

Caracterización mecánica de aceros empleados en el sector de la construcción de Almería^(*)

A.J. Senobua*, E. Garzón*, J. Ayuso**, F. Pérez** y A. Caballero**

Resumen

Se realizaron varios ensayos sobre las barras de acero utilizadas en la construcción de obra civil en Almería, durante el período comprendido entre 18/1/2000 y 7/05/2001, con el fin de caracterizar, mecánicamente, los diferentes tipos de aceros (soldables: B400S, B500S y soldable dúctil: B400SD) y, de esta forma, determinar si existe alguna razón técnica para un incremento del consumo del acero soldable dúctil. Para ello, se ensayaron a tracción todas las muestras que llegaron al laboratorio, siguiendo las normas UNE 7474-1:1992 y UNE 7474-2:1992. Los resultados indican que el acero B400SD cumple, sólo, en un 86 % los límites especificados en la norma UNE 36065:1999 -EX, frente al 95 y 94 % de los aceros B400S y B500S. Además, el acero soldable dúctil muestra unos valores medios inferiores al B400S. Este hecho discrepa de lo que se podría esperar según la norma que lo regula.

Palabras clave

Caracterización mecánica. Aceros corrugados. Obra civil.

Characterizing of steel used in the construction of civil works in Almería

Abstract

Various tests have been conducted on the steel bars used in the construction of civil works in Almería (Spain) during the period 18 January 2000-7 May 2001, with the aim of mechanically characterizing the different types of steel (weldable: B400S, B500S and ductile weldable: B400SD) to determine whether there is a technical reason for the increase in the use of ductile weldable steel. For this, we have used a hydraulic machine to break by traction all the test samples that arrived to the laboratory, following the specifications of the UNE 7474-1:1992 and the UNE 7474-2:1992. The results indicate that only in 86 % of the cases does the steel B400SD satisfy the limits specified by the UNE 36065:1999-EX, as opposed to 95 and 94 % of the B400S and B500S steels. In addition, the ductile weldable steel registered mean values lower than those of B400S. This finding disagrees with expectations set by the specifications.

Keywords

Characterizing mechanics. Corrugated steel. Civil works.

1. INTRODUCCIÓN

Según la Norma Sismorresistente (NCSE-94), la provincia de Almería está situada en una zona de sismicidad media a alta, lo que hace previsibles sismos de intensidad igual o superior a los de grado VI e inferior a los de grado IX. Los daños que pueden experimentar las construcciones con estructura metálica o de hormigón armado, son más graves a medida que aumenta el grado de intensidad en la escala microsísmica internacional (MSK). Dichos daños, pueden ser ligeros, en el caso de grado VII, graves, en el caso de grado VIII, o, incluso,

destrucción, si hay grado IX^[1]. Este hecho es suficiente para que se intente utilizar, en lo posible, un material estructural que soporte las acciones que desencadenarían los sismos en caso de producirse.

El hormigón armado, formado por hormigón y barras corrugadas de acero, es uno de los materiales estructurales más utilizados en la construcción. Por ello, es muy importante el estudio de su comportamiento y el de sus componentes frente a cualquier tipo de sollicitaciones.

En 1999, AENOR redactó una norma experimental para barras corrugadas de acero soldable

(*) Trabajo recibido el día 17 de junio de 2002 y aceptado en su forma final el día 26 de febrero de 2003.

(*) Dpto. de Ingeniería Rural. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

(**) Dpto. de Ingeniería Rural. E.T.S.I.A.M. Universidad de Córdoba.

con características especiales de ductilidad^[2], utilizadas en hormigón armado. En ésta, se caracteriza el tipo de acero B400SD que, gracias a su elevado nivel de ductilidad, mejora las condiciones de seguridad frente al colapso de la estructura en situaciones con sollicitaciones importantes de carácter extraordinario, tales como las sísmicas^[2 y 3]. El empleo de este tipo de acero como armadura se está imponiendo en la provincia en los últimos años.

