

# ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MATERIALES PLEGADOS A COMPRESIÓN

**Roberto Edú Arriaga Medina**

Instituto Tecnológico de Celaya  
*roberto.edu.arriaga.medina@gmail.com*

**Carmen Betsabe Rodríguez Cisneros**

Instituto Tecnológico de Celaya  
*betsa.cisne@gmail.com*

**Luis Alejandro Alcaraz Caracheo**

Instituto Tecnológico de Celaya  
*alejandro.alcaraz@itcelaya.edu.mx*

## Resumen

Los materiales plegados son materiales ligeros que poseen características mecánicas que podrían resultar interesantes y que es posible sean comunes entre ellos. Debido a esto, se realizaron ensayos de compresión en un aluminio plegado y un acero plegado con el motivo de comparar su respuesta mecánica y estudiar su comportamiento característico.

**Palabra(s) Clave(s):** deformación logarítmica, esfuerzo, materiales plegados.

## Abstract

The crumpled materials are lightweight materials that have mechanical properties that might be of interest and may be common among them. Because of this, compression tests on a crumpled aluminum and a crumpled steel were performed, with the reason of comparing the mechanical response and study their characteristic behavior.

**Keywords:** *crumpled materials, logarithmic strain, stress.*

## **1. Introducción**

Los materiales plegados son materiales que consisten básicamente en una red de pliegues aleatoria, formada a partir de doblar y comprimir una hoja.

En la actualidad, las nuevas necesidades que surgen a partir de los avances científicos y tecnológicos exigen el uso de materiales cada vez más ligeros, fáciles de fabricar y con buena resistencia mecánica. Una alternativa para dar solución a esto podría ser el uso de materiales plegados, los cuales en los últimos años han despertado interés por su baja densidad.

Los primeros estudios sobre este tipo de materiales se realizaron comprimiendo probetas esféricas, los cuales aportan poca información sobre su comportamiento mecánico, ya que no puede evitarse que los resultados dependan de esa forma y de las dimensiones de las muestras. No fue sino hasta el 2013, que con el trabajo de Bouaziz et al [1], comenzó el estudio de las propiedades mecánicas de uno de estos materiales: el aluminio plegado. Se ensayaron probetas cilíndricas concluyendo que el aluminio plegado presenta un comportamiento híbrido entre los materiales celulares y los materiales fibrosos. En los estudios posteriores, siguió utilizándose la geometría cilíndrica, como en los trabajos de Balankin et al [2], Cruz [3] y Arriaga [4], donde se reportan el módulo elástico y la resistencia a la fluencia para diferentes densidades relativas y distintos tamaños de probeta de aluminio plegado en cada caso.

Ya que los estudios antes mencionados han sido dedicados sólo al comportamiento mecánico de aluminio plegado, el propósito de esta investigación es comprender mejor la respuesta mecánica a compresión uniaxial de un material además del aluminio plegado, para este caso, un acero plegado. Este material podría ayudar a explicar el comportamiento de los materiales plegados en aplicaciones como la propuesta una patente en la que se habla de la fabricación de bloques de concreto con núcleo de acero plegado [5].

## **2. Métodos**

En este estudio se utilizaron hojas de aluminio puro con espesor estándar de 0.018 mm y densidad de 2.7 g/cm<sup>3</sup> y hojas de acero DIN 1.1274 laminado en frío y

templado con un espesor nominal de 0.01 mm y densidad de  $7.85 \text{ g/cm}^3$ . Cada hoja cuadrada de aluminio se cortó de modo que tuviera una masa cercana a 0.036 g y en el caso de las hojas de acero, hasta tener una masa de alrededor de 0.14 g. Después, las hojas se doblaron (plegaron) aleatoriamente y se comprimieron dentro de un molde cilíndrico.

Las probetas obtenidas mediante este proceso adquirieron un diámetro  $d = 7 \text{ mm}$  y una altura  $h = 6.55 \text{ mm}$  en el caso del aluminio plegado y diámetro  $d = 7.75 \text{ mm}$  con altura  $h = 7.25 \text{ mm}$  para el acero plegado (figura 1), manteniendo una razón  $h/d$  similar a la utilizada en estudios previos [1, 3, 4] y la misma densidad relativa ( $\rho_r = 0.053$ ).



Figura 1 Probetas de aluminio plegado y acero plegado.

Los ensayos se realizaron en una máquina de pruebas universal, con una celda de carga de 100 N, a una velocidad constante de 10 mm/min, bajo compresión uniaxial. Se ensayaron tres probetas de cada material.

### 3. Resultados

Se obtuvieron los datos de fuerza y desplazamiento que permitieron la elaboración de la curva esfuerzo-deformación logarítmica para cada material. En la figura 2 se muestra una curva esfuerzo-deformación logarítmica representativa para cada material.

### 4. Discusión

Como se puede notar en la figura anterior, el acero plegado es más resistente que el aluminio plegado, excepto en un rango de deformación logarítmica de entre 0.03

y 0.105, donde el acero plegado apenas se encuentra reacomodándose mientras que el aluminio plegado pasa de la zona elástica a la plástica.

