

# **DETERMINACIÓN DEL MODELO DE COMPORTAMIENTO HASTA ROTURA DE LOS ACEROS CORRUGADOS TEMP CORE MEDIANTE MODELADO 3D**

**Herrera, MA\*; Hortigón, B; Ancio, F**

Departamento: Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Escuela  
Politécnica Superior. Universidad de Sevilla

\*E-mail: mariaaherreraa@gmail.com

## **RESUMEN**

El estudio del comportamiento real hasta rotura de los metales resulta de gran interés en la industria ya que permite determinar la tenacidad o energía absorbida durante el proceso de deformación y rotura. En cuanto a los aceros estructurales, existe el interés añadido de conocer su respuesta real ante cargas asociadas a situaciones límites como son los movimientos sísmicos.

En este trabajo se aborda el comportamiento tenso-deformacional de los aceros corrugados Tempcore. La peculiar geometría de estas barras, diseñadas a tal efecto para aumentar la adherencia acero-hormigón, dificulta el análisis de la fase de estricción desde la metodología que tradicionalmente se sigue para probetas cilíndricas, basada en diversas hipótesis de partida que no se cumplen en probetas corrugadas. Por tanto, se hace necesario el planteamiento de nuevos principios y, por ende, de nuevos procesos que permitan abordar su estudio. En este trabajo se presentan algunos de los avances realizados referentes a la evolución del perfil del cuello y a las deformaciones sufridas por las diferentes secciones transversales del mismo para estas barras.

## **PALABRAS CLAVE**

Tempcore, Corrugado, Comportamiento mecánico, Estricción, Fractura.

## ABSTRACT

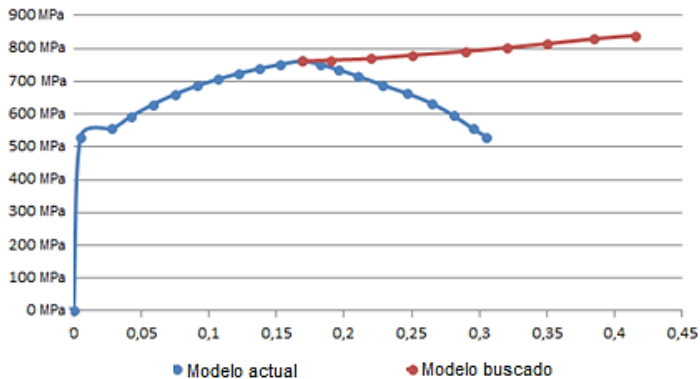
The real tensile behavior of metals beyond the UTS must be considered to calculate toughness or absorbed energy till fracture. Structural steels, designed to withstand earthquakes, are the typical material where post necking behavior can be of paramount importance. This paper deals with the tensile stress-strain behavior of TEMPCORE Rebar, a specifically shaped structural steel. Helical, short ribs, formed by rolling, protrude from the cylindrical basic shape of the Rebar. This help in increasing concrete/steel adherence in reinforced structures. On the other hand, those ribs make it difficult to assess strain distribution in the necking area, according to well-known theories describing neck shape. New or modified experimental methods, along with new theoretical approaches must be developed to help in studying neck shape evolution and corresponding stresses in Rebar. Advances in such methods and theories are presented in this paper.

## KEYWORDS

Tempcore, Rebar, Mechanical behavior, Necking, Fracture.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es **definir una metodología para estudiar el comportamiento mecánico real hasta rotura de los aceros corrugados Tempcore B500-SD**, basado en un análisis 3D de la geometría de la estricción.

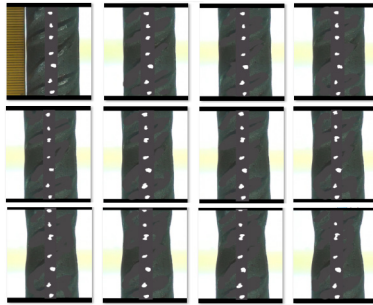


**Figura 1.** Diagrama Tensión-Deformación, comparación modelo actual y modelo objetivo.

El modelo que en la actualidad la mayoría de los autores utilizan para el cálculo de la tensión y la deformación durante la fase de estricción en probetas cilíndricas es el modelo planteado por Bridgman [2], [3] en 1944, basado en las siguientes hipótesis:

- El contorno del cuello se aproxima a un arco de circunferencia, quedando un perfil del cuello simétrico respecto a la sección mínima de la zona de estricción que se produce en cada momento.
- La sección transversal en la zona de la estricción permanece circular durante el ensayo, lo que implica una deformación axisimétrica.
- Las deformaciones en la dirección axial son constantes en todos los puntos de cada sección transversal del cuello.