Los hechos anteriores justifican el interés por conocer las propiedades mecánicas de las barras corrugadas del acero B400SD, así como las de los aceros B400S y B500S, que llevan más tiempo utilizándose como armaduras de hormigón.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los ensayos sobre barras se realizaron en el Laboratorio de Materiales de Almería. Los redondos que se utilizaron procedían de lotes de material, pertenecientes a fabricantes certificados por AENOR, que iban a ser colocados en obras de protección oficial como armadura de hormigón. Sobre las probetas, se efectuaron ensayos de tracción según la Norma UNE 7474-1:1992^[4], para comprobar sus características mecánicas. Respetando dicha normativa, se rompieron tres probetas a tracción para cada muestra recogida que, como mínimo, estaba compuesta por tres barras con una longitud inicial, cinco veces el diámetro (0,6 m, como máximo, de longitud de la carrera del equipo) (ensayo de tracción), y otras tres de 1,5 m (para identificar el fabricante del producto).

La máquina de ensayos utilizada fue una universal hidráulica de 60 toneladas-fuerza de la empresa IBERTEST (MIB-60-AM), calibrada según la Norma UNE 7474-2:1992^[5].

Durante la ejecución del ensayo, la máquina realiza lecturas de fuerza (en kilogramos-fuerza) y de alargamiento (en milímetros), con lo que se puede obtener la curva de tensión-deformación, además de otras características mecánicas del acero.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de ensayos de tracción efectuados, según la norma UNE 7474-1:1992^[4], sobre barras corrugadas de los tipos de acero B400SD, B400S y B500S, se indican en la tabla I, donde se observa el mayor empleo de los aceros B400SD y B500S. Estas diferencias de consumo pueden ser debidas a que, según la EHE-98^[3], estos dos tipos de acero,

Tabla I. Número de ensayos realizados en el Laboratorio de Materiales (Almería), sobre los distintos tipos de barras corrugadas, durante el período de estudio

Table I. Number of tests made in the materials laboratory (Almeria) on the different types of corrugated bars, during the study period.

Tipo de acero	Número de ensayos
B400S	130
B400SD	259
B500S	259

deben tener unas características mecánicas superiores a las del tipo B400S.

Según se indica en la norma UNE 36065:1999-EX^[2], la seguridad de una estructura frente al colapso es mayor si en el hormigón armado se utiliza un acero dúctil, como es el caso del B400SD, razón que sería más que suficiente para explicar el mayor empleo de este tipo de barras con respecto a las del acero B400S. En cuanto a las barras del tipo B500S, la norma UNE 36068:1994^[6] especifica, para este acero, unos valores mínimos de tensión en el límite elástico (R_e) y de tensión máxima (R_m), superiores a los exigidos en el acero B400S, aspecto que hace suponer la mayor resistencia del primer tipo de barras frente a las sollicitaciones que puedan darse en una estructura de hormigón armado. Este hecho justificaría que se consuman más a menudo las barras de acero B500S.

De los 648 ensayos realizados, se descartaron 34 que no fueron válidos, ya que los valores de los parámetros registrados eran erróneos, debido a fallos en la prueba o por producirse la rotura en la probeta fuera de la zona correcta, según la normativa. Por lo tanto, el número de muestras analizadas, finalmente, fue el correspondiente a 614 ensayos, tal y como se deduce de la tabla II.

Tabla II. Número de ensayos analizados en cada tipo de acero, para los distintos diámetros

Table II. Number of tests made in each type of steel for the different diameters.

Acero	Diámetro (mm)								Total
	6	8	10	12	16	20	25	32	
B4000SD	3	18	32	65	61	53	16	0	248
B400S	0	12	15	34	42	16	6	0	125
B500S	2	27	32	58	66	33	21	2	241
Total	5	57	79	157	169	102	43	2	614

3.1. Calidad de las barras corrugadas de acero

Los valores indicados en la tabla III, manifiestan las diferencias existentes entre los tres tipos de acero, aunque el B500S es el que más se distancia de los otros, tal y como cabría esperar teniendo en cuenta los requerimientos que se le exigen en la norma UNE 36068:1994 [6]. Las barras de acero B500S resistieron tensiones más altas que los otros aceros, aunque las deformaciones soportadas por aquellas fueron menores.

