

Capítulo 4

Descripción del microdurómetro.

Contenido

4.1. INTRODUCCIÓN.	39
4.2. SISTEMA DE SELECCIÓN DE CARGA.	40
4.3. SISTEMA DE AJUSTE DE LA VELOCIDAD DE CAÍDA DEL EJE DE CARGA.	42
4.4. SISTEMA DE COLOCACIÓN DE LA MUESTRA.	43
4.5. SISTEMA DE VARIACIÓN DE ALTURA.	44
4.6. SISTEMA DE APLICACIÓN DE LA CARGA.	44
4.7. SISTEMA DE MEDIDA DE LA HUELLA.	45
4.7.1. SISTEMA TRADICCONAL.	45
4.7.2. SISTEMA DIGITAL.	46
4.7.2.1. INTRODUCCIÓN.	46
4.7.2.2. CÁMARA DIGITAL DE FOTOS.	47
4.7.2.3. ANALIZADOR DE IMÁGENES.	48
4.7.3. COMPARACIÓN DE AMBOS SISTEMAS DE MEDIDA.	49
4.8. PRUEBAS PREVIAS SOBRE EL MICRODURÓMETRO.	49
4.8.1. LIMPIEZA GENERAL.	49
4.8.2. CHEQUEO DE LA PRECISIÓN Y EXACTITUD DE LA CARGA.	50
4.8.3. CHEQUEO DEL ESTADO DEL PENETRADOR.	51
4.9. OTROS MICRODURÓMETROS.	51

4. Descripción del microdurómetro

Descripción del microdurómetro

4.1. INTRODUCCIÓN.

Para realizar el ensayo de microdureza, se utiliza un equipo llamado microdurómetro. Este equipo consta de un sistema de aplicación de carga que, mediante un penetrador, genera las huellas en la probeta, que después son medidas mediante un microscopio integrado en el propio equipo.

El microdurómetro empleado en este estudio ha sido de la marca ZWICK, modelo 3212, cuya vista general se presenta en la fig 4.1. Pueden destacarse las siguientes partes principales^[25]:

1. Vástago para fijar altura.
2. Rueda de ajuste de altura.
3. Plataforma inferior.
4. Eje de carga.
5. Sistema de carga para cargas comprendidas entre 10 g y 150 g
6. Brazo de aplicación de carga.
7. Rueda de ajuste de velocidad de caída.
8. Carcasa protectora del penetrador.
9. Interruptor de iluminación.
10. Objetivos para magnificación de la huella (10x, 40x y 60x).
11. Objetivo visor (10x).

