

Mallas Electrosoldadas de Acero para Armado del Hormigón

Steel Welded Fabric for Reinforced Concrete

Laura Rodríguez Duro¹, Francisco J. Sáinz de Cueto Torres^{1*}

Palabras clave

mallas electrosoldadas;
normativa;
ensayos mecánicos;
ensayo de fatiga;

Resumen

Las mallas electrosoldadas, de uso en diferentes elementos superficiales de hormigón, son básicamente armaduras formadas por barras o alambres corrugados, que se cruzan perpendicularmente entre sí, unidas mediante soldadura eléctrica.

Las propiedades a definir para la caracterización de una malla son: dimensiones, masa y tolerancias, adherencia y geometría superficial, soldabilidad y composición química.

Para la caracterización mecánica se han de realizar los ensayos de tracción, doblado, despegue de unión soldada, carga cíclica y fatiga.

En el artículo se adelantan algunas conclusiones del estudio experimental desarrollado en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX sobre fatiga de mallas. En dicho estudio se han incluido todos los tipos de mallas normalizadas, aunque la normativa actual sólo exija la aplicación para las mallas SD.

Keywords

electrowelded meshes;
standards;
mechanical tests;
fatigue test;

Abstract

Reinforcing mesh panels, to be used in different superficial concrete elements, are basically steel reinforcements formed by either hot rolled ribbed bars or cold rolled ribbed wires (welded wire fabric), which are arranged perpendicularly at right angles to each other, and joined by means of electrical welding.

The properties to be defined for the characterization of a reinforcing mesh panel are as follows: dimensions, mass and tolerances, bond and surface geometry, weldability and chemical composition.

For the mechanical characterization, the following tests must be carried out: tensile test, suitability for bending, shear force of welded joints, reverse cyclic loading and fatigue strength.

Finally, some conclusions are advanced with regard to the experimental research on fatigue of meshes, which is being conducted at CEDEX's Central Laboratory of Structures and Materials.

In the aforementioned research all types of normalized meshes have been included, even though current regulation only demands the application for SD meshes.

1. INTRODUCCIÓN

Según la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 (Ministerio de la Presidencia 2008), se entiende por malla electrosoldada “la armadura formada por la disposición de barras corrugadas o alambres corrugados, longitudinales y transversales, de diámetro nominal igual o diferente, que se cruzan entre sí perpendicularmente y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura eléctrica, realizada en un proceso de producción en serie en instalación industrial ajena a la obra, que sea conforme con lo establecido en UNE-EN 10.080:2006” (AENOR 2006).

Se usan como elementos superficiales en forjados, muros, losas, zapatas, depósitos, etc. Poseen muchas ventajas: su puesta en obra es sencilla y rápida, los posibles errores de disposición se pueden eliminar *in situ* y cuentan con un anclaje excelente al hallarse una armadura transversal.

Se definen diferentes **tipos de mallas** en función del acero con el que están fabricadas:

Tabla 1. Tipos de mallas

| | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Tipo de mallas electro-soldadas | ME 500 SD | ME 400 SD | ME 500 S | ME 400 S | ME 500 T | ME 400 T |
| Tipo de acero | B500SD | B400SD | B500S | B400S | B500T | B400T |

Las mallas pueden ser a su vez: estándar, cuando es fabricada conforme a requisitos definidos en la norma UNE-EN 10.080:2006 (AENOR 2006) y especiales, cuando no es estándar sino que ha sido fabricada conforme a unos requisitos especificados por el usuario.

La **nueva normativa** que define las características y establece los métodos de ensayo de cada tipo de mallas electrosoldadas es:

- UNE 36.060:2014 “Mallas electrosoldadas de acero para uso estructural en armaduras de hormigón armado. Mallas electrosoldadas fabricadas con barras de acero B 500 SD” (AENOR 2014).
- UNE 36.061:2014 “Mallas electrosoldadas de acero para uso estructural en armaduras de hormigón ar-

* Autor de contacto: fsainzdc@cedex.es

¹ Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. CEDEX. Ministerio de Fomento.

mado. Mallas electrosoldadas fabricadas con barras de acero B 500 S” (AENOR 2014).

- UNE 36.092:2014 “Mallas electrosoldadas de acero para uso estructural en armaduras de hormigón armado. Mallas electrosoldadas fabricadas con alambres de acero B 500 T” (AENOR 2014).

Los **elementos** que constituyen las mallas electrosoldadas pueden ser barras corrugadas o alambres corrugados pero no se pueden mezclar entre sí. La identificación del acero corresponde a la de las barras o alambres que la componen. Cada barra o alambre debe llevar grabadas las marcas de identificación. Cada paquete al llegar al punto de distribución (obra, taller de ferralla o almacén) debe llevar una etiqueta de identificación, que incluya la designación de la malla.

Las mallas electrosoldadas estándar se denominan según marca la Norma UNE-EN 10.080:2006 (AENOR 2006), apuntando:

- a) Forma del producto (malla electrosoldada o su forma abreviada ME).
- b) Las dimensiones nominales del producto (dimensiones de los elementos, dimensiones del panel, separación entre elementos, sobrelargos).
 1. las separaciones P_L y P_C expresadas en milímetros y unidas por el signo x;
 2. el símbolo Φ seguido de los diámetros d_L y d_C separados por un guión, expresados en milímetros;
 3. la longitud de los elementos longitudinales L y la longitud de los elementos transversales B del panel, expresadas en milímetros y unidas por el signo x.

4. los sobrelargos indicando los salientes en sentido longitudinal u_1/u_2 y transversal u_3/u_4 , separados por un guion expresados en mm;

- c) La designación del tipo de acero.
- d) Referencia a la norma UNE-EN 10.080:2006 (AENOR 2006).
- e) Clase técnica incluida en el marcado CE.

En la figura 1 y la figura 2 se muestran, respectivamente, un esquema de la malla SD y otro de la malla S, cómo se designan y su forma de distribución.