En relación con los aceros B400S y B400SD debe señalarse que, tanto las tensiones y la rela-

ción Rm/Re como las deformaciones medias, resultaron ser más altas en las barras de acero B400S, hecho que pone en duda las diferencias establecidas por la norma UNE 36065:1999-EX [2] y por las marcas de barras corrugadas, entre otras, ya que éstas explican que el acero B400SD posee unas características especiales de ductilidad.

Los valores de las propiedades mecánicas del material, revelan que las barras corrugadas del tipo B400S cumplen, en mayor proporción, los límites indicados en la norma UNE 36068:1994 [6] para la resistencia en el límite elástico (87 %), el alargamiento porcentual de rotura (94 %) y

Tabla III. Características mecánicas medias obtenidas en los ensayos sobre barras corrugadas para cada tipo de acero y diámetro

Table III. Average mechanical properties found in the tests on corrugated bars for each type of steel and diameter.

Aceros	Diámetro (mm)	Re (MPa)	Rm (MPa)	Rr (MPa)	Re _{real} /Re _{nom}	Rm/Re	Am (%)	Ar (%)
B400SD	6	514,30	644,16	587,75	1,29	1,28	28,84	42,29
	8	430,58	565,69	513,46	1,08	1,32	68,29	83,23
	10	420,30	552,09	486,38	1,08	1,31	40,10	59,44
	12	429,46	565,55	472,19	1,09	1,32	41,69	58,94
	16	412,93	545,97	464,81	1,05	1,29	41,81	55,63
	20	413,17	566,70	484,04	1,05	1,37	28,90	36,84
	25	375,08	528,40	428,61	1,00	1,41	23,85	28,19
B400S	8	428,01	548,74	480,55	-	1,29	73,97	85,68
	10	455,73	596,99	538,65	-	1,33	63,84	77,02
	12	454,95	591,65	522,78	-	1,31	49,50	67,17
	16	440,40	575,64	507,71	-	1,53	35,41	48,21
	20	416,72	544,60	474,51	-	1,51	32,70	44,19
	25	441,94	588,75	528,52	-	1,35	30,11	39,39
B500S	6	499,83	694,89	621,61	-	1,39	80,69	101,73
	8	543,99	647,94	582,92	-	1,20	28,03	34,47
	10	545,26	649,18	562,77	-	1,21	29,21	39,17
	12	535,44	638,65	557,50	-	1,22	29,81	40,36
	16	547,15	647,04	563,93	-	1,19	24,91	33,91
	20	552,06	666,39	567,26	-	1,21	31,43	54,50
	25	514,03	680,93	590,14	-	1,34	28,25	36,98
B400SD	-	430,60	571,42	476,32	1,08	1,33	40,34	54,24
B400S	-	451,84	584,49	509,66	-	1,41	46,83	60,90
B500S	-	544,94	656,82	567,91	-	1,22	27,77	36,82

Nota: Resistencia en el límite elástico (Re), expresada en Mpa; Resistencia máxima a tracción (Rm), expresada en Mpa; Resistencia a rotura (Rr), expresada en Mpa; Alargamiento bajo carga máxima (Am), expresado en %; Alargamiento a rotura (Ar), expresado en %; Relación entre las resistencias máxima y el límite elástico (Rm/Re); Relación entre las resistencias en el límite elástico real y nominal (Re_{real}/Re_{nom}), sólo para el caso del acero B400SD.

Note: Limit elastic resistance (Re), above mentioned in Mpa; Maximum traction resistance (Rm), above mentioned in Mpa; Break tension (Rr), above mentioned in Mpa; Percentage of elongation at maximum resistance (Am), above mentioned in %; Percentage of elongation at breakage (Ar), above mentioned in %; Relation between maximum traction resistance and in the elastic limit (Rm/Re); Relation between strengths in the real and nominal limits (Re_{real}/Re_{nom}), only for B400SD steel.

la relación Rm/Re (100 %). Sin embargo, para la resistencia máxima y para el alargamiento porcentual bajo carga máxima, el acero B500S es el que mejor cumple las características impuestas por la citada norma (en un 98 % para ambos parámetros), como se aprecia en la tabla IV.

