

DESARROLLO Y ANALISIS DE UN PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL RESULTADO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN ESTÁTICA EN MATERIALES METALICOS

J.A. Gaitán y R.C. Leurino

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe
Departamento de Ingeniería Mecánica, ARGENTINA.

E-mail (autor de contacto): fgaitan@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN

Son conocidas las dificultades que se presentan al momento de determinar la incertidumbre asociada al resultado de un ensayo de laboratorio, teniendo en cuenta la influencia de todas las variables puestas en juego. El objeto del presente Trabajo es describir el procedimiento empleado para el cálculo de la incertidumbre inherente a los ensayos de tracción estática realizados en un Laboratorio de Materiales. Con tal fin, se detalla la metodología aplicada y se analiza la influencia de los diferentes componentes que intervienen en la evaluación, como forma de evidenciar objetivamente la calidad de los servicios que se brindan. Se plantea un polinomio para analizar la contribución de varianzas y calcular el parámetro u_{cR} correspondiente, determinándose luego el valor numérico para un caso testigo. Entre las conclusiones más importantes se pueden citar el logro de un valor compatible con referencias internacionales y la comprobación de la influencia respecto a la medición de la sección transversal de la probeta y medición de la fuerza aplicada durante el ensayo, las que difieren notablemente, 90% para aquella y 10% para la fuerza.

Tópico 2: Materiales metálicos.

Palabras clave: calidad - incertidumbre - ensayo - tracción estática.

1. INTRODUCCIÓN

La propuesta se realiza en el contexto de un laboratorio universitario de ensayo de materiales, cuya trayectoria institucional está avalada por más de 40 años de actividades académicas y de asistencia técnica a Empresas e Industrias. Este Laboratorio, posee un Sistema de Gestión de la Calidad que asegura competencia y capacidad para generar resultados técnicamente válidos, y está acreditado internacionalmente de acuerdo a los requisitos establecidos en la Norma ISO/IEC 17025:2005 [1] - IRAM 301:2005 [2].

Se trata del Laboratorio Industrial Metalúrgico, que desarrolla sus actividades en el ámbito del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad Regional Santa Fe. En él se realizan tareas de índole académica, de servicios a terceros e investigaciones tecnológicas aplicadas en el área de materiales y equipos sometidos a presión. El Laboratorio se encuentra Acreditado por el Organismo Argentino de Acreditación [3] e identificado como Laboratorio de Ensayo LE 090. Se trata de uno de los cuatro laboratorios argentinos en estas condiciones y el único laboratorio universitario de nuestro País, acreditado para efectuar ensayos de tracción estática en productos de acero. El alcance completo de la acreditación puede observarse en International Laboratory Accreditation Cooperation [4] www.ilac.org o bien en <http://www.oaa.org.ar/200504/DataFile.asp?FileID=1221>.

A efectos de una mejor comprensión de lo tratado, puede definirse que la incertidumbre es un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando. Por ende, ella incluye en general varios componentes, algunos de los cuales pueden evaluarse estadísticamente y otros, a partir de distribuciones probabilísticas supuestas basadas en

la experiencia u otra información. Es decir que entonces adquiere mucha importancia el conocimiento de estos componentes y su forma de contribución.

Por otra parte, debe quedar muy claro que la incertidumbre de una medición no debe ser confundida con el error (de medición), pues éste es la diferencia entre el resultado proveniente de una medición y el valor de referencia o valor verdadero, aunque normativamente [5] se prefiera el uso del artículo indeterminado “un” y no el determinado “el”, es decir que la expresión técnica correcta es “un valor verdadero”.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Si bien el ensayo de tracción estática en materiales metálicos, está especificado en la norma particular del producto, el valor numérico de una tensión aplicada durante el ensayo es, por definición, el cociente entre la carga alcanzada en cualquier instante del ensayo y el área de la sección inicial de la probeta.

$$R_i = F_i / S_o \text{ expresada en MPa.}$$

Siendo, F_i = fuerza aplicada expresada en N.

S_o = área de la sección inicial de la zona calibrada de la probeta, expresada en mm^2 .

En la mayoría de los ensayos interesa determinar el valor de R , denominado resistencia a la tracción del material o resistencia a la rotura.

$$R = F_m / S_o \text{ expresada en MPa.}$$

Siendo, F_m = fuerza máxima aplicada durante el ensayo, expresada en N.

Puede observarse que se trata de una medición indirecta, realizada mediante un método de ensayo destructivo, y por tanto el mismo no puede ser repetido.

En el ejemplo propuesto, se utilizó una Máquina Universal calibrada y certificada, con trazabilidad internacional, cuya celda de carga posee una resolución de 1daN. Asimismo, se emplearon un calibre digital con una resolución de 0.01mm y un termómetro digital con 0.1°C de resolución, ambos calibrados y certificados, con trazabilidad a patrones internacionales.

