

# Caracterización de Elementos Elásticos para la Medición de Fuerza

Jorge C. Torres Guzmán, Francisco J. Flores Martínez  
Centro Nacional de Metrología, CENAM, México

## Introducción

La caracterización de elementos elásticos (anillos de carga y celdas de carga) para la medición de fuerza es especialmente necesaria para: comparación entre patrones; calibración de máquinas universales; caracterización de máquinas y de sistemas secundarios.

De la calibración de un transductor de fuerza se puede observar la linealidad y los efectos de histéresis, como se muestra en la gráfica siguiente, donde se nota la desviación debida a histéresis en las posiciones de montaje a 120° y a 240°. Para definir claramente los efectos involucrados en la medición con elementos elásticos es necesario realizar estudios separando los diferentes factores de influencia.

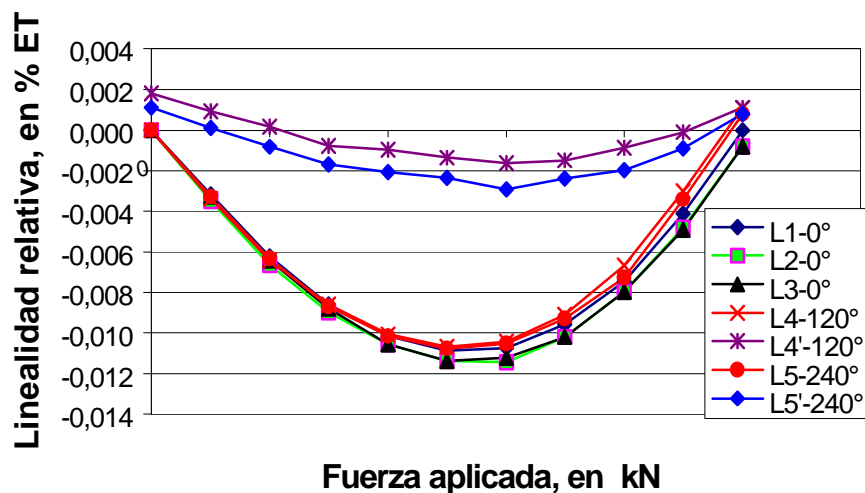


Figura 1. Gráfica de linealidad con histéresis en 120° y 240° para un transductor de fuerza.

El objetivo de este estudio es resaltar la importancia de la caracterización de elementos elásticos para la medición confiable de fuerza, sin pretender profundizar en cada uno de los factores de influencia. Este estudio constituye una guía para el desarrollo de un trabajo detallado y formal para la caracterización de elementos elásticos. Se consideran los factores de influencia más relevantes para elementos elásticos y se asume que se tienen lapsos de confirmación metrológica adecuados para los instrumentos.

## Caracterización

Para su caracterización es necesario realizar pruebas sobre los elementos elásticos, asegurando que se aísla un factor de influencia o efecto en cada prueba. Es importante utilizar procedimientos de prueba sólidos y que permitan obtener resultados adecuados para la observación y posterior determinación del factor de influencia. A continuación se presentan los resultados obtenidos en diferentes pruebas, siguiendo procedimientos del CENAM, para la observación de algunos factores de influencia en celdas de carga.

1. REPETIBILIDAD. Siguiendo el procedimiento 720-AC-P.191-V2 “Aseguramiento de la Calidad de las mediciones en Fuerza” del CENAM, se hicieron mediciones para obtener la repetibilidad de dos tipos de transductores de fuerza de 50 kN de alcance nominal, marca HBM modelos C3H3 y C3H2. Esta prueba nos permite observar que los transductores de fuerza tiene dispersiones por repetibilidad diferentes, siendo para estas celdas en particular el C3H3 casi 3 veces mayor que el C3H2, ver *figuras 2 y 3*.