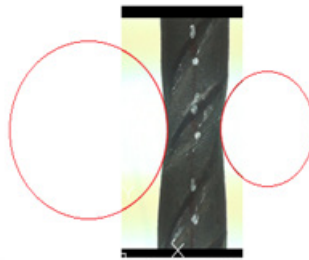
Para comprobar el comportamiento del acero Tempcore B500SD, se realizaron ensayos a tracción a 30 probetas. Estos ensayos fueron grabados enfocando el perfil de la distancia entre aletas, de esta manera se obtuvieron fotogramas como los mostrados en la Figura 2 a lo largo del ensayo con los que poder estudiar la evolución de la zona de estricción.



**Figura 2.** Evolución del cuello de una barra de acero B500SD durante la estricción.

El primer paso una vez obtenidos los fotogramas, fue la comprobación de las hipótesis de Bridgman [2], [3] para así aceptar o descartar para este tipo de probetas el modelo planteado por dicho autor.

Como se puede ver en la Figura 3 no se cumple la simetría en el cuello, por lo tanto, hay que plantear un modelo nuevo.



**Figura 3.** Demostración de la asimetría en el cuello de estricción de una probeta B500SD.

Descartada la metodología propuesta por Bridgman [2],[3], se ha utilizado como ecuación alternativa para el cálculo de tensiones de plastificación la planteada por La Rosa [4], (Ec. 1), independiente de la geometría del cuello.

$$\sigma_f = \overline{\sigma_z} * MLR = \overline{\sigma_z} * (0,9969 - 0,6058 (\epsilon_{eq} - \epsilon_{maxreal})^2 + 0,6317 (\epsilon_{eq} - \epsilon_{maxreal})^3 - 0,2107 (\epsilon_{eq} - \epsilon_{maxreal})^4) \quad (Ec.1)$$

Para obtener la tensión media axial:

$$\sigma_z = \frac{F}{A} \quad (Ec.2)$$

Y para la deformación equivalente:

$$\epsilon_{eq} = Ln \frac{A_0}{A} \quad (Ec.3)$$

La no existencia de simetría axisimétrica obligó a complementar los datos de las grabaciones de los ensayos con un análisis en tres dimensiones para encontrar una **relación entre el área transversal y la distancia entre aletas en la sección mínima**, consistente en un escaneado de la zona del cuello y posterior tratamiento con los softwares “Catia” y “AutoCad”.

## **METODOLOGÍA**

Para la realización de este estudio se siguieron 4 métodos diferentes que se fueron ideando según se presentaba un problema en el método anterior. A continuación, se detallarán las diferentes aproximaciones y se explicarán los motivos por los que se descartaron hasta llegar a la metodología final.

### **Primer método:**

La primera idea para afrontar este estudio fue partir del material ya ensayado del que se habló anteriormente.



**Figura 4.** Barra ya ensayada hasta rotura B500SD-7 preparada para escaneado.

Al partir de una barra previamente fracturada, para poder escanearla en su totalidad se intentó mediante adhesivo tipo EPOXY, Nural 21, unir ambas partes por la zona de rotura. Tras dejar secar el producto durante más de 24 horas, debido a la forma de la rotura y a la esbeltez de la barra, no se consiguió mantener la unión el tiempo suficiente para escanearla, descartando por ello este método.

### **Segundo método:**

Para evitar el problema que causaba unir ambas partes, se pensó en escanear las partes de la probeta por separado, para después intentar mediante el software “Catia” unir digitalmente ambas partes.



**Figura 5.** A la izquierda modelo escaneado de la barra mostrada en la imagen de la derecha.

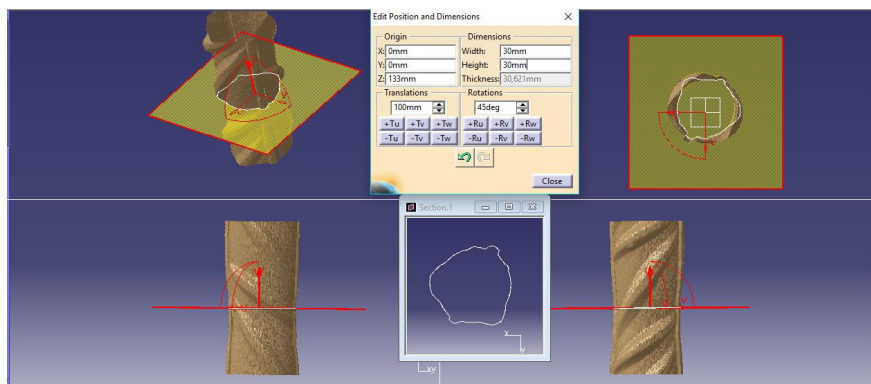
Una vez secas se introdujeron en el escáner 3D existente en el Taller de Prototipos de la Escuela Politécnica Superior de Sevilla. A pesar de la exactitud del escaneado en la mayor parte de la probeta, se observan superficies inexactas en la parte superior, debido a que el escáner es rotacional, lo que imposibilita el escaneado de la parte superior y, por tanto, la unión digital de ambas partes.