En el caso de **mallas especiales** (AENOR 2006) se debe facilitar al fabricante un plano totalmente dimensionado de la malla. La identificación debe hacer referencia al usuario para que exista una trazabilidad del producto. En el plano se debe identificar claramente: N_L (número de elementos longitudinales), P_L (separación entre elementos longitudinales), d_L (diámetro de los elementos longitudinales), N_C (número de elementos transversales), P_C (separación entre elementos transversales), d_C (diámetro de los elementos transversales), L (longitud de los elementos longitudinales), B (longitud de los elementos transversales), u_1 (sobrelargo de los elementos longitudinales), u_2 (sobrelargo de los elementos longitudinales), u_3 (sobrelargo de los elementos transversales) y u_4 (sobrelargo de los elementos transversales).

Además, las mallas especiales admiten una serie de aspectos específicos que se enumeran a continuación: elección de separaciones longitudinal P_L y transversal P_C , diámetros transversales y longitudinales diferentes ($d_{\min} \geq 0,6 d_{\max}$), elementos pareados (T) en una dirección ($0,7 d_s \leq d_t \leq 1,25 d_s$), clases técnicas diferentes para longitudinal

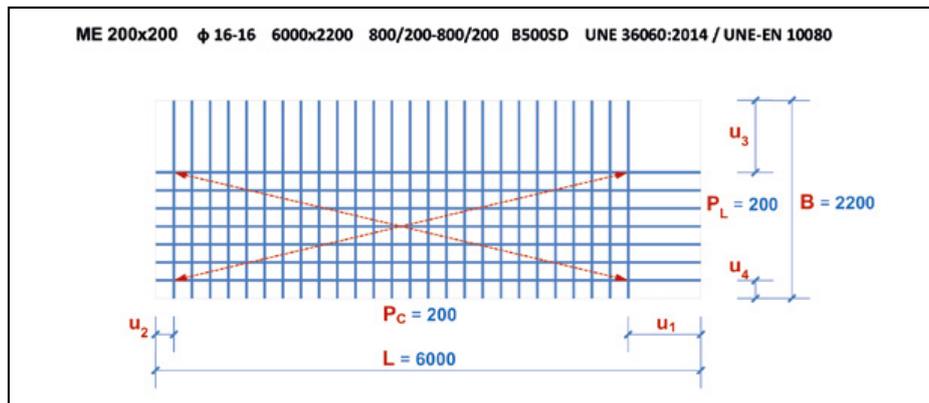


Figura 1. Malla SD.

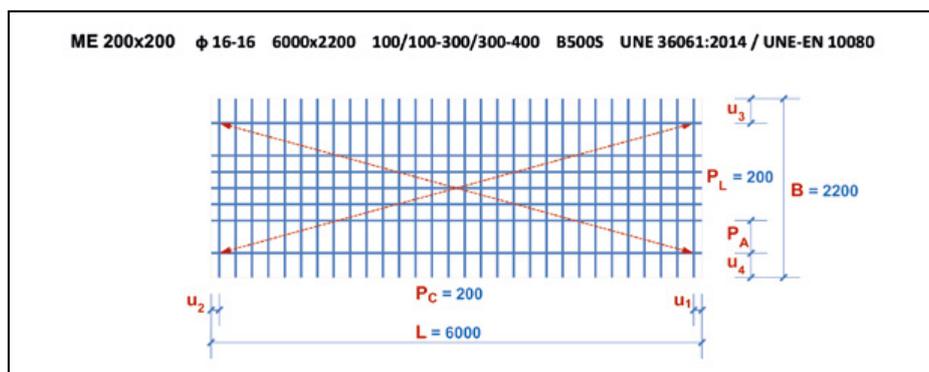


Figura 2. Malla S.

y transversal y zonas de ahorro (definido mediante el plano de dimensionado).

2. CARACTERIZACIÓN GENERAL

Las **características mecánicas y geométricas** de la malla electrosoldada corresponden a la de los elementos componentes, barras o alambres. Estas propiedades a definir según la norma UNE-EN 10.080:2006 (AENOR 2006) son: dimensiones, masa y tolerancias, adherencia y geometría superficial, soldabilidad y composición química y propiedades mecánicas.

Las **dimensiones, masa y tolerancias** según esta norma deben cumplir que la separación entre elementos (longitudinal P_L y transversal P_C) debe ser ≥ 50 mm, los sobrelargos (longitudinales u_1 y u_2 y transversales u_3 y u_4) deben ser ≥ 25 mm, la tolerancia (longitud L y anchura B de malla) tiene que ser mayor de ± 25 mm o $\pm 0,5$ %, la tolerancia de separación (longitudinal P_L y transversal P_C) tiene que ser mayor ± 15 mm o $\pm 7,5$ % y por último, la tolerancia de masa de los elementos tiene que ser menor de $\pm 4,5$ %, si el diámetro es mayor de 8 mm, y ± 6 %, si el diámetro es menor o igual de 8 mm.

Es muy importante tener en cuenta que las tolerancias no son acumulables y que las tolerancias en la separación de elementos no pueden en ningún caso provocar la disminución del número de elementos indicados en la norma UNE-EN 10.080:2006 (AENOR 2006) o en los planos.

En cuanto a la **adherencia y geometría superficial**, los elementos constitutivos de la malla deben cumplir las condiciones de adherencia exigidos en la normativa (altura de corruga, separación de corruga, diámetro sin corruga e inclinación de corruga) si bien es cierto que estas

características se ven reforzadas por los elementos transversales.

La **soldabilidad** va a venir determinada por dos características: primero por el carbono equivalente que se calcula con la fórmula siguiente y en el que los elementos químicos representan su contenido en % de masa y segundo por los límites mostrados en la tabla 2 para algunos elementos.

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad [1]$$

Para estudiar las **propiedades mecánicas** en una malla electrosoldada según la norma UNE-EN 10.080:2006 (AENOR 2006) se realizan los siguientes ensayos: tracción, doblado (el doblado de una intersección soldada se hará según la norma UNE-EN ISO 15.630-2:2011 (AENOR 2011)), despegue de unión soldada (también llamado despegue de nudo ó determinación del cortante en soldadura según la norma UNE-EN ISO 15.630-2:2011 (AENOR 2011)) y fatiga (el procedimiento de ensayo lo marca la norma UNE-EN ISO 15.630-2:2011 (AENOR 2011) y la norma UNE 36.060:2014 (AENOR 2014) añade la resistencia a la carga cíclica y fatiga en el caso de mallas SD).