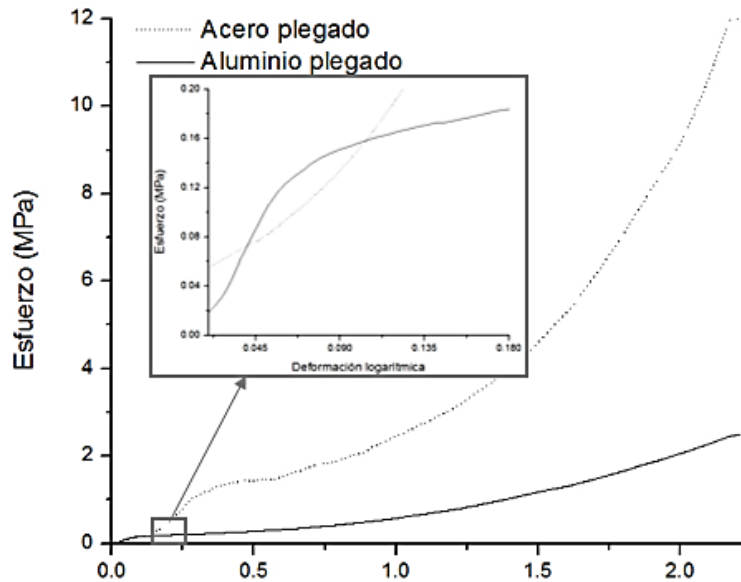


Figura 2 Esfuerzo-deformación logarítmica para el aluminio y el acero plegados.

Otro detalle importante es que en las curvas esfuerzo-deformación logarítmica de ambos materiales pueden identificarse cuatro etapas (ver figuras 3 y 4), las cuales se explican a continuación:

- Etapa I. Es una zona de reacomodo de material, que puede atribuirse al contacto incompleto entre superficies de hoja “parcialmente dobladas” [2].
- Etapa II. Es la zona elástica, donde se considera que existe una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación.
- Etapa III. Es una zona de endurecimiento por deformación, la cual corresponde a la región de meseta de los materiales celulares. La deformación es permanente, por lo que es una parte de la zona de deformación plástica.
- Etapa IV. También es una zona de deformación plástica y se le llama región de densificación, la cual comienza desde una deformación de compactación, definida como la ubicada en la intersección de la prolongación de una recta

que pasa al inicio de la etapa III con la prolongación de la recta formada por los datos finales de la etapa IV.

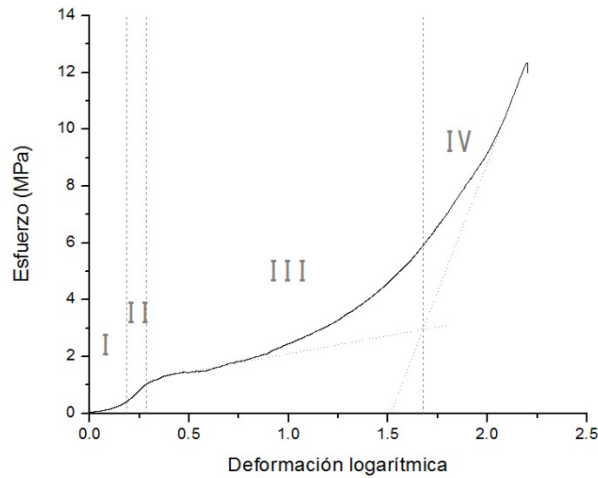


Figura 3 Las cuatro etapas en la gráfica del acero plegado.

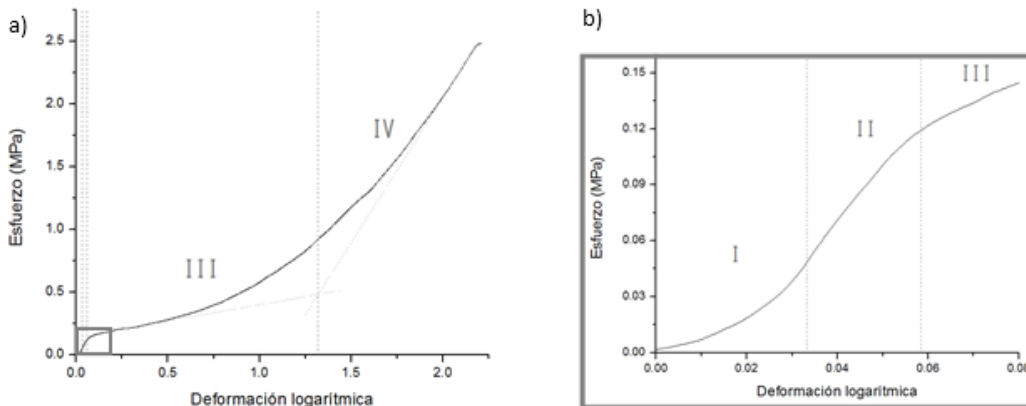


Figura 4 Las etapas de la gráfica de aluminio plegado: a) curva completa, b) ampliación.

## 5. Bibliografía y Referencias

- [1] Bouaziz, O.: Compression of crumpled aluminum thin foils and comparison with other cellular materials. *Materials Science & Engineering A*, N° 570, pág. 1–7, 2013.
- [2] Balankin, A.: Mechanical properties and relaxation behavior of crumpled aluminum foils. *Journal of Materials Science*, N° 50, 13, pág. 4749-4761, 2015.

- [3] Cruz, D. Análisis del comportamiento a compresión de aluminio plexoplegado para aplicaciones de absorción de energía. Tesis M.C. en Ing. Mec., Instituto Tecnológico de Celaya, 2015.
- [4] Arriaga, R. Efecto de la densidad relativa en las propiedades mecánicas de materiales plegados. Tesis Ing. Mec., Instituto Tecnológico de Celaya, 2015.
- [5] Palmer, R. Method for making an encased steel building block. Patent N° 3,685,244. Washington, DC: U.S., 1972.