Según las comprobaciones realizadas, el acero B400SD registró los porcentajes más bajos en cuanto al cumplimiento de la normativa (Tabla IV) aunque, hay que mencionar que, la norma UNE 36065:1999-EX [2], correspondiente a este tipo de acero, es más exigente que la UNE 36068:1994 [6], empleada con los tipos B400S y B500S.

Los resultados obtenidos para los distintos tipos de acero se detallan a continuación.

3.1.1. Barras de acero B400SD

Para este tipo de barras corrugadas se ensayaron muestras de material perteneciente a los fabricantes indicados en la tabla V, observándose que la mayor parte del acero estudiado procede del fabricante F₄ (32,0 %).

El análisis de la calidad en las características mecánicas del acero B400SD, según fabricante, ha

dado los resultados indicados en la tabla VI, donde se aprecia que ninguna marca cumple, al cien por cien en todos los parámetros, los valores indicados en la norma UNE 36065:1999-EX [2]. El acero que mostró mayor calidad fue el del fabricante F₇ (92 % de cumplimiento medio de la norma), mientras que la peor calidad se dio en el material perteneciente al grupo de otros fabricantes.

3.1.2. Barras de acero B400S

Las barras corrugadas ensayadas del tipo B400S pertenecen a los fabricantes indicados en la tabla VII, donde se observa que la mayor parte del acero utilizado en la construcción de Almería, son de los fabricantes F₂ y F₄ (44,6 % y 42,3 % respectivamente).

La tabla VIII muestra los porcentajes obtenidos para cada fabricante, a partir de la evaluación de calidad según los ensayos realizados, observándose que, al trabajar con este tipo de acero, la mayoría de las marcas cumplen los distintos parámetros de calidad en un alto porcentaje.

3.1.3. Barras de acero B500S

Los ensayos se efectuaron sobre muestras pertenecientes a los fabricantes reseñados en la tabla IX,

Tabla IV. Requerimientos mecánicos exigidos en las normas UNE 36065:1999-EX y UNE 36068:1994, y resultados de las comprobaciones de calidad realizadas para cada tipo de acero

Table IV. Mechanical requirements demanded in the standards UNE 36065:1999-EX and UNE 36068:1994 and result of the quality check made for each type of steel.

Tipo de Acero	Valores mínimos exigidos por la normativa						Norma
	Re	Rm	Re _{real} /Re _{nom}	Ar	Am	Rm/Re	
B400SD	400	480	≤1,20	≥20	≥9	≥1,20 ≤1,35	UNE 36065:1999 EX
B400S	400	440	-	≥14	≥5	≥1,05	UNE 36068:1994
B500S	500	550	-	≥12	≥5	≥1,05	UNE 36068:1994
Número de ensayos que cumplen la normativa							Nº Ensayos que cumplen todos los requisitos
Tipo de Acero	Re	Rm	Re _{real} /Re _{nom}	Ar	Am	Rm/Re	
B400SD	206	237	237	199	232	164	129
B400S	109	121	-	118	119	125	105
B500S	205	236	-	223	235	237	190
Porcentaje de ensayos que cumple la normativa							Porcentaje
Tipo de Acero	Re	Rm	Re _{real} /Re _{nom}	Ar	Am	Rm/Re	
B400SD	83 %	96 %	96 %	80 %	94 %	66 %	52 %
B400S	87 %	97 %	-	94 %	95 %	100 %	84 %
B500S	85 %	98 %	-	93 %	98 %	98 %	79 %

Nota: Igual que en la tabla III.

Note: Same as in Table III.