La aplicación de técnicas estadísticas de cálculo indicadas en la Norma IRAM 35050:2001 [6], implica determinar la incertidumbre standard combinada empleando el método de las derivadas parciales y teniendo en cuenta todas las contribuciones significativas. En particular y en el caso de tracción estática en productos de acero estudiado, se propone considerar siete contribuciones que se estima están presentes en el proceso del ensayo, a saber:

Δ_{res} = resolución del calibre digital utilizado para medir la sección transversal inicial de la probeta.

Δ_{cal} = incertidumbre de calibración del calibre digital.

Δ_{des} = desvío por irregularidades geométricas en la sección transversal de la probeta.

Δ_{resN} = resolución de la celda de carga digital de la máquina universal de ensayo.

Δ_{calN} = incertidumbre de calibración de la máquina universal.

Δ_{desN} = desvío de la máquina universal.

Δ_t = influencia de la temperatura de ensayo.

Puede observarse que como componente no se tiene en cuenta la toma de muestras, porque el Laboratorio no realiza esta operación, pues siempre el usuario provee las probetas de los diferentes materiales a caracterizar. Asimismo y respecto a la influencia de la temperatura, se destaca que los ensayos de tracción se realizan dentro del intervalo normativo, es decir entre 10°C y 35°C.

Los componentes de la incertidumbre standard son entonces analizados de acuerdo a técnicas estadísticas o bien mediante distribuciones probabilísticas basadas en la experiencia, como se señala a continuación para cada uno de ellos y en el orden citado.

a) Resolución del calibre: Por tratarse de un instrumento digital, corresponde una incertidumbre con distribución de tipo rectangular.

$$u_{\text{res}} = (0.01\text{mm} / 2) / \sqrt{3}$$

b) Incertidumbre de calibración del calibre digital: De acuerdo a lo indicado en el certificado de calibración del instrumento (Certificado N° S-23693) y para un factor de cobertura $K = 2$.

$$u_{cal} = \pm 0.01\text{mm}$$

c) Desvío por irregularidades geométricas: Para determinar experimentalmente este valor, se realizaron diez mediciones de las dimensiones transversales de diferentes probetas, todas ellas en zona de la longitud calibrada, obteniéndose el correspondiente desvío.

$$u_{des} = 0.1\text{mm}$$

d) Resolución de la celda de carga de la máquina universal de ensayo: Por tratarse de un instrumento digital, también corresponde una distribución de tipo rectangular.

$$u_{resN} = (1\text{daN} / 2) / \sqrt{3}$$

e) Incertidumbre de calibración de la máquina universal: De acuerdo a lo señalado en el certificado de calibración de la máquina (Certificado N° S-24713) y para un factor de cobertura $K = 2$.

$$u_{calN} = 61\text{daN} \text{ (valor máximo obtenido)}$$

f) Desvío de la máquina universal: En el mismo Certificado de Calibración, se nomina que la desviación media de la indicación, resulta del promedio de no menos de tres determinaciones para cada punto de control de la escala, correspondiendo diferentes valores de acuerdo al punto comprobado.

$$u_{desN} = 11\text{daN} \text{ (valor máximo obtenido)}$$

Una vez determinado el valor numérico de los citados componentes, se procede al cálculo de las contribuciones, clasificándolas en dos grupos, aquellas inherentes a la sección transversal de la probeta y las que inciden sobre el valor de la fuerza aplicada durante el ensayo.

i) Contribuciones sobre el valor de la sección inicial:

$$C_{so} = (u_{res}^2 + u_{cal}^2 + u_{des}^2)^{1/2} = 0.1\text{mm}$$

ii) Contribuciones sobre el valor de la fuerza aplicada:

$$C_F = (u_{resN}^2 + u_{calN}^2 + u_{desN}^2)^{1/2} = 32\text{daN}$$

En estas condiciones, podemos determinar el valor de la incertidumbre standard teniendo en cuenta que, en la mayoría de los casos, las probetas ensayadas son de revolución y por ende su sección inicial $S_o = \pi \cdot d_o^2 / 4 \text{ (mm}^2\text{)}$. Es decir que:

$$R = F_m / S_o = 4 F_m / \pi \cdot d_o^2 \text{ (MPa)}$$

Aplicando el método de las derivadas parciales es: $u_{cR}^2 = (\delta R / \delta d_o)^2 \cdot C_{so}^2 + (\delta R / \delta F)^2 \cdot C_F^2$ donde puede denotarse que cada sumando está afectado por su correspondiente contribución.

