad a largo plazo permite identificar con gran confianza los resultados que se presentan en cada punto de medición y de esta



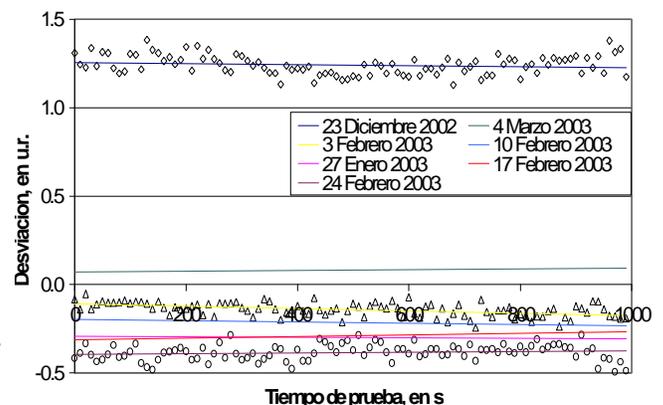
3. DERIVA

La deriva metrológica se define como la variación progresiva en el tiempo de una característica metrológica de un equipo de inspección, medición y/o prueba, definido por las Unidades de Operación y/o Mantenimiento como sujetos a Confirmación Metrológica. La deriva es la base para determinar si un equipo de

medición, en este caso celdas de carga, varían con respecto al tiempo. Experimentalmente hemos determinado que los principales factores que afectan a una celda de carga son:

- ◆ Fluencia en intervalos largos de tiempo.
- ◆ Características viscoelásticas del material adherente del "strain gauge".
- ◆ Composición del elemento elástico.
- ◆ Severidad de uso del instrumento de medición

Para visualizar el efecto de deriva obtenemos unas series de lectura de un transductor de fuerza, en una misma posición de montaje en 0% de carga (a condiciones ambientales controladas y sin accesorios de montaje). La prueba consiste en determinar la deriva para intervalos de tiempo de un mes. Se observa la tendencia del transductor hacia la parte inferior de la gráfica.

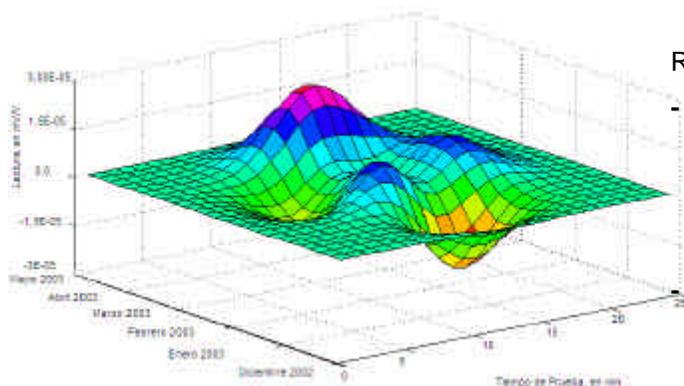


4. DERIVA DEL CERO

La deriva del cero en celdas de carga se debe al estado inestable que presenta un material como efecto dependiente del tiempo y en gran parte de la conducta mecánica del material. Esta variación ocurre para un estado de carga nula y se manifiesta a través de fenómenos como fluencia, inestabilidad de material, electromagnetismo y

otros factores. La deriva no necesariamente ocurre solo en celdas de carga, si no que todos los instrumentos de medición son susceptibles a variaciones.

En esta prueba el punto bajo análisis (cero) se observa midiendo la señal del transductor sin carga durante un intervalo de tiempo de 25 minutos y durante varios meses; determinando así las variaciones del desfaseamiento del cero (aislando todos los factores de influencia).



*Deriva del cero de un transductor mod. C3H2
10kN*

CONCLUSIONES

Las celdas de carga de alta exactitud son susceptibles a variaciones en sus características metrológicas a través del tiempo. Es necesario conocer estas variaciones para poder garantizar la confianza de las mediciones de fuerza que se realizan con ellas. El estudio de las variaciones de la respuesta de una celda de carga a la aplicación de una fuerza con el tiempo es más importante y crítico para comparaciones entre laboratorios, donde se desea confirmar la compatibilidad de mediciones entre estos.

Este trabajo presenta una simplificación de la metodología de análisis de variaciones con respecto al tiempo y algunos ejemplos de casos de estudio realizados en el CENAM para el aseguramiento de la calidad de las mediciones.

De acuerdo a los resultados presentados se recomienda realizar estudios de la influencia del tiempo para celdas de carga utilizadas en calibraciones, procesos de medición o pruebas de alta exactitud (0,05% de la lectura o mejores).

REFERENCIAS

- TORRES Guzmán, J. C., FLORES Martínez, F. J., *Caracterización de Elementos Elásticos para la Medición de Fuerza*. XVIII Congreso Nacional de Metrología y Normalización. D. F. 2002.
- RAMÍREZ Ahedo D., TORRES Guzmán J. C., SAWLA A., *Determinación de la Incertidumbre en la Calibración de Máquinas de Pruebas de Tensión y/o Compresión en México*. IV Congreso Internacional y XVI Nacional de Metrología y Normalización. Guadalajara. 2000.
- RAMIREZ Ahedo D., TORRES Guzmán J. C., *Determinación de la Mejor Capacidad de Medición de Máquinas y Sistemas de Calibración de Fuerza y su Clasificación para Laboratorios Acreditados*. Memorias del XV Seminario Nacional de Metrología. Querétaro. 1999.
- TORRES Guzmán J. C., RAMIREZ Ahedo D., *Aseguramiento de la Calidad en las Mediciones de Fuerza*. Memorias del XV Seminario Nacional de Metrología. Querétaro. 1999.
- TORRES Guzmán J. C., *Mida su Fuerza para Aumentar su Productividad*. Memorias del Congreso PROMET. Querétaro. 1995.