Tabla V. Porcentajes de ensayos realizados sobre barras de acero B400SD

Table V. Percentages of tests made on bars of B400SD steel

Fabricantes	Porcentaje
F ₁	15,4 %
F ₂	2,3 %
F ₃	15,8 %
F ₄	32,0 %
F ₅	4,2 %
F ₆	6,2 %
F ₇	4,6 %
F ₈	1,5 %
F ₉	15,8 %
Otros	1,9 %
Total	100 %

Nota: Igual que en la tabla III.
Note: Same as in Table III.

Tabla VI. Ensayos del acero B400SD que cumplen con las características mecánicas indicadas en la norma UNE 36065:1999-EX, según el fabricante

Table VI. Tests of B400SD steel that pass the standard mechanical properties recommended in the rule UNE 36065EX:1999-EX, according to the manufacturer

Porcentaje que cumple la norma						
Fabricante	Re	Rm	Re/R _{nom}	Ar	Am	Rm/Re
F ₁	87 %	95 %	95 %	68 %	89 %	66 %
F ₂	100 %	100 %	83 %	83 %	100 %	67 %
F ₃	71 %	95 %	93 %	83 %	95 %	49 %
F ₄	83 %	96 %	99 %	81 %	95 %	68 %
F ₅	100 %	91 %	91 %	64 %	91 %	82 %
F ₆	87 %	93 %	100 %	80 %	87 %	80 %
F ₇	83 %	100 %	100 %	100 %	100 %	67 %
F ₈	50 %	100 %	75 %	100 %	100 %	50 %
F ₉	88 %	98 %	100 %	90 %	98 %	73 %
Otros	75 %	75 %	50 %	25 %	50 %	75 %
Total	83 %	96 %	96 %	80 %	94 %	66 %

Nota: Igual que en la tabla III.
Note: Same as in Table III.

donde se aprecia que las barras de F₁, F₄, F₁₄ y F₉ han sido las más utilizadas en el periodo de estudio.

La evaluación de calidad para los distintos fabricantes, se sintetiza en la tabla X, donde se ve

Tabla VII. Porcentajes de ensayos realizados sobre barras de acero B400S

Table VII. Percentages of tests made on bars of B400S steel

Fabricantes	Porcentaje
F ₂	44,6 %
F ₃	1,5 %
F ₄	42,3 %
F ₅	3,8 %
F ₆	3,1 %
F ₇	0,8 %
F ₈	2,3 %
F ₉	0,8 %
F ₁₀	0,8 %
Total	100 %

Tabla VIII. Ensayos del acero B400S que cumplen con las características mecánicas indicadas en la norma UNE 36068:1994, según el fabricante

Table VIII. Tests of B400S steel that pass the mechanical properties recommended in the standard UNE 36068:1994 according to the manufacturer

Porcentaje que cumple la norma						
Fabricante	Re	Rm	Re/R _{nom}	Ar	Am	Rm/Re
F ₂	84 %	95 %	83 %	83 %	100 %	67 %
F ₃	50 %	100 %	93 %	83 %	95 %	49 %
F ₄	88 %	98 %	99 %	81 %	95 %	68 %
F ₅	100 %	100 %	91 %	64 %	91 %	82 %
F ₆	100 %	100 %	100 %	80 %	87 %	80 %
F ₇	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	67 %
F ₈	100 %	100 %	75 %	100 %	100 %	50 %
F ₉	100 %	100 %	100 %	90 %	98 %	73 %
F ₁₀	100 %	100 %	100 %	90 %	98 %	73 %
Total	100 %	97 %	96 %	80 %	94 %	66 %

que el nivel de cumplimiento de la normativa es bastante alto.

3.2. Influencia del fabricante y del diámetro sobre las características mecánicas de las barras corrugadas de acero empleadas en construcción

En la tabla XI se resumen los factores que han influido sobre los parámetros estudiados, indicando

Tabla IX. Porcentajes de ensayos realizados sobre barras de acero B500S

Table IX. Test percentages made on bars of B500S steel

Fabricantes	Porcentaje
F ₁	13,5 %
F ₁₁	10,4 %
F ₂	6,2 %
F ₃	4,2 %
F ₁₂	7,7 %
F ₄	13,5 %
F ₅	0,8 %
F ₆	5,8 %
F ₇	2,3 %
F ₈	4,6 %
F ₁₀	1,2 %
F ₁₃	0,4 %
F ₁₄	12,7 %
F ₉	12,0 %
Otros	4,6 %
Total	100 %

con un "SI" cuando el factor es influyente sobre la característica mecánica y con un "NO" si no lo es.