12. Rueda de medida.

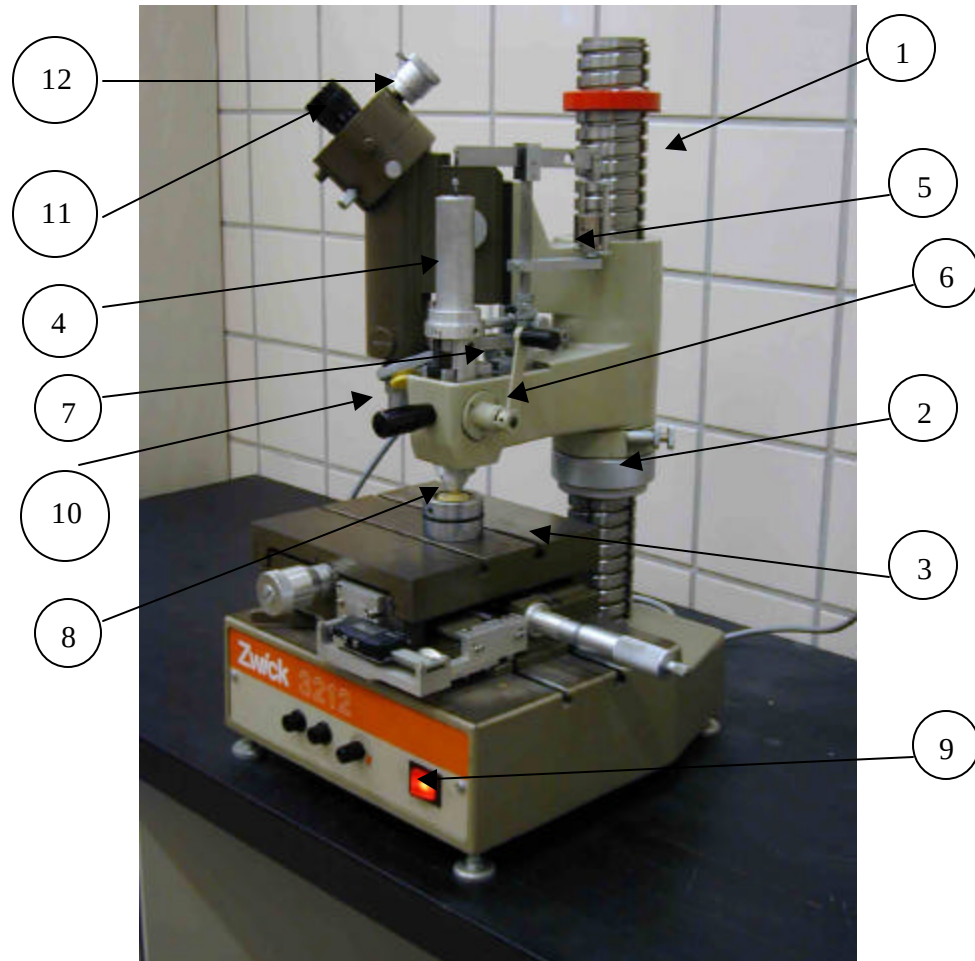


Figura 4.1. Vista general del Microdurómetro ZWICK 3212.

4.2. SISTEMA DE SELECCIÓN DE CARGA.

El rango de cargas posible varía desde 10 g hasta 10 kg, separados en los intervalos que contempla la norma. Se pueden distinguir dos rangos bien diferenciados:

4. Descripción del microdurómetro

- Cargas comprendidas entre 200 g y 10 Kg. Para este rango, el juego de pesas se coloca en el eje de carga, como se refleja en la figura 4.2.
- Cargas comprendidas entre 10 g y 150 g. Para este rango, el juego de pesas se coloca en un balancín para contrarrestar los 200 g que pesa el eje de carga, como se refleja en la figura 4.3.



Figura 4.2. Sistema de pesas para cargas entre 200 g y 10 kg.

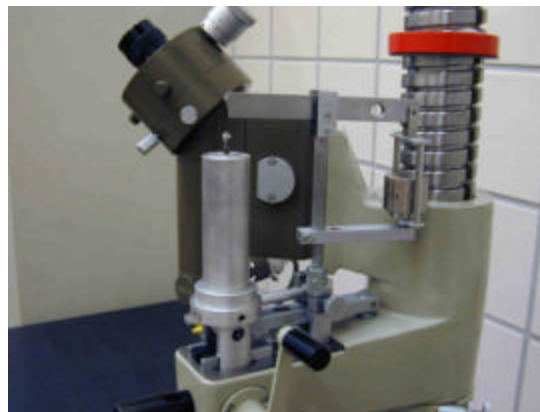


Figura 4.3. Sistema de pesas para cargas entre 10 g y 150 g.

En el segundo caso, para garantizar un correcto valor de la carga elegida, se deben tomar las siguientes precauciones:

- Comprobar que la balanza está en posición horizontal. Si no fuera así, modificar la altura del eje de la balanza ajustando la doble tuerca que hay en él.
- Centrar la pesa con el agujero guía que hay debajo de ella para evitar rozamientos.

4.3. SISTEMA DE AJUSTE DE LA VELOCIDAD DE CAÍDA DEL EJE DE CARGA.

Las fuerzas que determinan la velocidad de caída del eje de carga son dos:

- La fuerza peso que variará según el valor de la carga elegida (secc. 4.2).
- El freno que ejerce un sistema de aceite que actúa sobre un vástago solidario con el brazo de aplicación de la carga (fig. 4.4). Para regular esta fuerza, se hace girar la rueda de ajuste de velocidad de caída. Con esto, se regula el grado de abertura de un orificio, que dejará pasar más o menos aceite a través de él, obteniéndose así, menor o mayor oposición al movimiento.