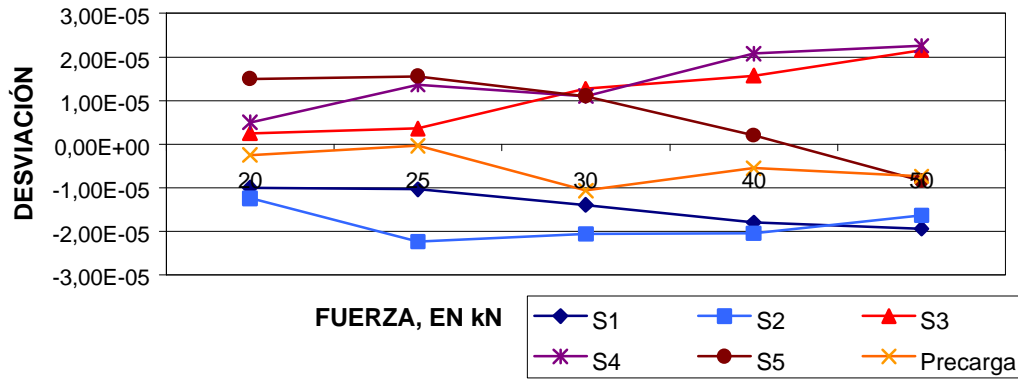


Figura 2. Gráfica de repetibilidad en un transductor de fuerza C3H2.

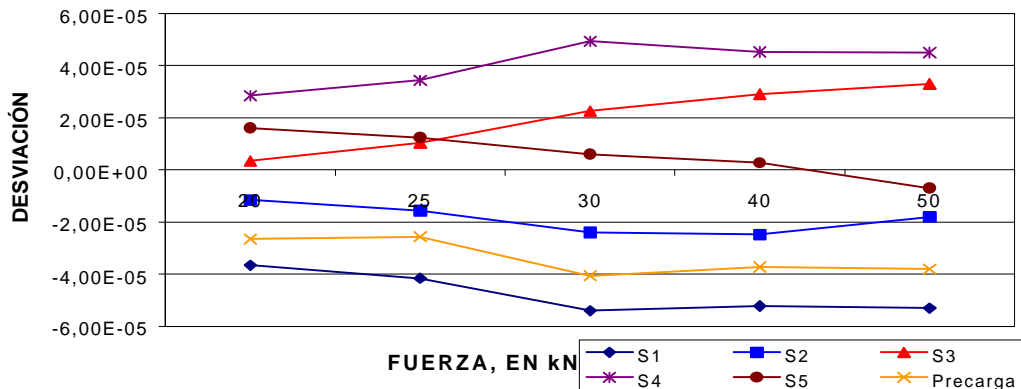


Figura 3. Gráfica de repetibilidad en un transductor de fuerza C3H3.

2. REPRODUCIBILIDAD. Para observar la reproducibilidad se midió una serie de lecturas en diferentes posiciones de montaje ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  y  $360^\circ$ ) en un transductor de fuerza de 50 kN de alcance nominal, marca HBM, modelo C3H2. En esta prueba se puede observar que las lecturas obtenidas en las posiciones de montaje de  $0^\circ$  y  $90^\circ$  están desviadas de las obtenidas para las posiciones de montaje de  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  y  $360^\circ$ . La dispersión por reproducibilidad debe considerar la desviación total entre todas las posiciones.

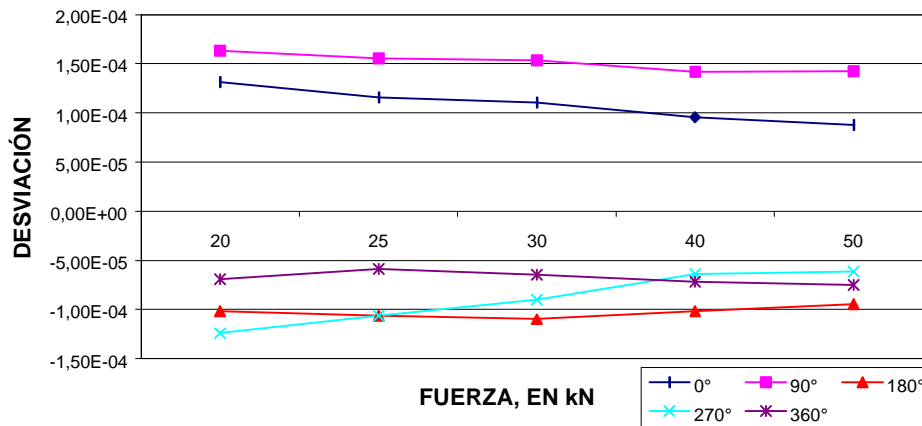


Figura 4. Gráfica de reproducibilidad en un transductor de fuerza.