El acero B400SD presentó diferencias en la tensión en el límite elástico, tensión de rotura y en los dos tipos de deformación estudiados, atendiendo al fabricante y al diámetro nominal de las barras, observándose que, a mayor diámetro, las tensiones en el límite elástico y de rotura disminuyen ($P < 0,05$). Sin embargo, esta tendencia sólo se mantiene en las deformaciones entre los diámetros (20, 16, 12, 10, 8) y, por el contrario, las deformaciones de las barras de 25 y 6 fueron muy parecidas (Tabla XII).

En cuanto al fabricante, se aprecia que el grupo de otros fabricantes presenta la tensión en el límite elástico más alta y las deformaciones más bajas. Sin embargo, con la tensión de rotura no se produjeron tales diferencias (Tabla XII).

Por el contrario, cuando se analiza el grado de cumplimiento de la normativa se observa que el único factor que produce diferencias apreciables, estadísticamente ($P < 0,05$), es la deformación en el punto de rotura respecto al fabricante. Coincidiendo con el grupo de otros fabricantes, en los valores más bajos de este parámetro.

El acero B400S registró diferencias significativas ($P < 0,05$) en la tensión de rotura y deformaciones bajo carga máxima y a rotura, respecto al diámetro de las barras, observándose que, en

Tabla X. Ensayos del acero B500S que cumplen con las características mecánicas indicadas en la norma UNE 36068:1994, según el fabricante

Table X. Test of B500S steel that pass the standard mechanical properties recommended in the standard UNE 36068: 1994, according to the manufacturer

Fabricante	Porcentaje que cumple la norma					
	Re	Rm	Re/R _{nom}	A rotura	A máxima	Rm/Re
F ₁	91 %	100 %	-	100 %	100 %	97 %
F ₁₁	71 %	100 %	-	100 %	100 %	100 %
F ₂	88 %	100 %	-	100 %	100 %	100 %
F ₃	100 %	100 %	-	91 %	100 %	100 %
F ₁₂	100 %	100 %	-	75 %	95 %	100 %
F ₄	73 %	91 %	-	85 %	91 %	97 %
F ₅	100 %	100 %	-	100 %	100 %	100 %
F ₆	100 %	100 %	-	100 %	100 %	100 %
F ₇	50 %	100 %	-	100 %	100 %	100 %
F ₈	100 %	100 %	-	100 %	100 %	100 %
F ₁₀	100 %	100 %	-	50 %	100 %	100 %
F ₁₃	100 %	100 %	-	100 %	100 %	100 %
F ₁₄	88 %	97 %	-	91 %	97 %	97 %
F ₉	82 %	96 %	-	93 %	96 %	96 %
Otros	70 %	100 %	-	90 %	100 %	100 %
Total	85 %	98 %	-	93 %	98 %	98 %

Nota: Igual que en la tabla III.
Note: Same as in Table III.

las barras más pequeñas, se producían los mayores alargamientos. Sin embargo, en la tensión de rotura no se manifestó tan claramente esta tendencia (Tabla XIII).

Al analizar el grado de cumplimiento de la normativa para los dos parámetros, no se aprecian diferencias respecto a ninguna variable.

En el acero B500S se detectaron diferencias en la tensión en el límite elástico, las deformaciones bajo carga máxima y a rotura respecto al fabricante (Tabla XIV). Siendo el fabricante F₇, el que produjo la tensión en el límite elástico más baja, y el grupo de otros fabricantes, los valores más altos. Por el contrario, las deformaciones bajo carga máxima y a rotura fueron máximas, para F₇.