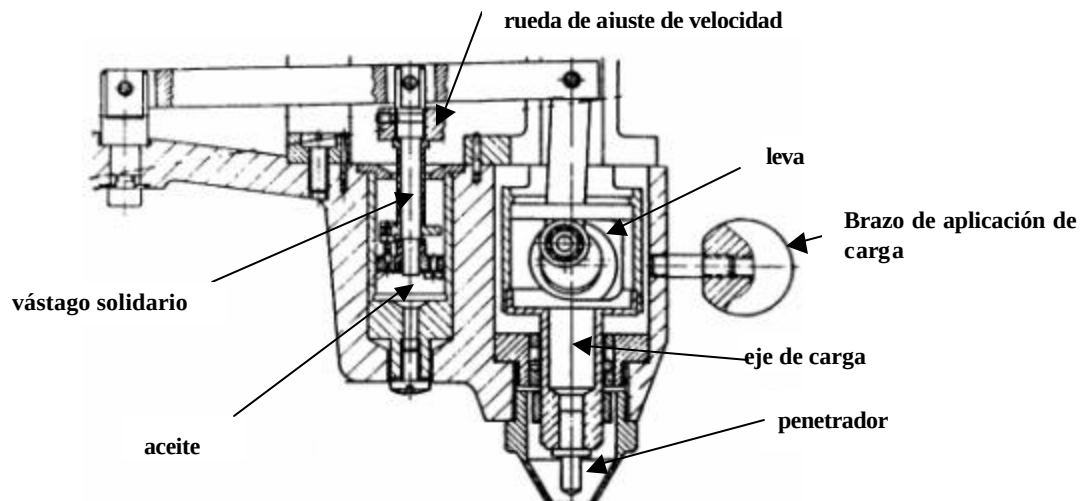


Figura 4.4. Sistema de ajuste de velocidad de caída del eje de carga.

La suma de ambos efectos da como resultado una velocidad de caída constante y que tendrá que ser elegida según norma^[8].

A la hora de ajustar esta velocidad, hay que tener en cuenta que el giro de 90° del brazo de aplicación de la carga corresponde a 6 mm de desplazamiento del penetrador, por lo que dividiendo esa distancia entre el tiempo que tarda en girar el brazo esos 90°, se obtiene la velocidad de caída en cuestión. Es importante tener en cuenta que en este ajuste no deberá colocarse ninguna probeta bajo el penetrador, puesto que en caso contrario, el tiempo en completar los 90° será mayor (ver secc. 4.6).

4.4. SISTEMA DE COLOCACIÓN DE LA MUESTRA.

La muestra a ensayar se coloca sobre la plataforma inferior (fig. 4.1). La superficie que va a ser penetrada ha de estar perpendicular al eje de carga. Para conseguir esto hay dos posibilidades:

- La muestra tiene sus superficies superior e inferior planas y paralelas entre sí, con lo que no necesita de ningún dispositivo adicional.
- En cualquier otro caso se necesitarán dispositivos de agarre. En el caso que nos ocupa, que son probetas cilíndricas de 25 mm de diámetro y 20 mm aproximadamente de altura, el dispositivo empleado es el que se representa en la figura 4.5. Este consiste en una pieza metálica cilíndrica, en cuyo interior se coloca la probeta. Gracias a dos guías y a un tornillo de apriete, se consigue que la superficie a ensayar quede paralela a la base del portaprobetas.

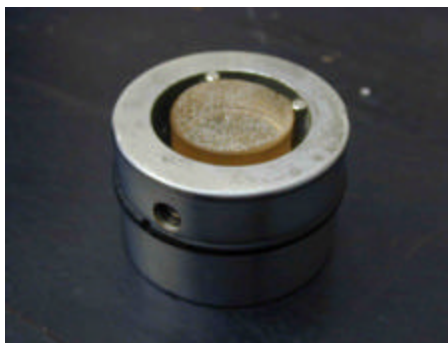


Figura 4.5. Portaprobetas empleado para las probetas ensayadas en este proyecto.

4.5. SISTEMA DE VARIACIÓN DE ALTURA.

Debido a que las muestras pueden tener alturas muy diferentes, es necesario un sistema de control de la posición vertical del penetrador. Para esto, se gira la rueda de ajuste de altura situada en el vástago para fijar la altura (fig. 4.1) y se fija con un sistema de apriete.