Por todo ello, se descartó igualmente este método.

### **Tercer método:**

Tras los dos intentos anteriores de partir de barras ensayadas hasta rotura, se pasó a ensayar 5 probetas del mismo material, B500SD, deteniendo dichos ensayos en un instante próximo a rotura.

Se procedió a la obtención de diferentes secciones a lo largo del eje longitudinal de la probeta. Estas secciones se realizaron distanciadas unas de otras por un milímetro. De forma que se obtuvieron de 30 a 35 secciones por barra, dependiendo de la longitud escaneada, para su posterior estudio, Figura 6 y 7.



**Figura 6.** Captura de pantalla de obtención de una sección.

A partir de la sección obtenida en “CATIA”, se en “AutoCAD” el área de la sección y la distancia entre aletas

Con estos dos datos obtenidos en AutoCad para cada sección de las 5 barras, se llegó a la relación área transversal-distancia entre aletas, la cual se presenta en la Figura 8.

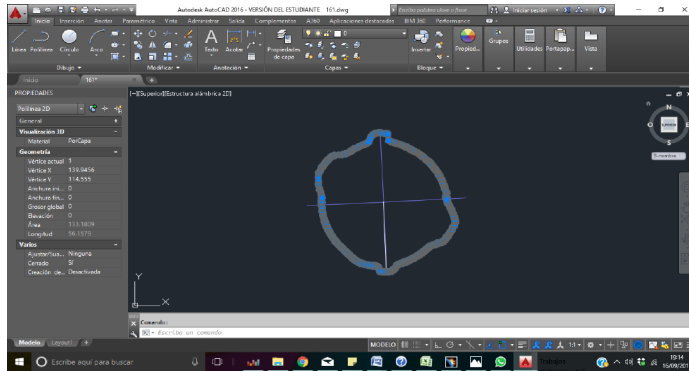


Figura 7. Cálculo del área de la sección mediante software AutoCad.

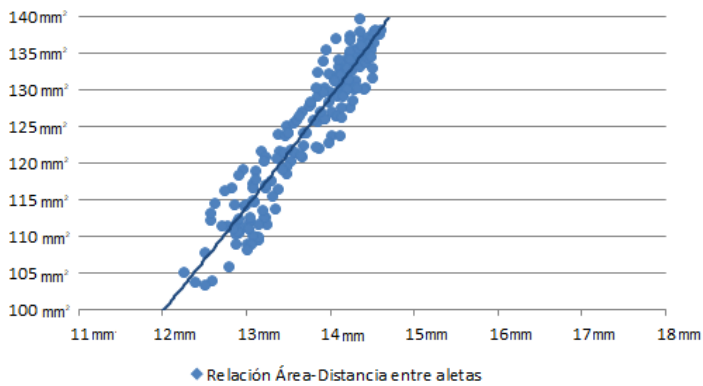


Figura 8. Gráfica relación Área-Distancia entre aletas de la probeta B500SD-A.

La ecuación obtenida resulta, con un factor de ajuste  $R^2 = 0.8844$ :

$$A = 0.55306599 * d_{\text{aletas}}^2 + 20.67624956 \quad (\text{Ec.4})$$

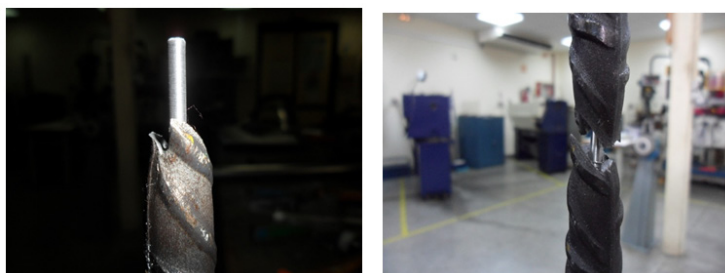
Una vez conseguida la relación área distancia entre aletas, se volvió al análisis de las 30 probetas que se ensayaron hasta rotura, obteniendo el área transversal a partir de la evolución de la distancia entre aletas grabada en los ensayos.

Con esta área y la fuerza instantánea asociada, se obtiene tensión axial y como se dijo anteriormente, con la tensión axial y el coeficiente de la Rosa la tensión de fluencia (Ec.1).