En cuanto al cumplimiento de la normativa de las diferentes variables, para los dos parámetros analizados, no se produjeron diferencias apreciables, estadísticamente.

Tabla XI. Influencia del tipo de acero, el fabricante y el diámetro nominal sobre las características mecánicas de las barras corrugadas (según análisis de la varianza con significación a $P < 0,05$)

Table XI. Influence of the type of steel, the manufacturer and of the nominal diameter on relation to the mechanical properties of corrugated bars ($P < 0,05$)

Aceros	Parámetros	Tensión Re	Tensión Rm	Tensión rotura	Deform. Am	Deform. Ar
B400SD	Fabricante	Si	No	Si	Si	Si
	Diámetro nominal	Si	No	Si	Si	Si
B400S	Fabricante	No	No	No	No	No
	Diámetro nominal	No	No	Si	Si	Si
B500S	Fabricante	Si	No	No	Si	Si
	Diámetro nominal	No	No	No	No	No

Nota: Igual que en la tabla III.

Note: Same as in Table III.

Tabla XII. Tensión en el límite elástico, tensión de rotura, alargamiento bajo carga máxima y alargamiento a rotura, a distintos diámetros y fabricantes, en el acero B400SD

Table XII. Yield strength resistance, ultimate strength, elongation at maximum resistance and elongation at different diameters and manufacturers, in the B400SD steel

Variable	Tensión Re	Tensión rotura	Deformación Am	Deformación Ar
Diámetro				
25	411,49a	435,84a	23,87a	28,71a
20	428,92ab	495,14b	32,57ab	41,94a
16	433,05ab	471,96ab	44,67c	58,74b
12	450,88b	486,56b	43,18c	60,32b
10	445,54ab	487,61b	42,42bc	60,41bc
8	444,78ab	504,22bc	66,23d	79,31c
6	538,5c	595,94c	24,44abc	37,79abc
Fabricante				
F ₁	431,25ab	483,35ac	27,26ab	34,67ac
F ₂	473,37b	539,74bc	47,85bcde	59,24bcdef
F ₃	426,25ab	488,55ac	44,02cd	56,96de
F ₄	438,75ab	465,98a	36,83bc	48,72bd
F ₅	442,25ab	503,41abc	22,55ab	28,24abc
F ₆	410,82a	471,87ac	35,6abc	53,11bcde
F ₇	424,84ab	511,78abc	64,68e	93,32f
F ₈	443,1ab	526,44abc	71,43de	87,5ef
F ₉	442,07ab	526,01b	37,32bc	51,2bde
Otros	571,54c	450,37abc	8,68a	10,63a

Nota: Columnas seguidas de distinta letra muestran diferencias significativas a $P < 0,05$. Los símbolos Re, Am y Ar son iguales a los de la tabla III.

Note: Columns followed by a different letter show the relevant differences at $P < 0,05$. The symbols Re, Am and Ar are equal to those of table III.

Tabla XIII. Tensión de rotura, alargamiento bajo carga máxima y alargamiento a rotura, a distintos diámetros, en el acero B400S

Table XIII. Ultimate strength, elongation at different diameters, in the B400S steel

Diámetro	Tensión rotura	Deformación Am	Deformación Ar
25	522,37abc	20,54a	29,37abc
20	466,11a	17,10a	24,84a
16	498,93ab	23,04a	32,71ab
12	518,68bc	35,39ab	49,24bc
10	542,4c	54,35bc	64,41cd
8	481,36ab	72,87c	83,01d

Nota: Columnas seguidas de distinta letra muestran diferencias significativas a $P < 0,05$. Los símbolos Am y Ar son iguales a los de la tabla III.

Note: Columns followed by a different letter show the relevant differences at $P < 0,05$. The symbols Am and Ar are equal to those of table III.