La distancia entre la superficie a ensayar y la carcasa de protección del penetrador ha de estar entre 0.5 y 1 mm según recomendación del fabricante^[25]. Si se opta por quitar la carcasa de protección del penetrador, este último estará a una distancia de 3 a 4 mm de la superficie a ensayar (hay mayor margen de variación por ser mayor la distancia).

4.6. SISTEMA DE APLICACIÓN DE LA CARGA.

Para ejecutar el ensayo, una vez hemos ajustado la velocidad de caída del penetrador, el valor de la carga a aplicar y la distancia probeta-penetrador, se inicia ligeramente el giro del brazo de aplicación de carga (fig. 4.6) con lo que el penetrador cae y provoca la huella a medir.

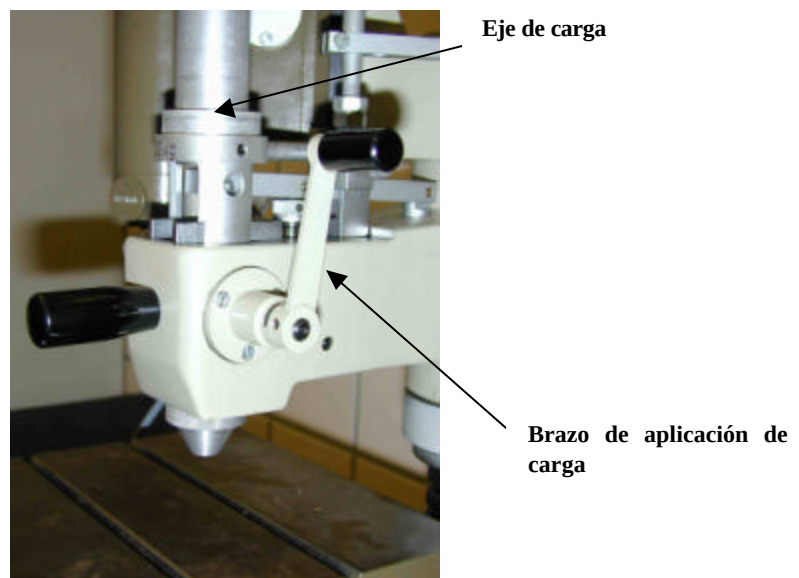


Figura 4.6. Sistema de aplicación de carga.

4. Descripción del microdurómetro

El brazo de aplicación de la carga va unido a una leva en el mecanismo interno del microdurómetro (fig 4.4). Ésta transforma el movimiento de giro del brazo en desplazamiento vertical del eje de carga (al que va unido el penetrador). Durante el movimiento de caída, antes de producirse el contacto entre penetrador y probeta, ambas partes del mecanismo están en contacto (el eje apoyado en la leva), siendo accionadas por:

- El peso de la carga de ensayo.
- El peso del brazo de aplicación de la carga.
- La fuerza de oposición que ejerce el sistema de ajuste de velocidad de caída.

Cuando el penetrador toca la probeta, la leva deja de soportar el peso del eje de carga (que no es más que la carga de ensayo), separándose ambos. En esta situación, el eje de carga queda soportado por la probeta, mientras que el brazo de aplicación de carga sigue su movimiento influenciado por su propio peso y por la oposición del sistema de ajuste de velocidad. Al repartirse las fuerzas, el movimiento del brazo de aplicación se ralentizará ligeramente.

4.7. SISTEMA DE MEDIDA DE LA HUELLA.

4.7.1. SISTEMA TRADICCONAL.

Una vez realizada la huella, el microdurómetro debe girarse (llegar hasta el tope) sobre el vástago para fijar altura (ver fig. 4.1) para conseguir situar el juego de objetivos (ver fig. 4.7) justo sobre la huella realizada.



objetivos

El sistema de medida empleado hasta este estudio consiste en medir la diagonal de la huella mirando directamente a través del objetivo visor y midiendo con una regla graduada ubicada en su interior, tal y como aparece en la figura 4.8. La utilización de este sistema se describe en el manual de laboratorio^[26].

