

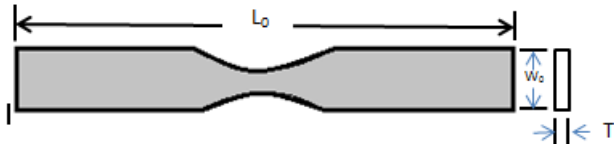
# ESTADÍSTICA NO PARAMÉTRICA APLICADA EN LA SELECCIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO MECÁNICO DE TRACCIÓN

Khriissy Medeiros<sup>1,2</sup>, José Daniel H. Vásquez<sup>1,3</sup>, Iván Ibañez A<sup>1,3</sup>  
<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Metrologia, PósMQI/PUC-Rio  
<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Química e de Materiais, DEQM/PUC-Rio  
<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, DEM/PUC-Rio  
 (+55) 21 98393 3307, kmedeiros@aluno.puc-rio.br

**Resumen:** Con el propósito de seleccionar de forma no aleatoria un conjunto de muestras para ensayos mecánicos de tracción, una metodología basada en estadística no paramétrica fue desarrollada, a fin de: (i) comprobar que los objetos de prueba seleccionados para los ensayos son estadísticamente iguales y (ii) atribuir confiabilidad a los resultados que apoyan las propiedades mecánicas del material en estudio.

## 1. INTRODUCCIÓN

El ensayo mecánico de tracción (EMT), consiste en la aplicación de una carga uni-axial creciente a un cuerpo de prueba (CP) especificado, al mismo tiempo que son medidas las variaciones de la longitud del cuerpo [1]. De hecho, es una forma ampliamente utilizada para recolectar información fundamental sobre el comportamiento mecánico de un dado material. Sabiendo que todo el ensayo es controlado por un software, donde todos los parámetros, tales como dimensión del CP, velocidad del ensayo y de retorno, límites de operación del equipo, la forma de presentar los resultados, entre otros, son configurados antes de la realización del ensayo. Un factor determinante para la obtención de los demás parámetros, correspondientes a las propiedades mecánicas, viene de las dimensiones de la muestra, que, a su vez, depende directa o indirectamente de su espesura ( $T$ ). En este sentido, para la confección de los CP-modelo corbata (Fig. 1) generalmente se adopta la norma ASTM D-638 [2].



**Fig. 1.** Dimensiones del cuerpo de prueba para espesura  $T$ , siguiendo como base la norma ASTM D-638.

Sin embargo, existen casos en los cuales, las muestras a ser proyectadas pueden presentar diferente espesura. De este modo y a fin de que las dimensiones específicas de cada muestra no interfieran con los resultados posteriores de las propiedades mecánicas investigadas, es necesario algún criterio determinístico que pueda atribuir confiabilidad a la selección de las muestras.

Considerando la problemática anterior, este trabajo tiene como objetivo presentar una metodología basada en estadística no paramétrica aplicada a la selección de CP para EMT.

## 2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Utilizando como material de estudio el caso de un polímero termoplástico, el polifluoreto de vinilideno (PVDF). Un número total de trece CP fueron confeccionadas con dimensiones próximas a la estipulada por la norma, no obstante, sólo tres serían utilizadas en el ensayo. Inicialmente, con auxilio de un calibrador pie de rey digital (resolución = 0,01 mm), las dimensiones (espesura y ancho) de todas las muestras fueron medidas diez veces y con eso se calculó las áreas, obteniéndose inmediatamente, valores tales como: media, desviación estándar ( $DP$ ) y las incertidumbres, patrón ( $u$ ) y expandida ( $U$ ), como es ilustrado en la Tabla 1.

**Tab. 1.** Serie de datos.

		Cuerpos de Prueba (mm <sup>2</sup> )												
Nº de mediciones		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
1		9,43	9,42	9,82	9,09	9,44	8,92	9,03	10,04	9,03	9,61	9,01	9,44	9,84
2		8,80	9,27	10,35	9,36	9,39	9,57	8,82	9,12	8,78	9,13	8,82	8,72	10,04
3		8,75	11,09	9,08	9,83	9,06	9,29	8,64	9,03	8,75	8,83	8,86	8,99	10,33
4		8,98	9,85	8,81	10,21	9,02	8,84	9,14	9,21	9,61	8,93	9,36	9,50	9,17
5		9,46	9,71	8,81	10,02	9,23	8,66	9,54	9,33	12,10	8,95	9,05	8,97	9,10
6		8,95	10,67	10,06	9,06	9,11	9,71	9,35	9,82	12,40	8,95	9,16	9,05	8,93
7		9,47	9,60	10,10	8,97	9,00	9,20	8,98	9,73	10,43	8,82	8,88	8,81	8,89
8		9,72	9,58	9,33	9,27	9,63	9,03	10,34	9,33	8,89	8,76	9,24	9,45	9,79
9		10,34	10,70	9,12	9,51	9,88	8,93	9,30	9,24	8,66	9,12	9,40	8,95	9,05
10		9,10	10,27	8,93	9,73	9,67	10,10	9,57	9,06	9,35	11,14	9,64	9,43	9,48
Media		9,30	10,02	9,44	9,51	9,34	9,23	9,27	9,39	9,80	9,22	9,14	9,13	9,46
DP		0,49	0,62	0,59	0,43	0,31	0,45	0,48	0,35	1,40	0,71	0,27	0,29	0,51
u		0,23	0,42	0,34	0,22	0,15	0,27	0,29	0,22	0,67	0,42	0,14	0,18	0,33
U		0,53	0,95	0,77	0,51	0,34	0,61	0,66	0,49	1,51	0,94	0,32	0,41	0,75