3. FLUENCIA. Para hacer el estudio de fluencia, se tomaron lecturas cada tres segundos por un lapso de tiempo de 20 minutos. La prueba se realizó midiendo en primera instancia del estado de descarga al estado de carga, para carga máxima. Después se hizo para el estado de carga al de descarga con el mismo tiempo que el anterior. Este procedimiento se llevó a cabo en dos tipos de celdas de carga. Es importante notar las diferencias significativas que existen en tiempos de estabilización entre las dos celdas de carga.

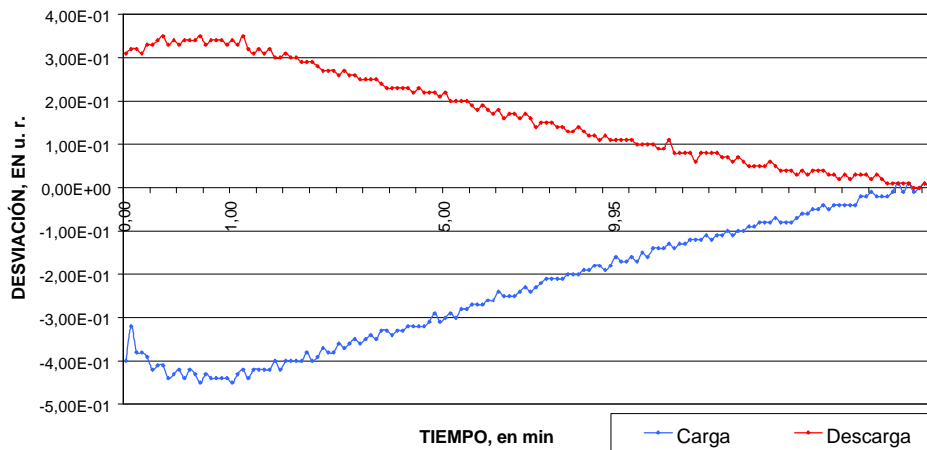


Figura 5. Gráfica de fluencia en el transductor de fuerza 1.

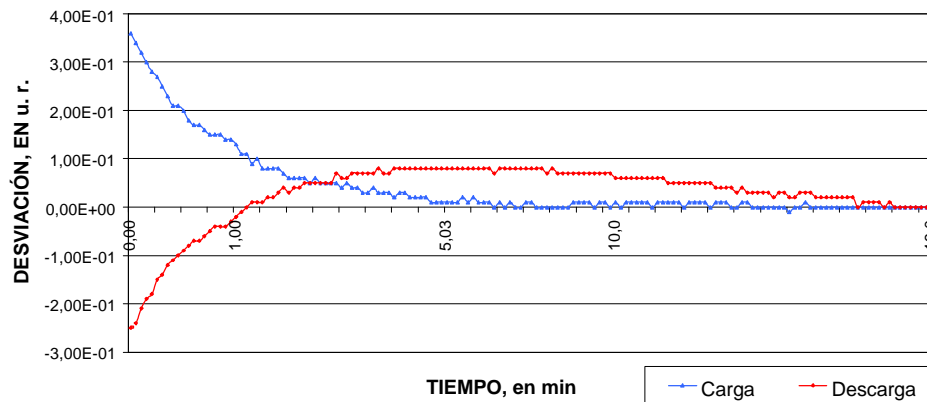


Figura 6. Gráfica de fluencia en el transductor de fuerza 2.

4. EFECTO DE ROTACIÓN. Este efecto se puede presentar como una influencia debida a las máquinas de fuerza, por lo que es importante asegurar una aplicación de fuerza centrada en el transductor, así como tener la base y la placa de aplicación de carga paralelas y niveladas. El efecto que se desea observar cuando la carga es aplicada sobre el transductor es la posible asimetría rotacional (axisimetría sobre el eje vertical o de aplicación de la carga) que será dependiente de la posición de montaje del transductor.

Para realizar esta prueba se aplica la misma carga en diferentes posiciones de montaje ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  y  $360^\circ$ ) y se realizan varias series de lectura.