En el caso del **ensayo de tracción**, según las normas UNE-EN ISO 15.630-2:2011 (AENOR 2011) y UNE-EN ISO 6.892-1:2010 (AENOR 2010), se debe incluir al menos una unión soldada, el tramo elástico de la curva fuerza-alargamiento se encuentra entre los puntos 0,2 Fm y 0,5 Fm, debe tener una tolerancia de ± 10 % del módulo elástico teórico y para cálculo de R_{eH} , $R_{p0,2}$ y R_m se usa la sección nominal. En la figura 3 se muestra la curva tensión-deformación de un alambre B 500 T y de una barra B 500 SD.

Tabla 2. Composición química (% máximos, en masa) (Ministerio de la Presidencia 2008)

| | Carbono (%) máx. | Azufre (%) máx. | Fósforo (%) máx. | Nitrógeno (%) máx. | Cobre (%) máx. | Carbono equivalente (%) máx. |
|-------------------|------------------|-----------------|------------------|--------------------|----------------|------------------------------|
| Análisis Colada | 0,22 | 0,050 | 0,050 | 0,012 | 0,80 | 0,50 |
| Análisis Producto | 0,24 | 0,055 | 0,055 | 0,014 | 0,85 | 0,52 |

Se permite aumentar el Carbono en 0,03 % si el C_{eq} decrece en 0,02 %
Se permite aumentar el Nitrógeno si existen fijadores en cantidad suficiente

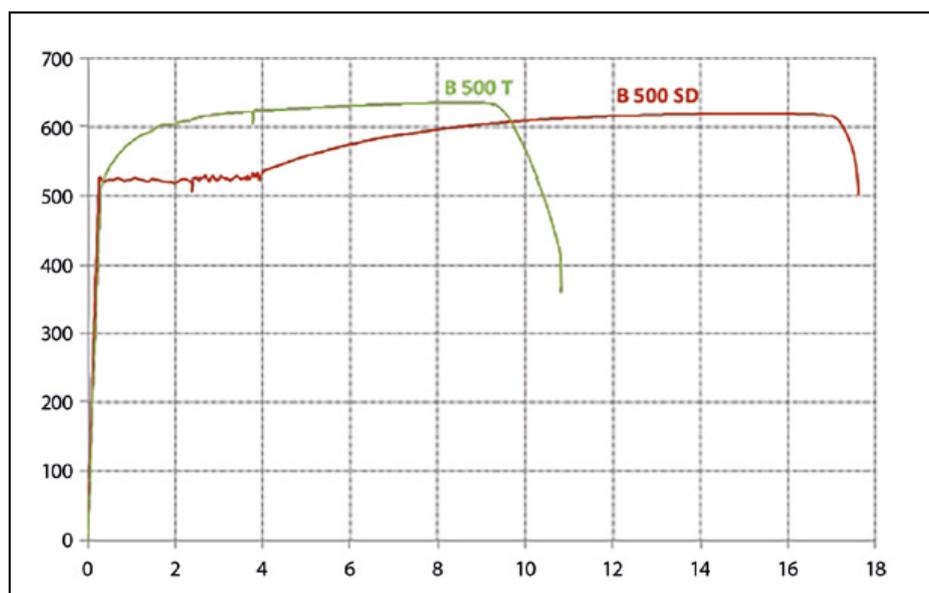


Figura 3. Curva tensión-deformación de un alambre B 500 T y de una barra B 500 SD.

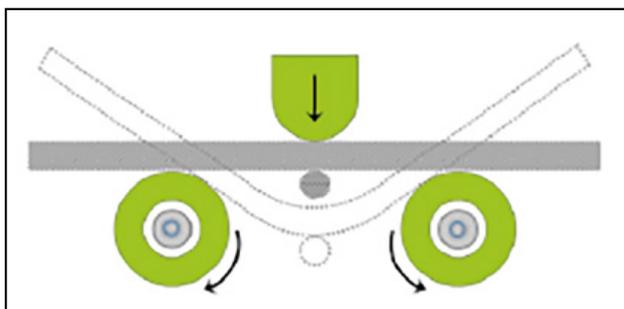
Tabla 3. Características mecánicas mínimas garantizadas (Ministerio de la Presidencia 2008)

| Tipo Acero | B 400 S | B 500 S | B 400 SD | B 500 SD | B 500 T |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| f_y (MPa) | ≥ 400 | ≥ 500 | ≥ 400 | ≥ 500 | ≥ 500 |
| f_s (MPa) | ≥ 440 | ≥ 550 | ≥ 480 | ≥ 575 | ≥ 550 |
| $\epsilon_{u,SD}$ (%) | ≥ 14 | ≥ 12 | ≥ 20 | ≥ 16 | ≥ 8 |
| $\epsilon_{m\acute{a}x}$ (%) | barra | $\geq 5,0$ | $\geq 5,0$ | $\geq 7,5$ | -- |
| | rollo | $\geq 7,5$ | $\geq 7,5$ | $\geq 10,0$ | -- |
| f_s/f_y | $\geq 1,05$ | $\geq 1,05$ | 1,20 a 1,35 | 1,15 a 1,35 | $\geq 1,03$ |
| $f_{y\text{ real}}/f_{y\text{ nominal}}$ | -- | -- | $\leq 1,20$ | $\leq 1,25$ | -- |

Según el tipo de acero que la constituye, la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 (Ministerio de la Presidencia 2008) marca los siguientes requisitos que tiene que cumplir cada tipo de malla:

En el caso de la **aptitud al doblado** existen dos ensayos: en el primero, el doblado simple, se realiza hasta alcanzar un ángulo mínimo de 180° y en el segundo, en el caso de doblado-desdoblado, el ángulo de doblado debe alcanzar como mínimo 90° y el de desdoblado 20°. Si el diámetro de la probeta es menos de 16 mm entonces el diámetro del mandril debe ser como máximo 3 veces el diámetro de la barra en el caso de doblado simple y en el caso de doblado-desdoblado no debe superar las 5 veces.

