



XII CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA COMEC 2025

Assessment of Standard Errors in Charpy test using Parametric Bootstrap Analysis

Evaluación de errores estándar en la prueba Charpy mediante análisis bootstrap paramétrico

**Denis Soares de Freitas¹, José Guilherme de Freitas Peres², Raphael Rezende
Pires³, Regina Paula Garcia Moura⁴, Daniel Correia Freire Ferreira⁵ and Rosenda
Valdés Arencibia⁶**

1- Universidade Federal de Uberlândia, Ave João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia, MG. Brasil. E-mail: denis.freitas@ltad.com.br

2- Universidade Federal de Uberlândia, Ave João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia, MG. Brasil. E-mail: jose.guilherme@ltad.com.br

3- Universidade Federal de Uberlândia, Ave João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia, MG. Brasil. E-mail: raphael.pires@ltad.com.br

4- Universidade Federal de Uberlândia, Ave João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia, MG. Brasil. E-mail: reginagarcia@ufu.br

5- Centro de Pesquisa e Desenvolvimento - CENPES, Petrobras, Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: danielcfff@petrobras.com.br

6- Universidade Federal de Uberlândia, Ave João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia, MG. Brazil. E-mail: rosenda.arencibia@ufu.br

Abstract: Scientific studies addressing the determination of material characteristics generally do not quantify the associated uncertainty. This can be justified by the lack of a metrological culture focused on compliance with ISO/IEC 17025; the difficulty in understanding and applying the GUM method, which requires laborious and lengthy calculations; the complexity of the mathematical models used to determine material



properties; and the complexity of the testing procedure. Among the properties that are determined using complex mathematical models is ductile-to-brittle transition temperature (DBTT). This is an important parameter used to understand the material behavior at the wide range of temperature, and at the operating temperature. Thus, this paper assessed the DBTT standard errors in Charpy tests using parametric bootstrap analysis. For this purpose, Charpy tests were carried out on a Zwick/Roell HIT450P impact machine and in the temperature range of $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ to obtain the ductile-to-brittle transition curves. The fitting was performed using the hyperbolic tangent (HT) model. 10 000 bootstrap iterations were performed for each combination of dataset and regression model. The resulting standard errors represent sources of uncertainty due to random effects in the Charpy tests. Therefore, although each DBTT value is the result of fitting a complex mathematical model, its corresponding uncertainty due to random effects could be quantified. Furthermore, the developed program could be easily used to also obtain the standard errors of the other fitted parameters of the HT model, enabling a complete assessment of the uncertainties due to random effects.

Resumo: Los estudios científicos que abordan la determinación de características de materiales generalmente no cuantifican la incertidumbre asociada. Esto se justifica por la falta de una cultura metrológica centrada en el cumplimiento de la norma ISO/IEC 17025; la dificultad para comprender y aplicar el método GUM, que requiere cálculos laboriosos y demorados; la complejidad de los modelos matemáticos utilizados para determinar las propiedades de los materiales y del procedimiento de ensayo. Entre las propiedades que se determinan mediante modelos matemáticos complejos se encuentra la temperatura de transición dúctil-frágil (DBTT). Este es un parámetro importante para comprender el comportamiento del material en un amplio rango de temperaturas y a la temperatura de operación. Este artículo evaluó los errores estándar de la DBTT en ensayos Charpy mediante análisis bootstrap paramétrico. Para ello, se realizaron ensayos Charpy en una máquina Zwick/Roell HIT450P en un rango de temperatura de $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ para obtener las curvas de transición dúctil-frágil utilizando o modelo de tangente hiperbólica. Se realizaron 10 000 iteraciones bootstrap para cada combinación de conjunto de datos y modelo de regresión. Los errores estándar resultantes representan fuentes de incertidumbre debido a efectos aleatorios en las pruebas Charpy. Por lo tanto, aunque cada valor de DBTT resulta del ajuste de un



modelo matemático complejo, su correspondiente incertidumbre debida a efectos aleatorios pudo cuantificarse. Además, el programa desarrollado permitió obtener fácilmente los errores estándar de los demás parámetros ajustados del modelo HT, lo que permitió evaluar todas las incertidumbres debidas a efectos aleatorios.

Keywords: Charpy Test; Transition Curve; Absorbed Energy.

Palabras clave: Prueba Charpy; Curva de Transición, Energía Absorbida.