Además, con el área obtenemos los datos de deformación equivalente (Ec.3). Al plantear estos datos en una gráfica se obtiene una caída en los datos de tensión de fluecia, al no ser este un comportamiento real no se puede dar por válido este modelo.

#### **Cuarto método:**

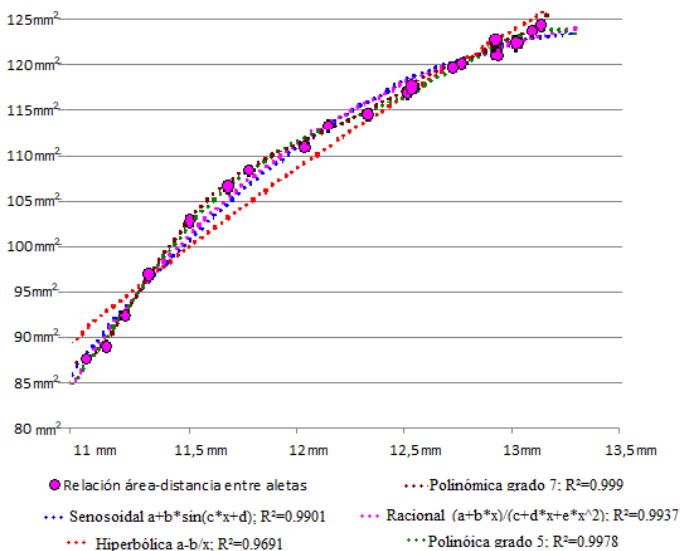
Se volvió a las barras ensayadas hasta rotura y se planteó un mejor método para la unión, uniendo ambas partes de las barras mediante un perno. Posteriormente se siguió la misma metodología que en método anterior.



**Figura 9.** Detalle de la unión de la probeta gracias a un perno.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Introduciendo los valores área distancia entre aletas en una gráfica, se puede observar que en este caso hay menor dispersión en los valores obtenidos. A estos datos se les ajustaron varios tipos de ecuaciones todos con ajustes superiores al 0,95.

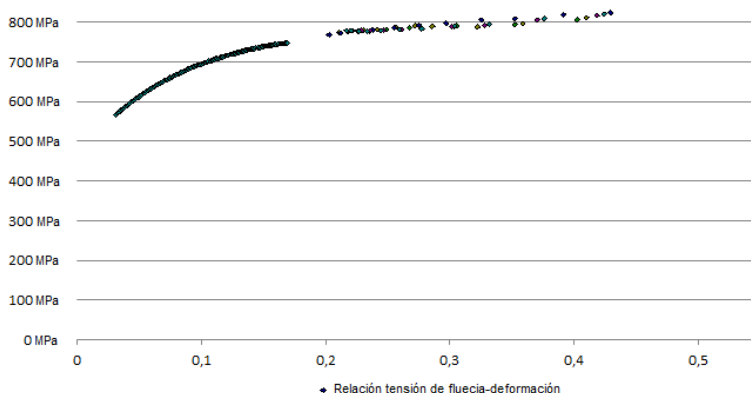


**Figura 10.** Diferente ajustes Área-Distancia entre aletas.



Siguiendo la metodología descrita anteriormente se obtienen los valores de tensión de fluencia frente a deformación equivalente durante la estricción. Introduciendo los datos correspondientes a la zona de endurecimiento por deformación, la ecuación final que define el comportamiento del material hasta rotura es:

$$f(x) = 975.0207 * x^{0.143}; \quad R^2 = 0.9695 \quad (\text{Ec.4})$$



**Figura 11.** Curva completa Tensión de Fluencia frente a Deformación de la barra B500SD-14.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo son las siguientes:

- La metodología de Bridgman no se ajusta al acero TEMP CORE B500SD ya que el perfil del cuello en la estricción no mantiene la simetría.
- Se ha puesto en marcha una nueva metodología experimental para determinar el comportamiento mecánico de estos aceros corrugados mediante un modelado 3D

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Eurocódigo 2-92. (1992). Proyecto de estructuras de hormigón armado. Parte 1-1: Reglas generales y reglas de edificación. Bruselas: Comité Europeo de Normalización (CEN).
- [2] Bridgman, P.W. (1944). The stress distribution at the neck of a tension specimen. *Transaction of the American Society for Metals*, 32, pp. 553–574.
- [3] Bridgman, P.W. (1952). *Studies in large plastic flow and fracture*. Nueva York: McGraw Hill.

- [4] La Rosa, G., Mirone, G., y Risitano, A. (2003). Postnecking elastoplastic characterization: Degree of approximation in the Bridgman method and properties of the flow-stress/true-stress ratio. *Metallurgical and Materials Transactions*, 34(3), pp. 615–624.