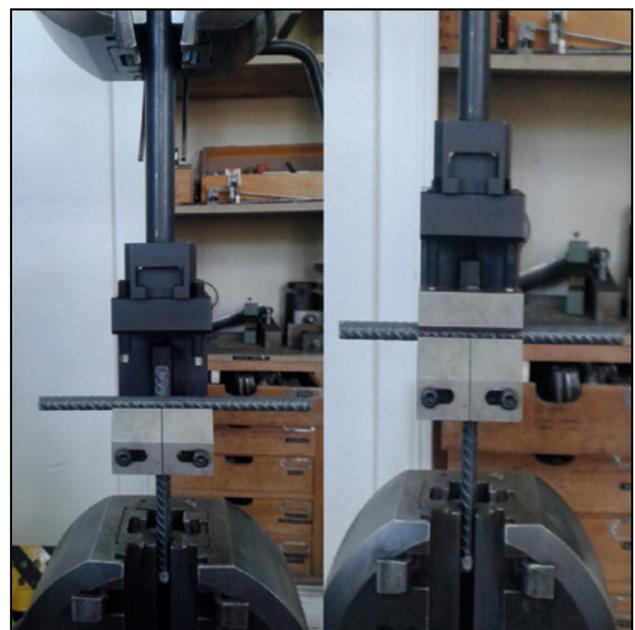
En el caso del **doblado de una intersección soldada**, el ensayo se realizará siguiendo la norma UNE-EN ISO 15.630-2:2011 (AENOR 2011) y el ángulo de doblado y el diámetro de mandril vendrán marcados por la norma de producto (figura 4).

**Figura 4.** Doblando de intersección soldada.

La **resistencia al despegue** de nudos soldados debe ser igual o superior al 25 % de la carga del límite elástico nominal del alambre o barra de mayor diámetro de las que concurren en el nudo (AENOR 2006). Esta determinación, también denominada **cortante en la soldadura** se debe ejecutar teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: la dirección de tracción será la de mayor diámetro (si no son iguales), la dirección con elementos pareados será la de tracción (uno de ellos), en caso de litigio se debe emplear un soporte **Tipo C**, la velocidad de tracción debe estar entre 6 y 60 MPa/s y el valor mínimo especificado del

cortante F_s debe ser mayor o igual a: $0,25 R_e A_n$ donde R_e es el valor característico especificado del límite elástico y A_n es el valor de la sección nominal del elemento a tracción.

En las figuras 5 y 6 se incluyen dos ejemplos de los soportes utilizados en la máquina del ensayo de cortante en soldadura, a la izquierda el tipo B y a la derecha el tipo C. En el tipo C permite la desviación y la rotación de la probeta, en el tipo B no permite la desviación pero si la rotación y en el tipo A, que no está ilustrada aquí, no permite ni la desviación ni la rotación.

**Figuras 5 y 6.** Soportes utilizados en la máquina del ensayo de cortante por soldadura, a la izquierda el tipo B y a la derecha el tipo C.

El **ensayo de fatiga** según la norma UNE-EN ISO 15.630-2:2011 (AENOR 2011) consiste en someter a una probeta a un esfuerzo axial de tracción que varía cíclicamente según una onda sinusoidal de frecuencia constante, menor o igual a 200 Hz, hasta alcanzar los dos millones de ciclos, que es el límite especificado en la norma de producto correspondiente.

Según la normativa actual, la longitud entre mordazas para una barra debe ser por lo menos 140 mm o 14 veces el diámetro de la barra, la que sea mayor.

Como se ve en la figura 7, en la que se incluye la curva para un alambre B500T aunque la norma sólo exige este tipo de ensayo para las mallas B500SD, el rango queda en niveles relativamente bajos dentro de la zona elástica, por lo que la barra difícilmente romperá por fatiga. En la soldadura del nudo las posibilidades de alcanzar una fractura por fatiga serán superiores.

El **ensayo de carga cíclica** se lleva a cabo siguiendo el procedimiento marcado por la norma UNE 36.060:2014 (AENOR 2014) en la que se especifica que hay que someter a la probeta a tres ciclos completos de histéresis, simétricos, a un frecuencia de 1 a 3 Hz y con una longitud libre entre mordazas en el caso de barras con un diámetro menos de 16 mm de 5 veces el diámetro. Después del ensayo se comprobará si existe algún tipo de fractura total o parcial. Este ensayo es muy drástico, como se puede ver en la figura 8, ya que obliga a una plastificación muy importante del elemento. En este caso también se incluye la curva para

un alambre B500T, aunque la norma sólo exige este tipo de ensayo para las mallas B500SD.

3. ESTUDIO EXPERIMENTAL

Se presenta un avance de los resultados obtenidos para un conjunto de mallas electrosoldadas de los tres tipos normalizados: T, S y SD. Se han ensayado fundamentalmente los diámetros 10 y 12 mm.

Los ensayos que se realizan habitualmente en la certificación de productos y estudios del mercado son la caracterización geométrica mediante la medida de la altura de corrugas y los ensayos de tracción y de despegue de nudo. En el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX se ha venido ensayando también la fatiga, para investigar, desde un punto de vista experimental, cual es el comportamiento de los diferentes tipos de mallas frente a esta sollicitación, a pesar de que en la normativa actual sólo se requiere esta comprobación para las mallas SD.