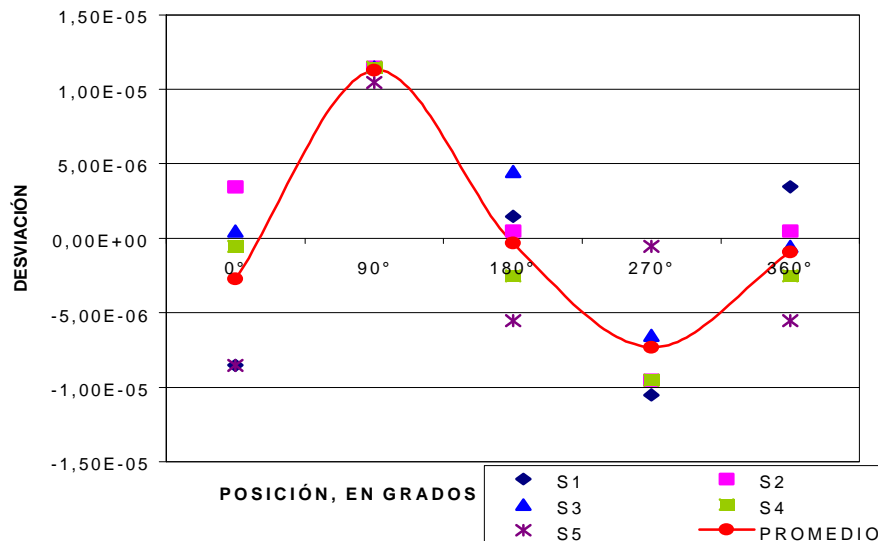


Figura 7. Efecto de rotación de un transductor de fuerza de 50 kN.

5. CURVA DE AJUSTE. La curva de ajuste que se obtiene, resultado de una calibración, puede incluir una desviación si no se define adecuadamente. La Figura 8 muestra la curva característica de una celda de carga por comparación con la curva de mínimos cuadrados de primero y segundo orden. La curva de primer orden produce un efecto de no-linealidad, mientras que las curvas de segundo y tercer orden tienden a eliminar este efecto debido a que se ajustan mejor a los datos experimentales.

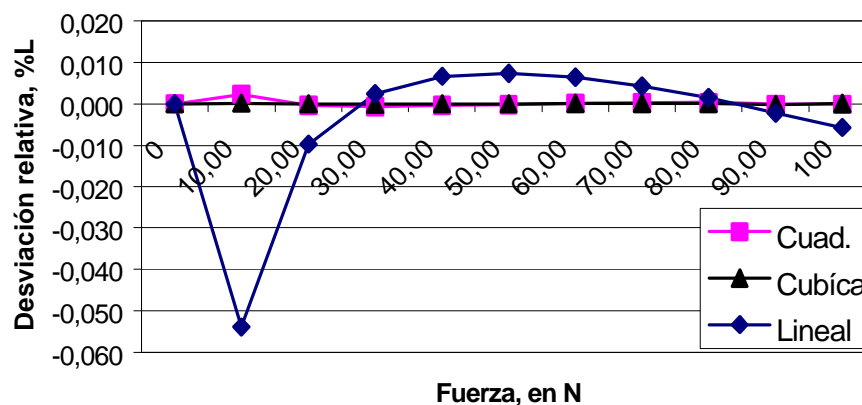
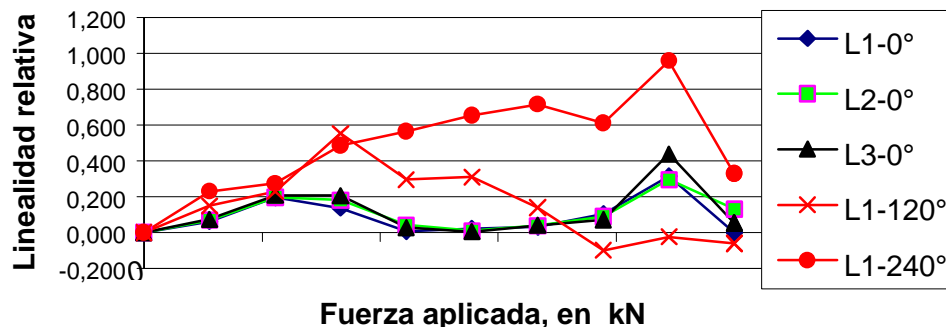