### 2.1. Análisis estadístico de los datos

**2.1.1. Análisis de variancia**

Para este análisis [3] fueron utilizadas las medias de los diferentes CP (ec. 1a) y la media total, conforme indica la Ecuación 1b.

$$\bar{x} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n x_i \quad \bar{x}_t = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

(a) (b)

Adicionalmente, se calculó la variación total (ec. 2a), la variación entre los tratamientos (ec. 2b) y la variación entre los tratamientos residuales (ec. 2c).

$$Q_t = \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} x_{ij}^2 - C$$

(a)

$$Q_e = \sum_{i=1}^{n_i} \left[ \left(\frac{1}{n_i}\right) \left(\sum_{j=1}^{n_j} x_{ij}\right)^2 \right] - C$$

(b)

$$Q_r = Q_t - Q_e$$

(c)

**3. RESULTADOS**

Los valores calculados en las ecuaciones anteriores, fueron 96,83; 54,68 y 42,15, respectivamente. Estos resultados son útiles para introducir la prueba de hipótesis - Test F - (Tabla 2) en que se analiza si existen diferencias entre las medias de los 13 cuerpos de prueba. En ese sentido las hipótesis formuladas fueron: **H<sub>0</sub>**: Existe diferencia entre las medidas de los cuerpos de prueba; **H<sub>1</sub>**: no existe diferencia entre las medidas de los cuerpos de prueba.

**Tab. 2. Test F.**

Fuente de variación	suma de los cuadrado	G. L.	Cuadrados medios	Test F	F tabulado
Entre los tratamientos	Q <sub>e</sub>	K - 1	(S <sub>e</sub> ) <sup>2</sup> = Q <sub>e</sub> / (K-1)	F <sub>cal</sub> = (S <sub>e</sub> ) <sup>2</sup> / (S <sub>r</sub> ) <sup>2</sup>	Tabla
Residual	Q <sub>r</sub>	n - K	(S <sub>r</sub> ) <sup>2</sup> = Q <sub>r</sub> / (n-K)		
Total	Q <sub>t</sub>	n - 1			

Fuente de variación	suma de los cuadrado	G. L.	Cuadrados medios	Test F	F tabulado
Entre los tratamientos	54,68	12	4,5570	12,65	0,49
Residual	42,15	117	0,3602		
Total	96,83	129			

(\*)LEYENDA  
K : Numero de cuerpos de prueba  
n : numero de mediciones

Como conclusión del test F, a un nivel de confiabilidad de 95%, con F<sub>calculado</sub>(12,65) > F<sub>tabulado</sub>

(2,06) se acepta la hipótesis que existen diferencias entre las medias de los CP.

**4. DISCUSIÓN**

Confirmando estadísticamente que existen diferencias entre las medias de los CP, una nueva prueba de hipótesis fue empleado - Test Shefé (Δ) - ecuación 3.

$$\Delta = |\bar{x}_A - \bar{x}_B| > \sqrt{S_e^2(K-1) \left(\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B}\right) F_{\alpha} [(K-1); (n-K)]} \quad (3)$$

Con la estadística del test (Δ = 0,65) concluida, se observó que 3 diferentes grupos de muestras eran estadísticamente iguales (Tabla 3).

**Tab. 3. Test Shefé.**

N° de mediciones	Cuerpos de Prueba (mm <sup>2</sup> )												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Media	9,30	10,02	9,44	9,51	9,34	9,23	9,27	9,39	9,80	9,22	9,14	9,13	9,46
X1		0,72	0,14	0,21	0,04	0,07	0,03	0,09	0,50	0,08	0,16	0,17	0,16
X2			0,58	0,51	0,68	0,79	0,75	0,63	0,22	0,80	0,88	0,89	0,56
X3				0,07	0,10	0,21	0,17	0,05	0,36	0,22	0,30	0,31	0,02
X4					0,17	0,28	0,24	0,12	0,29	0,29	0,37	0,38	0,05
X5						0,11	0,07	0,05	0,46	0,12	0,20	0,21	0,12
X6							0,16	0,57	0,01	0,09	0,10	0,23	
X7								0,12	0,53	0,05	0,13	0,14	0,19
X8									0,41	0,17	0,25	0,26	0,07
X9										0,58	0,66	0,67	0,34
X10											0,08	0,09	0,24
X11												0,01	0,32
X12													0,33
X13													

**5. CONCLUSIONES**

Considerando los 3 diferentes grupos de muestras estadísticamente iguales. Grupo 1 (I, V y VII); Grupo 2 (III, VIII y XIII) e Grupo 3 (VI, VII y X), se procedió a calcular la incertidumbre expandida de cada uno de los grupos (U<sub>1</sub>=0,91), (U<sub>2</sub> =1,18) y (U<sub>3</sub> = 1,30), se verifica que el grupo 1 presenta los menores valores de incertidumbre. De esta forma queda establecido un criterio no aleatorio de selección de CP para EMT cuando las muestras difieran una de la otra en algún aspecto dimensional.

**REFERENCIAS**

[1] H C; T. S; L. E. S. Springer Handbook of Materials Measurement Methods. Springer Berlin Heidelberg, pp. 1208, 2007.  
 [2] ASTM D-638, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.  
 [3] FONSECA, J.S.; MARTINS, G.A. Curso de estatística. 6a Edição. São Paulo. Editora Atlas S.A., 2012. p. 213-215.