

# ESTUDIO DE LA INCERTIDUMBRE OBTENIBLE UTILIZANDO SISTEMAS “BUILD-UP” PARA TRAZARLO INTERNAMENTE EN EL INTERVALO DE 100kN A 5MN

Savarin, A.(i); Kirsch, G.(ii); Wüthrich, C.(iii)

(i) Centro de Investigación y Desarrollo en Física y Metrología

(ii) Flexar S.R.L

(iii) Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS, Suiza

asavarin@inti.gob.ar

## Introducción

El Laboratorio de Fuerza de Física y Metrología cuenta con máquinas de comparación en el intervalo de 500 N a 1000 kN de capacidad. Las mismas obtienen trazabilidad por medio de la recalibración de sus transductores de referencia en otros Institutos Nacionales de Metrología (INM). La incertidumbre actual en el intervalo de 100 kN a 1000 kN es de  $5 \cdot 10^{-4}$ , siendo insuficiente para dar trazabilidad a otros laboratorios de calibración y/o investigación. Asimismo no hay capacidad de medición por arriba de 1 MN.

Por ello se formuló junto a INTI-Mecánica un proyecto de desarrollo ante el MinCyT, recientemente aprobado, el FINSET 018/15 “Desarrollo de Nuevas Capacidades para el Fortalecimiento de la Oferta de Servicios Tecnológicos en Medianas y Altas Cargas”.

A mediano y largo plazo, será necesario contar con mediciones de mejor exactitud en el intervalo de hasta 1MN, y contar con capacidades en el intervalo de hasta 5MN. Las incertidumbres esperadas son de  $2 \cdot 10^{-4}$  en el primer caso y de  $5 \cdot 10^{-4}$  en el segundo caso.

Asimismo es deseable obtener la trazabilidad interna de dichas mediciones, por lo cual se optó por el uso de sistemas tipo “build-up”, siendo este trabajo el estudio que demuestra la posibilidad y el alcance de estos sistemas.

## Objetivos

Estudiar la factibilidad de ampliación de la escala nacional de la magnitud fuerza, de modo de lograr trazabilidad interna en el intervalo desde 100 kN hasta 5 MN, utilizando sistemas de múltiples transductores (build-up).

Este estudio está orientado por un lado a investigar su comportamiento por medio del diseño y construcción de uno de estos instrumentos experimentales; mientras que por otro lado apunta a dar sustento técnico al proyecto de financiamiento FINSET 018/15.

## Descripción

Un sistema “build-up” consiste en un conjunto de transductores de fuerza trabajando en paralelo. Cada transductor es calibrado individualmente en una máquina primaria de fuerza y luego, el conjunto armado logra ampliar el valor de fuerza. Por medio del uso de varias etapas, es posible ir aumentando la capacidad de medición con trazabilidad interna.

El sistema experimental que está en desarrollo junto a Flexar S.R.L y la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, consiste en un sistema de  $3 \times 100 \text{kN}$ , utilizando transductores de fuerza “doble-articulados”, que son una adaptación de transductores bien conocidos por el fabricante.

A continuación se presenta un esquema de la configuración planteada.

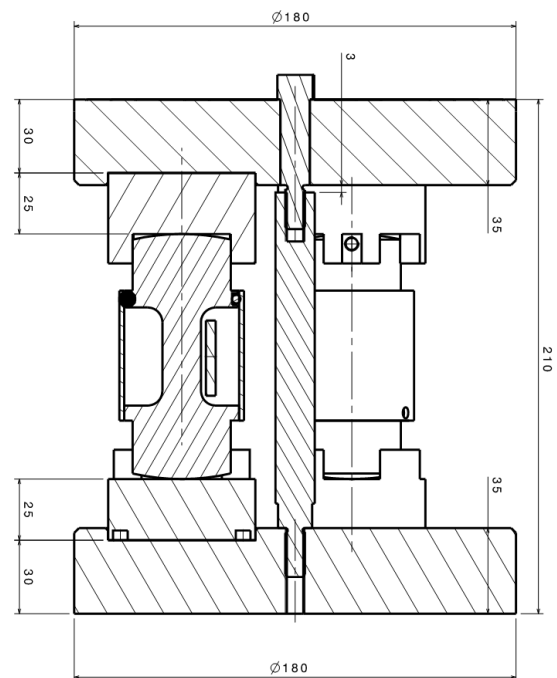


Fig. 1. Esquema del sistema experimental de  $3 \times 100 \text{kN}$ .

Con este sistema se espera obtener una incertidumbre mejor a  $2 \cdot 10^{-4}$  en el intervalo de 100 a 300 kN.

Por otro lado, y para dar sustento técnico al proyecto FINSET 018/15, se analizaron varios modelos de incertidumbre junto al METAS de Suiza, para determinar la factibilidad y el alcance de estos sistemas.

Cabe destacar que, básicamente, hay dos posibilidades, una es hacer etapas de 3x, o sea utilizando sistemas de 3 transductores en paralelo, mientras que la otra opción es utilizar un sistema 9x, o sea tres sistemas de 3x en paralelo; este último obtendría mejor incertidumbre por reducir cantidad de etapas, pero como contrapartida se complica el montaje y alineación de los sistemas.