Derivando:

$$\delta R / \delta d_o = - 4 F_m \cdot 2 d_o / \pi \cdot d_o^4 = - 8 F_m / \pi \cdot d_o^3$$

$$\delta R / \delta F = 1 / S_o = 4 / \pi \cdot d_o^2$$

Y reemplazando estos valores, obtenemos: $u_{cR}^2 = (- 8 F_m / \pi \cdot d_o^3)^2 \cdot C_{so}^2 + (4 / \pi \cdot d_o^2)^2 \cdot C_F^2$

Con la finalidad de validar la confiabilidad y aplicabilidad del método propuesto, se procede a verificar la incertidumbre standard para un caso representativo de las tareas que se realizan en nuestro Laboratorio Industrial Metalúrgico. Para ello, se adopta un valor característico de $R = 600\text{MPa}$ (resistencia a la tracción del material), y un diámetro de probeta, de sección transversal circular en la zona calibrada, $d_o = 10\text{mm}$.

$$u_{cR}^2 = [(64 \times 2218.41 \times 10^4) / \pi^2 \times 10^6] \text{ daN}^2 / \text{mm}^6 \times (0.1)^2 \text{ mm}^2 + (16 / \pi^2 \times 10^4 \text{ mm}^4) \times 32^2 \text{ daN}^2 =$$

$$= 1.44 \text{ daN}^2 / \text{mm}^4 + 0.166 \text{ daN}^2 / \text{mm}^4 = 1.606 \text{ daN}^2 / \text{mm}^4$$

$$u_{cR} = (1.606 \text{ daN}^2 / \text{mm}^4)^{1/2} = 1.27 \text{ daN} / \text{mm}^2 = \underline{12.7\text{MPa}} \text{ (incertidumbre)}$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resumiendo, en Tabla 1 se observan todas las contribuciones analizadas y su cuantificación. Se advierte que no todos los componentes ejercen la misma influencia, pero a no dudar, todos ellos están presentes en el proceso del ensayo de tracción estática propuesto.

Tabla 1. Contribuciones calculadas.

Componente	Valor numérico
Resolución del calibre	0.00289mm
Incertidumbre de calibración del calibre	0.005mm
Desvío por irregularidades geométricas	0.1mm
Resolución de la celda de carga	0.289daN
Incertidumbre de calibración de la máquina	30.5daN
Desvío de la máquina de ensayo	1 daN
Influencia de la temperatura de ensayo	no se tiene en cuenta

En particular se denota el efecto que causan las irregularidades superficiales y dimensionales, originadas en la geometría de las probetas sometidas a ensayo. Respecto a la incertidumbre de calibración de la máquina de ensayo, si bien el valor absoluto de ella pareciera ser de importancia, el mismo no adquiere preeminencia pues se trata solo del 0.3% del valor nominal de la fuerza aplicada.

4. CONCLUSIONES

Entre las conclusiones más importantes se pueden citar:

- a) La obtención de un valor de incertidumbre standard, aplicable a un caso de ensayo de tracción estática en materiales metálicos, de 2.1% (12.7MPa) de un valor referencial. Cabe citar que, de acuerdo a patrones metrologicos internacionales, esta incertidumbre debe estar comprendida entre un 2% y 3% del resultado de la medición, por lo que debe considerarse satisfactorio lo obtenido.
- b) La comprobación de la influencia que ejercen las irregularidades geométricas de la probeta a ensayar, dado que es habitual observar protocolos de ensayo donde el diámetro inicial de ésta se indica con dos decimales, siendo que aquellas obedecen a un orden superior.
- c) Confirmar y resaltar la importancia que los laboratorios deben asignar a la medición de la sección transversal de la probeta, pues en la evaluación de la incertidumbre, ésta contribuye en un 90% y la medición de la fuerza aplicada durante el ensayo, tan solo con el 10% restante.

Por último, se estima que el procedimiento de cálculo desarrollado no solo es adecuado a su fin, sino que contribuye asimismo a satisfacer las necesidades de los clientes, enmarcado en un proceso de mejora continua cuya finalidad esencial es alcanzar la excelencia en las actividades que desarrollamos en el Laboratorio Industrial Metalúrgico.

REFERENCIAS

1. International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission, "Conformity assessment. General requirements for the competence testing and calibration laboratories", 2005, ISO/IEC.
2. Instituto Argentino de Normalización, "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración", 2005, IRAM.
3. Organismo Argentino de Acreditación, institución reconocida internacionalmente mediante convenios multilaterales ILAC-MRA, IAF e IAAC.
4. International Laboratory Accreditation Cooperation, institución internacional, con sede en Australia, que agrupa a los organismos de acreditación de laboratorios.
5. International Organization for Standardization, "International vocabulary of basic and general terms in metrology", 1993, ISO.
6. Instituto Argentino de Normalización, "Estadística. Procedimientos para la evaluación de la incertidumbre de la medición", 2001, IRAM.