Previamente se han realizado los ensayos habituales para disponer de una correcta caracterización de la

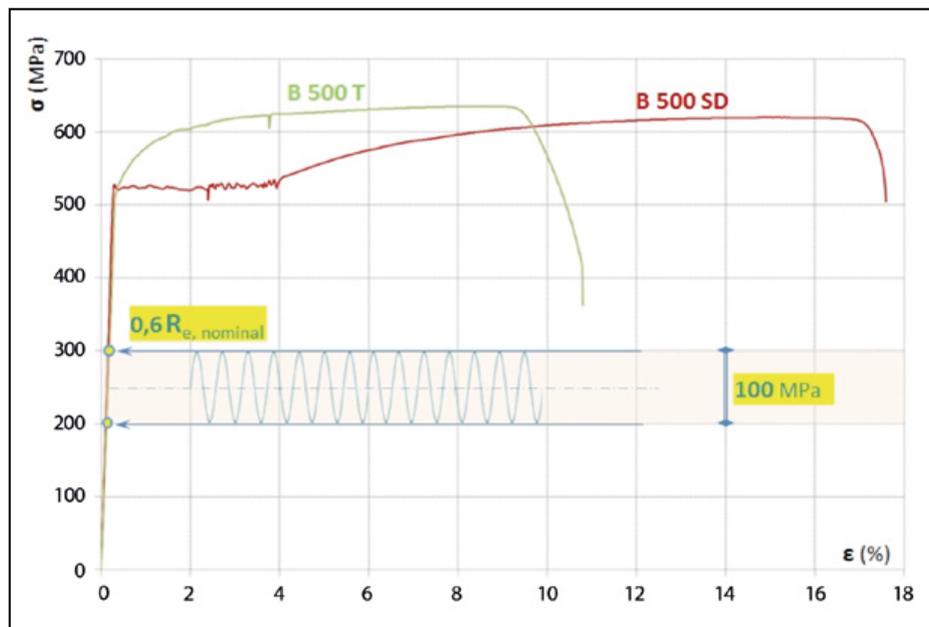


Figura 7. Rango tensional en fatiga de mallas.

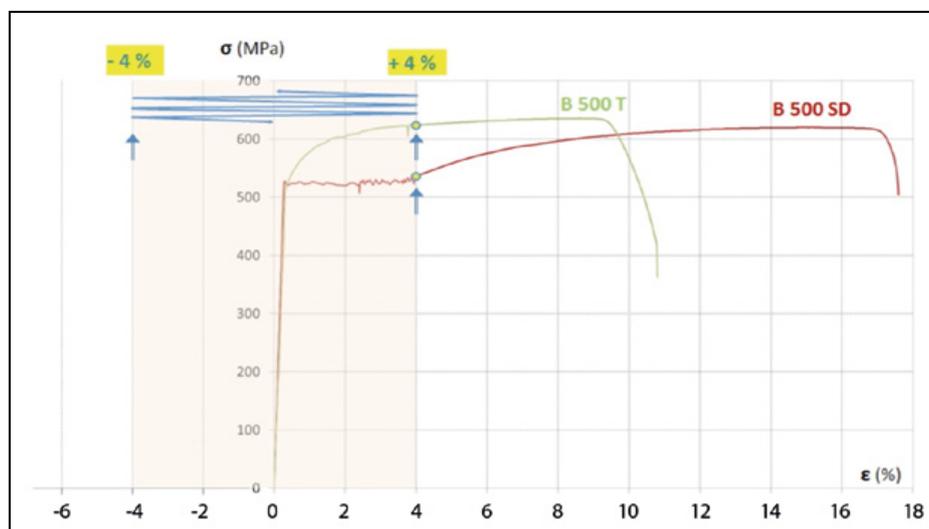


Figura 8. Rango de deformación plástica en el ensayo de carga cíclica.

mallas en estudio. La medida de la **altura de corrugas** se ha realizado con ayuda de un proyector de perfiles, de rango 50 mm y 360°. El procedimiento del ensayo se ha hecho siguiendo la norma UNE 36.099:1996 (AENOR 1996).

En la realización del **ensayo de tracción**, para la determinación del límite elástico, carga máxima, relación carga-límite, elongación unitaria bajo carga máxima y elongación remanente tras la rotura (con una longitud inicial de 5 diámetros) se ha utilizado una máquina de tracción electromecánica de 200 kN de capacidad (figura 9) que lleva acoplado un equipo extensométrico para medir las deformaciones durante el ensayo de tracción. Para la medida de las deformaciones hasta el 2,5 % se ha utilizado un extensómetro de 100 mm de base y el resto de las deformaciones hasta rotura se han medido a partir de la señal que marca el desplazamiento del puente móvil. Las velocidades utilizadas, en control de deformación, han sido de 0,00005/s hasta el 3 % de deformación y de 0,0005/s desde el 3 % hasta rotura. El procedimiento del ensayo se ha llevado a cabo siguiendo la norma UNE-EN ISO 15.630-2:2011 (AENOR 2011), que es la prescrita en la vigente Instrucción del Hormigón Estructural EHE-08 (Ministerio de la Presidencia 2008). Para el cálculo de las cargas unitarias se ha usado el valor de la sección nominal como divisor.

El **ensayo de despegue de nudos** se ha llevado a cabo con una máquina de tracción estática de 100 kN. Esta prueba se ha realizado con sendas probetas cortadas de las mallas que constituían cada una de las muestras y se ha efectuado de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 15.630-2:2011 (AENOR 2011).

Para la realización de los **ensayos de fatiga**, el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX cuenta con dos equipos. Uno de ellos es una máquina servohidráulica dinámica, equipada con una célula de carga de 350 kN de capacidad conectada a un ordenador, el cual dispone de un software para el manejo de la misma y que además sirve de contador de ciclos. En la figura 10 se puede ver en detalle una probeta de malla con tres nudos para ensayar en esta máquina.

El otro equipo es una máquina de resonancia magnética con dos células de carga, figura 11, una de 550 kN y otra de 100 kN de capacidad, que puede trabajar a altas frecuencias, en el caso de barras alcanza los 45-50 Hz. Este tipo de máquinas permite la realización de los ensayos de fatiga con una duración reducida, pero como contrapartida tienen el inconveniente de que no admiten longitudes de probeta amplias.

En esta máquina se ensayarán las probetas más cortas con un solo nudo de soldadura, como se puede ver en detalle en la figura 12.

Como se ha comentado anteriormente, la Instrucción de Hormigón Estructural actual EHE-08 (Ministerio de la Presidencia 2008) sólo exige la realización de este ensayo para las mallas tipo SD, pero en el presente estudio se ha considerado de interés analizar el comportamiento frente a la sollicitación de fatiga del resto de las mallas, T y S, a pesar de que no se exija reglamentariamente.