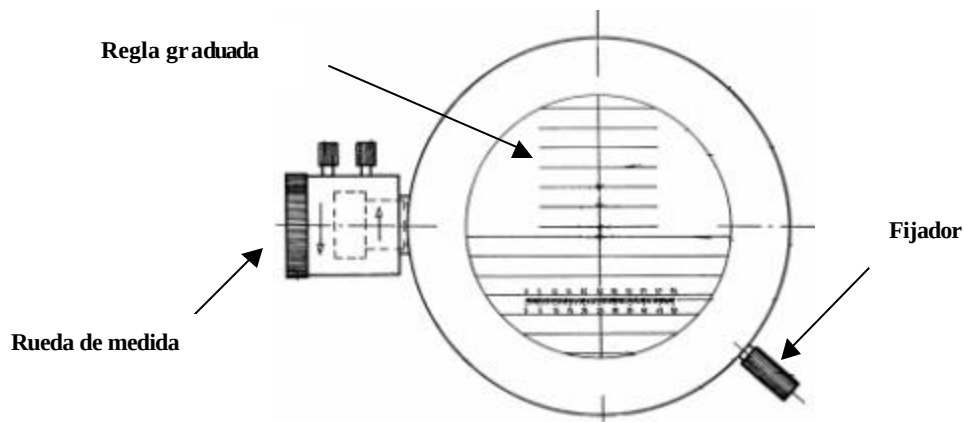


Figura 4.8. Sistema tradicional de medida de la huella mediante regla graduada ubicada en el interior del objetivo visor.

4.7.2. SISTEMA DIGITAL.

4.7.2.1.INTRODUCCIÓN.

Con la intención de automatizar el proceso de medida de la huella, se pensó en utilizar un sistema digital de medida de la huella. Sin haberse cumplido ese objetivo debido a que

4. Descripción del microdurómetro

sigue siendo necesaria la decisión humana en el analizador de imágenes, este sistema ha quedado como una alternativa al método tradicional (secc. 4.7.1).

El sistema digital consta de los siguientes componentes:

- Cámara digital.
- Analizador de imágenes.

4.7.2.2. CÁMARA DIGITAL DE FOTOS.

Se ha empleado una cámara digital de la marca Nikon, modelo Coolpix 950.

Para comprobar que las lentes de la cámara, junto con las lentes del microscopio, no distorsionan la imagen, se ha fotografiado a distintas posiciones del zoom una cuadrícula micrométrica cuya distancia entre centros mide $50\text{ }\mu\text{m}$, tal y como se presenta en la figura 4.9. Como se observa, no hay distorsión.

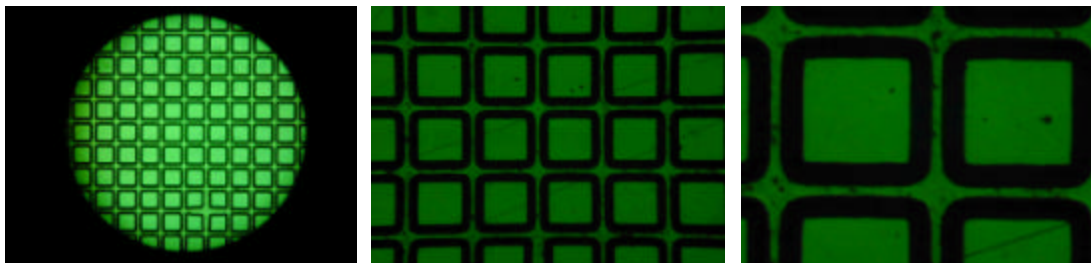
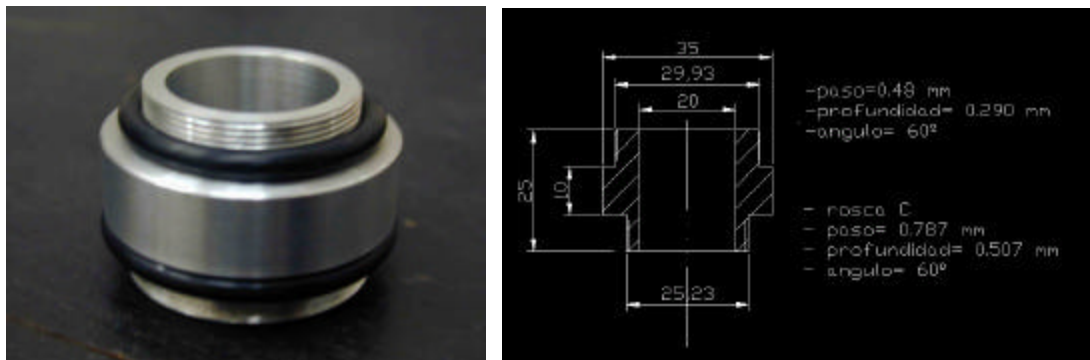