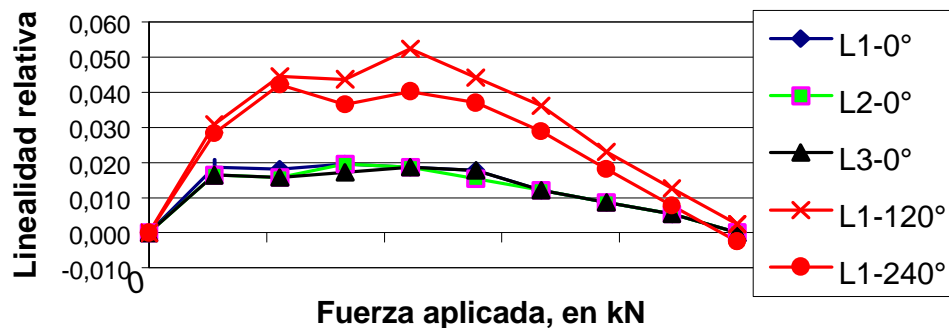
Figura 8. Desviación de la curva característica respecto a ecuaciones de ajuste de primero, segundo y tercer orden.

6. ACCESORIOS DE MONTAJE. Se presenta un estudio de la importancia que tiene el usar accesorios de montaje para las celdas de carga. En la toma de lecturas de una calibración de un transductor de fuerza de 100 kN de alcance nominal a compresión, sin utilizar accesorio de apoyo, podemos ver en la gráfica de linealidad un comportamiento con una desviación de hasta 1% de la escala total, *Figura 9*.

Si se utiliza un accesorio de montaje adecuado (placa de apoyo y botón de carga) con el mismo transductor de fuerza de 100 kN, *Figura 10*, observamos un comportamiento en el transductor con una desviación mucho menor (0,50% de la escala total). Además observando las dos gráficas de los resultados obtenidos se nota la disminución en la dispersión de las lecturas obtenidas para todo el alcance de medición.



*Figura 9. Gráfica de linealidad sin usar cojinete de carga.*



*Figura 10. Gráfica de linealidad usando un cojinete de carga adecuado para el transductor de fuerza.*

## Resultados y Conclusiones

Tomando en consideración los factores de influencia descritos en el apartado anterior, aquí presentamos las diferencias que se pueden obtener al realizar comparaciones entre patrones primarios de fuerza utilizando celdas de carga.

La comparación de la *Figura 11* se realizó según el procedimiento 720-AC-P.191-V2 “Aseguramiento de la Calidad de las mediciones en Fuerza”, por medio del cual se obtuvieron lecturas para el alcance nominal de medición de 2 kN, (tomando cinco series de medición en cada posición de montaje 0°, 90°, 180°, 270° y 360°), en dos máquinas de masas suspendidas.

Para esta comparación se utilizó un transductor de fuerza caracterizado (de acuerdo a las observaciones presentadas en el punto anterior) en un alcance de medición de 2 kN, marca HBM modelo Z3H3.

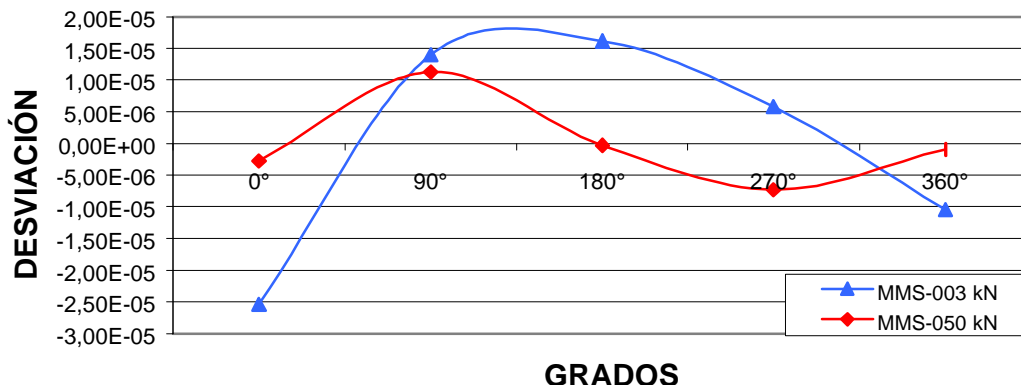


Figura 11. Comparación entre dos patrones primarios mediante un transductor caracterizado.

Siguiendo el mismo procedimiento, se utilizó un transductor de fuerza no caracterizado, realizándose la comparación entre las mismas dos máquinas de masas suspendidas (transductor de fuerza de 2 kN, marca HBM, modelo C3H3). Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 12.