El procedimiento de ensayo que se ha seguido para su desarrollo es el descrito en la norma UNE-EN ISO 15.630-2:2011 (AENOR 2011).



Figura 9. Ensayo de tracción de malla en máquina electromecánica.



Figura 10. Detalle de probeta de malla con tres nudos en máquina servohidráulica.



Figura 11. Ensayo de fatiga en máquina de resonancia magnética.



Figura 12. Detalle de la probeta para ensayar en máquina de resonancia magnética.

El mayor número de ensayos se ha ejecutado en la máquina servohidráulica dinámica. El procedimiento ha consistido en comenzar ensayando un hilo de malla, que incluyese el mayor número posible de nudos. En los casos que se experimentara la fractura por fatiga de uno de los nudos, los tramos que habían quedado divididos se volvían a continuar ensayando. El mismo procedimiento se ha mantenido con las sucesivas fracturas, contabilizando acumulativamente los ciclos ya soportados por los nudos en los ensayos anteriores. Solamente cuando las mallas contaban con un único nudo, entonces se concluía la prueba en la máquina de resonancia magnética, ya que permite reducir considerablemente el tiempo de ensayo, cuando el número de ciclos es muy elevado.

Los resultados obtenidos en los ensayos de cada una de las diferentes mallas analizadas se comentan en el siguiente apartado.

4. RESULTADOS

Se han ensayado aleatoriamente 5 mallas electrosoldadas, incluyendo los tipos T, S y SD. Los diámetros de dichas mallas se han restringido a 10 y 12 mm. (tabla 4).

Previamente al ensayo de fatiga, se ha realizado en todas ellas el ensayo de tracción, para verificar sus parámetros mecánicos: límite elástico, carga máxima y alargamiento bajo carga máxima. Hay que señalar que las fracturas por tracción se producen normalmente fuera de los nudos (contrariamente a lo que sucede en fatiga).

También anteriormente al ensayo de fatiga, se han realizado ensayos de carga de despegue de nudo en todas las mallas. Resulta evidente que, en las mallas electrosoldadas, el nudo constituye un punto crítico, debido a la discontinuidad que introduce la soldadura, marcando unas zonas ZAT de afección térmica adyacentes. Consecuentemente, tanto el ensayo de despegue de nudo como el de fatiga son dos pruebas decisivas para verificar la idoneidad del nudo soldado, si bien los resultados de una y otra prueba no tienen correlación.

Se ha procedido a seccionar, por su plano de simetría, diversos nudos de las distintas mallas realizando metalografías de las uniones. En todos los casos, ha podido apreciarse una notable calidad de ejecución (figura 13).



Figura 13. Detalle del corte, por su plano de simetría, de un nudo de malla electrosoldada, donde puede apreciarse la buena ejecución de la soldadura de unión.

En las macrografías de las figuras 14 y 15 se advierte la implantación de la soldadura en dos tipos de malla B500S y B500T. En las mallas B500S y B500SD existe un cambio de microestructura en la corona exterior de las barras, respecto al núcleo, debido al proceso de laminación en caliente de las barras. En las mallas B500T, formadas por alambres trefilados en frío, la microestructura es continua.

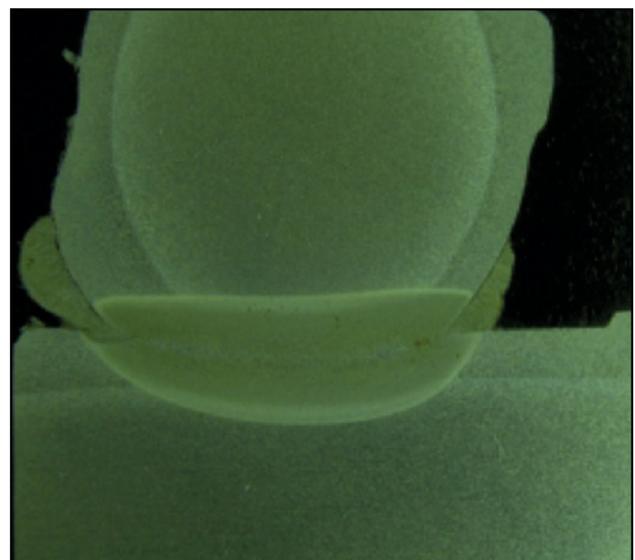


Figura 14. Macrografía del corte de nudo de una malla B500S. Puede apreciarse la corona exterior debida al laminado en caliente.

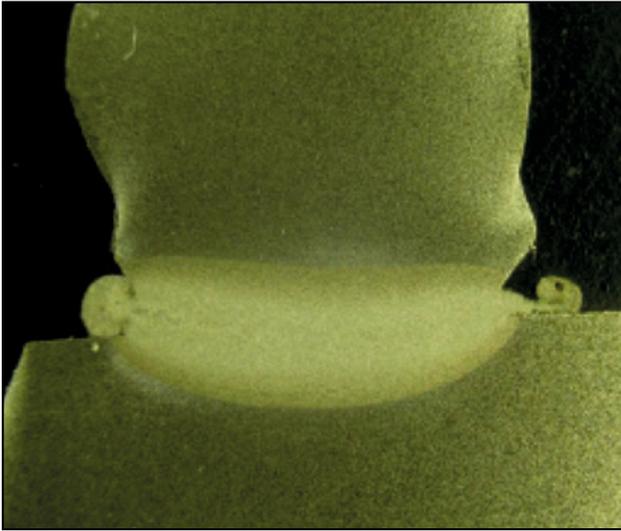


Figura 15. Macrografía del corte de nudo de una malla B500T. Puede apreciarse la ausencia de corona debido al laminado en frío.

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de fatiga, realizado según la norma UNE-EN ISO 15.630-2:2011 (AENOR 2011), mostrándose la aparición de fallos por fatiga en algunos nudos de la malla.