## Resultados

Las estimaciones de incertidumbre se realizaron utilizando valores de calibraciones reales con instrumentos de fuerza similares en características metrológicas a los que serán utilizados con estos sistemas. *Estas estimaciones son optimistas debido a que no contemplan la interacción entre los transductores.*

A continuación se presenta el modelo utilizado que se condice con la norma GUM y con la recomendación EURAMET cg/04.

Tabla. 1. Propagación de incertidumbre al sistema 3x y 9x

X	Paso / Step 2		Paso / Step 3		
	w(X)	w <sub>ts</sub>	w <sub>rv</sub>	w <sub>BU_rv</sub> x3	w <sub>BU_rv</sub> x9
mV/V	1*10 <sup>-6</sup>	1*10 <sup>-6</sup>	1*10 <sup>-6</sup>	1*10 <sup>-6</sup>	1*10 <sup>-6</sup>
0,00000	-	-	-	-	-
0,20005	33	35	35	36	41
0,40011	22	24	25	26	32
0,60023	20	22	23	24	31
0,80040	17	19	20	21	29
1,00054	17	19	20	21	29
1,20072	17	19	20	21	29
1,40093	17	19	20	21	29
1,60117	15	18	19	19	28
1,80146	27	29	30	30	36
2,00171	17	19	20	21	29

El *paso 1*, corresponde a la incertidumbre de la máquina primaria, en este caso  $1 \cdot 10^{-5}$  ( $k=1$ ); el *paso 2* a tener en cuenta las características metrológicas del transductor individual, o sea repetibilidad, reproducibilidad, resolución, histéresis, etc; el *paso 3* corresponde a propagar la incertidumbre al conjunto completo, se utilizó para ello un coeficiente de correlación pesimista de 0,64.

La anteúltima columna corresponde a utilizar un sistema 3x (hasta 300kN); mientras que la última a un sistema 9x (hasta 1MN).

Con los sistemas trazados se pasa a trazar la máquina en cuestión. A continuación se presentan los resultados hasta 1MN, utilizando dos sistemas 3x y un sistema 9x.

Tabla. 2. CMC alcanzable en máquina de referencia de 1MN

X	SISTEMA 3x			SISTEMA 9x		
	Paso 4	Paso 5		Paso 4	Paso 5	
	w(d <sub>fcm</sub> )	w <sub>CMC</sub>	W <sub>CMC</sub>	w(d <sub>fcm</sub> )	w <sub>CMC</sub>	W <sub>CMC</sub>
mV/V	1*10 <sup>-6</sup>	1*10 <sup>-6</sup>	1*10 <sup>-6</sup>	1*10 <sup>-6</sup>	1*10 <sup>-6</sup>	1*10 <sup>-6</sup>
0,00000	-	-	-	-	-	-
0,20005	43	83	166	43	70	139
0,40007	38	80	160	38	66	133
0,60008	27	76	152	27	61	122
0,80008	27	76	152	27	61	122
1,00009	27	76	151	27	61	122
1,20011	25	75	150	25	60	121
1,40013	24	75	150	24	60	120
1,60015	22	74	149	22	59	118
1,80017	24	75	149	24	60	120
2,00080	23	74	149	23	59	119

Con el mismo razonamiento se amplían estos cálculos para llegar a 5MN, utilizando tanto el sistema 3x como el 9x.

Finalmente se presenta un sistema típico que podría utilizarse como 3x600kN y/o 9x600kN.

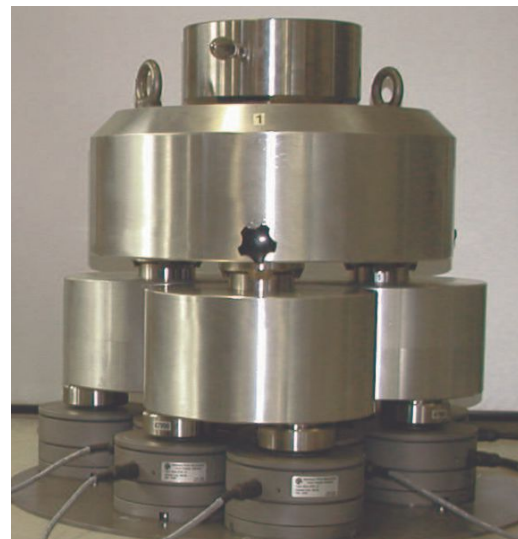


Fig. 2. Sistema build-up de 9x600kN, marca GTM-KTN-D

## Conclusiones

Se demuestra que tanto un sistema 3x como un sistema 9x son aptos para lograr los objetivos del proyecto de ampliación de la escala.

En el caso del sistema 3x, las etapas y sus incertidumbres esperadas ( $k=2$ ), son las siguientes:

3x100 kN ( $1,5 \cdot 10^{-4}$ ); 3x300 kN ( $2 \cdot 10^{-4}$ );  
3x600 kN ( $3,0 \cdot 10^{-4}$ ); 3X2 MN ( $4,5 \cdot 10^{-4}$ )

En el caso del sistema 9x, se obtendría:

9x100 kN ( $2,0 \cdot 10^{-4}$ ); 9x600 kN ( $4,2 \cdot 10^{-4}$ )