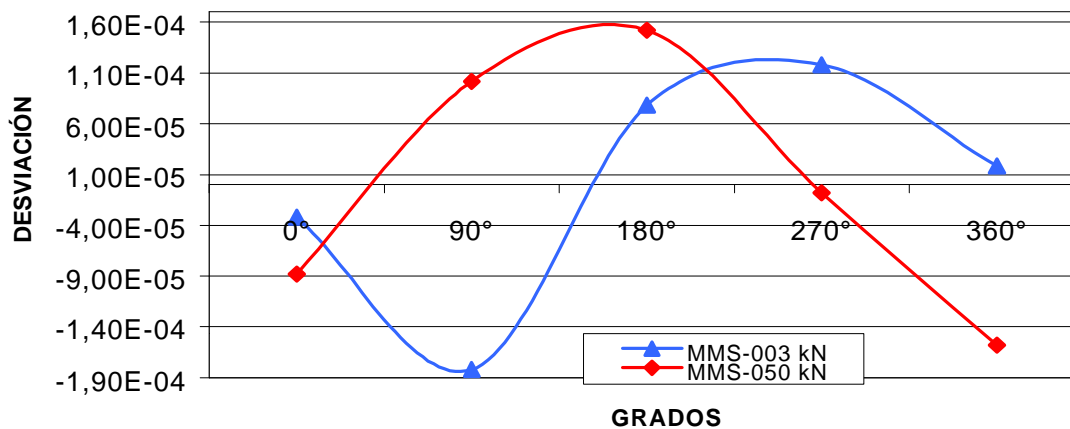


Figura 12. Comparación entre dos patrones primarios de fuerza sin caracterizar el transductor.

Como se puede observar de las dos comparaciones realizadas, una con un transductor de fuerza ya caracterizado y otro sin caracterizar (Figuras 11 y 12, respectivamente), los estudios de caracterización permiten obtener resultados más confiables y observar desviaciones relacionadas a las máquinas y no al transductor. La diferencia en desviaciones observadas entre las dos comparaciones alcanza valores de hasta  $260 \cdot 10^{-6}$  (en unidades relativas), lo cual es inaceptable para una comparación entre máquinas primarias que típicamente tienen incertidumbres relativas expandidas de  $20 \cdot 10^{-6}$ .

Existen otros factores que deben considerarse como es el caso de la estabilidad a largo plazo, la cual es especialmente importante cuando se realiza una ronda de comparación entre varias máquinas y la extensión de tiempo para llevar a cabo la comparación es prolongado (varias semanas). Otro efecto importante y que debe observarse son las cargas parásitas en las máquinas de fuerza, las cuales deben ser reducidas antes de caracterizar elementos elásticos.

La caracterización de elementos elásticos para la medición de fuerza es indispensable cuando se desea utilizar estos equipos como patrones o para actividades especiales (comparaciones, validación, verificación, evaluación de la mejor capacidad de medición u otras de igual importancia).

La utilización de transductores de fuerza no caracterizados puede ser adecuada si su uso intencionado es para incertidumbres relativas expandidas mayores a  $300 \cdot 10^{-6}$ , entendiéndose que están calibrados y con trazabilidad formal.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Torres Guzmán J. C., Ramírez Ahedo D. A., Cárdenas Moctezuma A., “Metrología de Fuerza”. CENAM. El Marqués, Querétaro. Julio de 2002.
2. Ramírez Ahedo D. A., 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”. XV Congreso Nacional de Metrología y Normalización. Querétaro, Querétaro. 1999.
3. Procedimiento del CENAM: 720-AC-P.191-V2 “Aseguramiento de la Calidad de las mediciones en Fuerza”.
4. Peters, M. “Special Calibration Methods for Force Transducers”. Physikalisch - Technische Bundesanstalt. Bundesallee 100, Braunschweig, Alemania.
5. Peters, M. “Limits to the Uncertainty Achievable in Force Transfer”. Physikalisch - Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Alemania.
6. Tovey, F. M. “Measurement Uncertainty Analysis of a Transfer Standard Force Calibration System”. Journal Testing & Evaluation, JTVEA, Vol. 22, No. 1, January 1994.
7. ISO 5725-1998 (E). “Precision of test methods - Determination of repeatability & reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests”. 2<sup>nd</sup> Edition, 1986.