4. CONCLUSIONES

A partir de los resultados son varias las conclusiones que se pueden establecer:

- Las barras corrugadas de los aceros B400S y B500S presentan unas características mecánicas acordes, en general (95 y 94 %), con lo esperado según la norma UNE 36068:1994 [6].
- Sin embargo, el tipo B400SD no cumple con las mismas garantías (86 %), los límites especificados en la normativa correspondiente [2]. Además, este acero, que lleva pocos años empleándose en la construcción, mostró unas

Tabla XIV. Tensión en el límite elástico, alargamiento bajo carga máxima y alargamiento a rotura, con distintos fabricantes, en el acero B500S

Table XIV. Yield strength, ultimate strength elongation, with different manufacturers, in the B500S steel

Fabricante	Tensión	Deformación	Deformación
	Re	Am	Ar
F ₁	536,96bcd	20,92abc	26,65ab
F ₁₁	513,14abc	59,32ef	94,36d
F ₂	547,41bcd	35,79cd	45,35ab
F ₃	530,97bcd	15,93abc	16,5ab
F ₁₂	551,70bcde	14,66a	18,23a
F ₄	511,02ab	31,17cd	38,82ab
F ₅	523,22abcde	27,63abcdef	26,99abcd
F ₆	539,87bcd	29,54abcd	41,85ab
F ₇	454,73a	69,79f	93,75cd
F ₈	569,06de	18,25abc	24,85ab
F ₁₀	548,37abcde	10,66abcd	8,41ab
F ₁₃	521,61abcde	61,56abcdef	79,89abcd
F ₁₄	519,71bcd	29,78bcd	37,93ab
F ₉	552,03cd	16,64ab	22,02ab
Otros	609,23e	41,67de	51,19bc

Nota: Columnas seguidas de distinta letra muestran diferencias significativas a $P < 0,05$. Los símbolos Re, Am y Ar son iguales a los de la tabla III.

Note: Columns followed by a different letter show the relevant differences at $P < 0,05$. The symbols Re, Am and Ar are equal to those of table III.

características mecánicas inferiores a las del tipo B400S, utilizado desde hace más tiempo como armadura en el hormigón armado. Este hecho, discrepa de lo indicado en la norma UNE 36065:1999-EX^[2], que establece unos niveles de ductilidad y resistencia a tracción superiores en el acero B400SD.

- Las deformaciones experimentadas por las barras corrugadas en el ensayo de tracción varían

según el fabricante, exceptuando las del tipo B400S. Esto, confirma que los fabricantes de aceros B500S y B400SD, que son los más empleados, elaboran productos con diferentes ductilidades.

- Igualmente, se constató que, las barras del mismo tipo toleran distintas deformaciones, dependiendo del diámetro nominal de la probeta ensayada (B400S y B400SD).
- Las tensiones (límite elástico y rotura) de las barras corrugadas presentan más variaciones, según el fabricante y el diámetro nominal en el acero del tipo B400SD, y menos para los aceros B500S (tensión de rotura según fabricante) y B400S (tensión de rotura según diámetro nominal). Sin embargo, la tensión bajo carga máxima es el parámetro que más homogeneidad presenta.

REFERENCIAS

- [1] M.O.P.U., Norma básica de la edificación NBE-AE 88. Acciones en la edificación. Norma Sismorresistente P.D.S.-1/1974, Parte A. Dirección General para la Vivienda y Arquitectura, Madrid, 1988, pp. 43-51.
- [2] UNE 36065. Barras corrugadas de acero soldable con características especiales de ductilidad para armaduras de hormigón armado, Norma española experimental AENOR, Madrid, 1999-EX, p. 19.
- [3] MINISTERIO DE FOMENTO, Instrucción de Hormigón Estructural (E.H.E., 98), Centro de publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, Madrid, 1998, p. 470.
- [4] UNE 7474-1. Parte 1. Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo (a la temperatura ambiente), Norma española AENOR, Madrid, 1992, p. 36.
- [5] UNE 7474-2. Parte 2. Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 2: Verificación del sistema de medición de fuerza (carga) de la máquina de ensayo, Norma española AENOR, Madrid, 1992, p. 13.
- [6] UNE 36068.994, Barras corrugadas de acero soldable para hormigón armado, Norma española AENOR, Madrid, 1994, p. 22.