

# Capítulo 6

## Desarrollo experimental

Se realizaron ensayos a tracción y torsión sobre probetas cilíndricas, diseñadas siguiendo las pautas citadas en la norma ASTM referente a ensayos de fatiga axial [37], con entallas de acuerdo al análisis del factor de concentración de tensiones, vistas en el capítulo 5.

### 6.1 Material

Todos los ensayos se realizaron sobre un acero inoxidable, *AISI 304L*. Dicho material fue utilizado en varias ocasiones por el grupo de investigación del Dpto. de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Sevilla, estando el mismo muy bien caracterizado. A continuación, la tabla 6.1 muestra los datos del material con mayor importancia para el análisis a fatiga.

Table 6.1: Propiedades del acero AISI 304L [36].

Tensión de fluencia $\sigma_{yield}$	467(MPa)
Tensión de rotura $\sigma_{UTS}$	654(MPa)
Límite de fatiga a tracción $\sigma_{FL}$	315(MPa)
Límite de fatiga a torsión $\tau_{FL}$	288(MPa)
Tamaño de grano $D$	80( $\mu m$ )

Por su parte, la figura 6.1 muestra una fotografía de la microestructura del material. En ella se ven granos de austenita sin una dirección de deformación preferente, con bandas ferrita  $\delta$  en el interior.



Figure 6.1: Microestructura del acero AISI 304L.

## 6.2 Preparación de la probeta

Las probetas fueron mecanizadas a partir de barras de  $25\text{mm}$  de diámetro, mediante torno de control numérico a cada una de las dimensiones requeridas para cada ensayo. Posteriormente, se les realizaron las entallas cilíndricas específicas de cada ensayo. Luego, todas las probetas ensayadas fueron pulidas de manera de garantizar una rugosidad media menor a  $0.4\mu\text{m}$  y una rugosidad máxima, menor a  $2.0\mu\text{m}$  en la superficie exterior alrededor del agujero. Por último, fueron fotografiadas en un microscopio en la zona de la entalla, tanto para observar posibles marcas en la superficie no eliminadas por el pulido, como para poder comparar el estado final de la probeta (luego del ensayo) con el inicial. Este procedimiento se llevó a cabo utilizando un microscopio *Nikon Optiphot 66*.

## 6.3 Ensayos de fatiga a tracción-compresión

Los ensayos de fatiga a tracción fueron realizados utilizando una máquina servohidráulica MTS 809 Biaxial, con una relación de carga,  $R = -1$ , a una frecuencia de ensayo de 8Hz. Todas las probetas ensayadas fueron del tipo reloj de arena, como la mostrada en la figura 6.2, con un diámetro en su

sección mínima  $d_s = 10.46 \pm 0.02 \text{ mm}$ . Sobre éstas, se realizaron en la sección mínima, agujeros transversales cuyo eje pasa por la dirección del radio, de diámetro  $d_n = 1.06 \pm 0.02 \text{ mm}$  y profundidad  $h_n = 2.9 \pm 0.9 \text{ mm}$ .

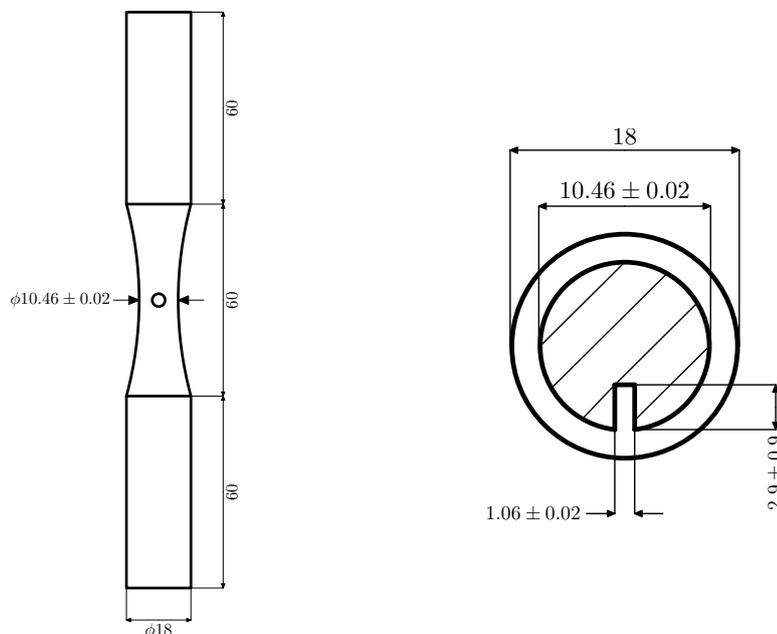


Figure 6.2: Esquema de la probeta ensayada a tracción y vista de corte de la sección mínima. Unidades expresadas en mm.