En los casos en que el número de ciclos soportado se consideraba suficientemente elevado, la prueba se detenía (los valores precedidos por el símbolo >, en la tabla 4, llegaron a superar el número de ciclos indicado, sin experimentar rotura).

Como puede apreciarse en el gráfico de la figura 16, cuando aparecen fallos por fatiga, se llega a registrar importantes dispersiones de los resultados obtenidos para los distintos nudos de un mismo hilo de malla.

Por último, en las figuras 17 y 18 se presentan dos ejemplos de fracturas de nudo en el ensayo de fatiga, tanto en mallas SD como en malla S.

Tabla 4. Número de ciclos soportados en el ensayo de Fatiga

| | Diámetro (mm) | Nudo 1 (Ciclos) | Nudo 2 (Ciclos) | Nudo 3 (Ciclos) | Nudo 4 (Ciclos) | Nudo 5 (Ciclos) | Nudo 6 (Ciclos) | Nudo 7 (Ciclos) |
|---------|---------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| Malla 1 | 10 | 2.107.081 | > 13.10 ⁶ | 6.408.613 | 6.985.987 | ----- | ----- | ----- |
| Malla 2 | 10 | 2.899.975 | 1.665.933 | 1.876.125 | 7.478.248 | 3.938.591 | > 13.10 ⁶ | ----- |
| Malla 3 | 12 | > 13.10 ⁶ | 5.924.778 | 6.776.373 | 5.019.268 | 2.636.543 | > 13.10 ⁶ | ----- |
| Malla 4 | 12 | > 3.10 ⁶ | > 3.10 ⁶ | > 3.10 ⁶ | > 13.10 ⁶ | > 13.10 ⁶ | > 3.10 ⁶ | 5.688.963 |
| Malla 5 | 12 | 1.220.000 | 13.666.756 | > 4.10 ⁶ | 4.739.746 | 1.509.428 | 3.318.168 | ----- |

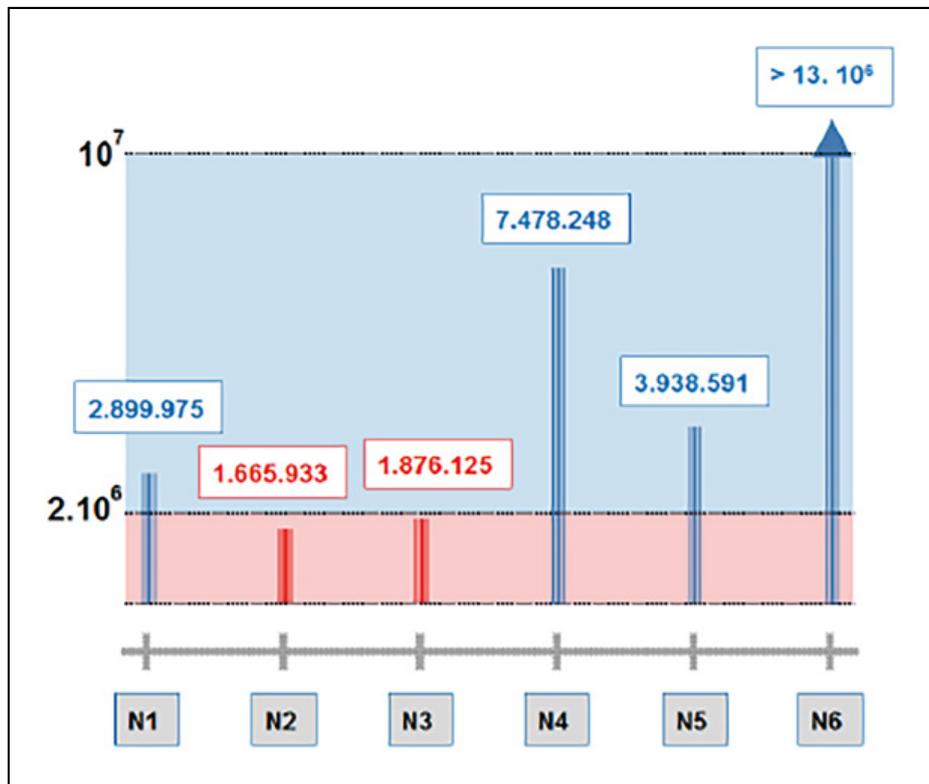


Figura 16. Dispersión de fatiga en un mismo hilo de malla (soldadura deficiente).



Figura 17. Fractura de fatiga en una malla SD.



Figura 18. Fractura de fatiga en una malla S.

5. CONCLUSIONES

Los resultados recogidos en el presente artículo constituyen simplemente un avance del estudio, que está desarrollando el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX, sobre el comportamiento de las mallas electrosoldadas tanto de tipo T, S y SD frente al ensayo de fatiga, a pesar de que en la normativa actual sólo sea preceptivo su análisis para las mallas SD.

Aunque los resultados proceden de una muestra representativa de nudos ensayados a fatiga, las conclusiones deben ser tomadas con cierta reserva, a la espera de disponer de una población mucho más extensa.

De los resultados disponibles hasta el momento, se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- Aunque, en general, el comportamiento frente a fatiga de los distintos tipos de mallas es adecuado, puede encontrarse fallos por fatiga en algún nudo, antes de alcanzarse los dos millones de ciclos de carga repetida.
- Cuando aparecen fracturas tempranas por fatiga en las mallas, sean de cualquiera de los tipos estudiados, la dispersión advertida entre los diversos nudos de la misma malla resulta notable.
- La actual norma UNE 36.060:2014 (AENOR 2014) sólo exige la verificación de un único nudo. Debido a la dependencia de este ensayo de la correcta realización de la soldadura del nudo, exis-

te la posibilidad de que al escoger un único nudo para el ensayo, el resultado difiera radicalmente del que se hubiese producido eligiendo otro nudo distinto.