Con el fin de obtener el límite a fatiga del material, se hicieron 10 ensayos a distintas cargas, construyendo una curva “S-N”. Se consideró *Run-Out* a partir de  $3.5 \times 10^6$  ciclos. Dicho valor se eligió basado en la experiencia previa del grupo con este material y en la frecuencia de ensayo elegida.

Por último, cabe destacar que tanto los ensayos como el análisis estadístico posterior se hicieron siguiendo las normas ASTM correspondientes [37, 38] y el límite a fatiga se calculó siguiendo el método de Bettinelli et al [35].

## 6.4 Ensayos de fatiga a torsión alternativa

Los ensayos de fatiga a torsión se realizaron en la máquina servohidráulica MTS 809 Biaxial, con una relación de carga,  $R = -1$ . Las probetas ensayadas fueron del tipo reloj de arena, con un diámetro mínimo  $d_s = 12.49 \pm 0.01 \text{ mm}$ , todas con agujeros de diámetro  $d_n = 1.07 \pm 0.02 \text{ mm}$  y profundidad  $h_n = 2.8 \pm 0.2 \text{ mm}$ . La figura 6.3 muestra un esquema de la misma. Cabe destacar

que no se utilizaron probetas con las mismas dimensiones porque el plan de ensayos original contemplaba el uso de dos máquinas distintas para cada tipo de carga. Sin embargo, por problemas externos al desarrollo del presente trabajo, finalmente se optó por utilizar la misma máquina.

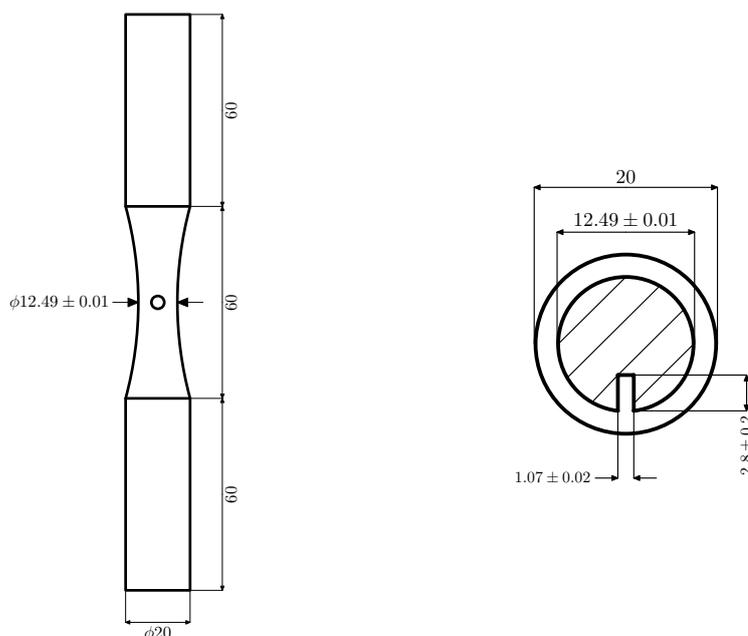


Figure 6.3: Esquema de la probeta ensayada a torsión alternativa y vista de corte de la sección mínima. Unidades expresadas en mm.

Al igual que en el caso anterior, se realizaron 10 ensayos para construir la curva “S-N” del material. Nuevamente, se eligió el valor de  $3.5 \times 10^6$  ciclos como *Run-Out* y se trabajó con las normas ASTM [38, 37] para el cálculo de la curva S-N y el método de Bettinelli et al para el límite a fatiga [35].

## 6.5 Punto de iniciación y dirección de grieta

Una vez terminados los ensayos, se fotografiaron las probetas en la zona del agujero y, en los casos en los que hubo fallo, se midieron el ángulo de iniciación  $\theta$  y la dirección de propagación  $\theta_1$ . La definición de ambas variables pueden observarse en la figura 4.1. Las imágenes fueron obtenidas con el microscopio *Nikon Optiphot 66* y analizadas mediante el software *Perfect Image V7.8*.