- Dada la elevada dispersión que puede advertirse, cuando aparecen fallos prematuros por fatiga, se podría pensar en la conveniencia de ensayar un mayor número de nudos de una misma malla. Esto puede llevarse a la práctica de dos formas, o bien utilizando una máquina que permita ensayar mayor número de nudos a la vez, en una probeta más larga, o bien la realización de varios ensayos individuales de nudo.
- Con referencia a la importancia que tiene el ensayo de fatiga en la verificación de la calidad de la unión soldada, podría también pensarse en la conveniencia de exigirlo en todos los tipos de mallas, ya que el fenómeno de fatiga puede presentarse en las condiciones de servicio ordinarias. No sucede lo mismo con el ensayo de carga cíclica, que responde a condiciones de respuesta muy drásticas propias de refuerzos de especial ductilidad para hormigones situados en zonas sísmicas.

6. BIBLIOGRAFÍA

AENOR (2006). UNE-EN 10.080:2006. *Acero para el armado del hormigón. Acero soldable para armaduras de hormigón armado. Generalidades*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

AENOR (2014). UNE 36.060:2014. *Mallas electrosoldadas de acero para uso estructural en armaduras de hormigón armado. Mallas electrosoldadas fabricadas con barras de acero B 500 SD*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

AENOR (2014). UNE 36.061:2014. *Mallas electrosoldadas de acero para uso estructural en armaduras de hormigón armado. Mallas electrosoldadas fabricadas con barras de acero B 500 S*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

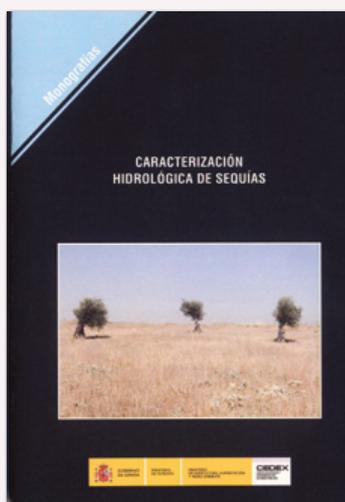
AENOR (2014). UNE 36.092:2014. *Mallas electrosoldadas de acero para uso estructural en armaduras de hormigón armado. Mallas electrosoldadas fabricadas con alambres de acero B 500 T*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

AENOR (2011). UNE-EN ISO 15.630-2:2011. *Aceros para el armado y el pretensado del hormigón. Métodos de ensayo. Parte 2: Mallas electrosoldadas*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

AENOR (2010). UNE-EN ISO 6.892-1:2010. *Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

AENOR (1996). UNE 36.099:1996. *Alambres corrugados de acero para armaduras de hormigón armado*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

Ministerio de la Presidencia (2008). *Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)*. Madrid.



Caracterización hidrológica de sequías.

(Contiene DVD)

Autores: Javier Álvarez Rodríguez, Luis Miguel Barranco Sanz, Julio Villaverde Valero y Ángela Potenciano de las Heras

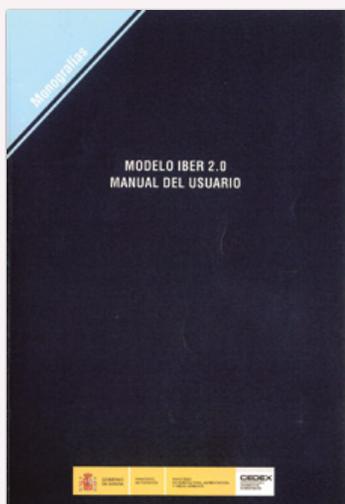
Serie Monografías: M-127

ISBN: 978-84-7790-563-9

Año: 2015

P.V.P.: 20 €

La monografía presenta trabajos realizados en el Centro de Estudios Hidrográficos para la Dirección General del Agua (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) sobre la identificación y caracterización de sequías. En ella se tratan aspectos teóricos relativos a la definición de eventos de sequía y se identifica y analiza su ocurrencia durante el periodo de planificación hidrológica. El fin último de estos ejercicios prácticos es la valoración de los índices para su incorporación en sistemas de indicadores del estado hidrológico. Los índices estimados se han obtenido de variables hidrológicas como la precipitación, la escorrentía o la reflectividad de la imagen de satélite. En concreto, se describe el modelo de rachas y el conjunto de variables aleatorias que permiten caracterizar una sequía. Una vez implementado en series regionales de precipitación y escorrentía, se han asignado periodos de retorno a las sequías para permitir su ordenación en términos de peligrosidad, generando curvas regionales de Duración-Déficit-Frecuencia. El interés inmediato de estas curvas es la caracterización de sequías en curso y la selección de medidas de mitigación. Se han elaborado también series del índice de precipitación estandarizada en varios pasos temporales para, a partir de la lluvia registrada, estimar series representativas de las sequías en otras fases hidrológicas. Por último, se han tratado e interpretado imágenes de satélite para proponer un índice de sequía de desviaciones mensuales del conocido como de diferencia normalizada.



Modelo Iber 2.0. Manual del Usuario.

(Contiene DVD)

Autores: CEDEX

Serie Monografías: M-128

ISBN: 978-84-7790-568-4

Año: 2015

P.V.P.: 40 €

Iber es un modelo numérico bidimensional de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen variable para el estudio hidromorfológico de cauces. El campo de aplicación de Iber es muy amplio, siendo su principal finalidad el estudio hidrodinámico en ríos, si bien permite estudiar además el transporte de sedimentos en los cauces y dispone de herramientas para realizar análisis de inundabilidad. También es adecuado para estudiar el flujo de marea en estuarios y realizar simulaciones de rotura de presas, entre otras. La versión 1.0 del modelo Iber (2010) constaba de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos y fue desarrollada en el marco de un Convenio de Colaboración suscrito entre el CEDEX y la Dirección General del Agua (y en colaboración con el Grupo de Ingeniería del Agua de la Universidad de A Coruña, y el Grupo Flumen y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE, ambos de la Universidad Politécnica de Cataluña). Todos los módulos del modelo trabajan sobre una malla tridimensional que reproduce la geometría del cauce y los elementos de la malla sirven para definir los volúmenes finitos sobre los que se realiza el cálculo. El presente manual detalla el alcance de las nuevas prestaciones de la versión 2.0 y se compone de cuatro apartados relativos a los aspectos del preproceso, el cálculo y el postproceso, así como de diez ejercicios resueltos de distinto nivel de dificultad.