Figura 4.9. Fotos a cuadrícula micrométrica a distintas posiciones del zoom de la cámara.

Para sustituir el objetivo visor por la cámara digital, fue necesario el diseño y construcción de una pieza que uniese ambos elementos. Esta pieza se representa en la figura 4.8 junto con sus dimensiones. El material con el que se ha fabricado la pieza es duraluminio. Para garantizar un apriete óptimo se han puesto dos juntas de goma.



4.7.2.3. ANALIZADOR DE IMÁGENES.

El analizador de imágenes utilizado ha sido el programa informático MIP 4 Advanced, suministrado por la empresa Consulting Imagen Digital S.L. Hay que hacer notar que este programa no permite el análisis de archivos con extensión *.jpg*, por lo que todas las fotografías han de convertirse a formato *.bmp*.

Se han hecho fotos (poniendo al máximo el zoom de la cámara) a una regla micrométrica colocada en el microdurómetro que posteriormente se midieron en el analizador de imágenes, obteniéndose así una regla digital con la que se ha determinado el tamaño de las huellas.

Se ha diseñado una macro para sistematizar el proceso, que contempla los pasos siguientes:

- Calibración mediante la regla digital antes mencionada.
- Apertura de imagen.
- Medida de las dos diagonales pinchando con el ratón en los cuatro vértices (2 a 2) de la huella.
- Cierre de imagen.

El resultado de este programa es un archivo *.dat* con los valores medidos, que posteriormente se tratan en una hoja de cálculo.

4.7.3. COMPARACIÓN DE AMBOS SISTEMAS DE MEDIDA.

El sistema digital presenta las siguientes ventajas frente al sistema tradicional:

- El error cometido con el sistema digital es de $0.069\ \mu\text{m}$ frente a $0.167\ \mu\text{m}$ del sistema tradicional. El sistema digital aumenta la nitidez a la hora de observar la huella, con lo que el perímetro de ésta aparece como bandas de color gris con un ancho de aproximadamente $0.1\ \mu\text{m}$. En el sistema digital no se aprecia dicha banda con lo cual no se es consciente de ese error.
- Divide el ensayo de microdureza en dos módulos: a) Creación de las huellas y b) medida de éstas.

Y las siguientes desventajas:

- Necesidad de 2 equipos adicionales: Cámara digital y ordenador.
- No se tiene constancia del valor de la huella mientras se realiza el ensayo.
- Incómodo para ensayar partículas de pequeño tamaño, debido a que hay que manejar repetidamente el zoom para encontrar la partícula adecuada.
- Mayor dificultad de elegir el punto donde se desea caiga el vértice del penetrador, debido a que con este sistema no aparece en pantalla la regla graduada.

En vista de todo esto, la decisión de emplear un método u otro recaerá en la persona que realice el ensayo.

4.8. PRUEBAS PREVIAS SOBRE EL MICRODURÓMETRO.

Al comienzo de este estudio se llevó a cabo una serie de comprobaciones regidas por la parte 2 de la norma UNE-EN ISO 6507^[8]: "Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers", que contempla la verificación de las máquinas de ensayo.

4.8.1. LIMPIEZA GENERAL.

Se realizó un desmontaje y limpieza exhaustiva del microdurómetro siguiendo su manual de instrucciones^[25]. Esta operación no viene reflejada en la norma pero se creyó oportuno llevarla a cabo para comenzar las pruebas en buenas condiciones del aparato.

4.8.2. CHEQUEO DE LA PRECISIÓN Y EXACTITUD DE LA CARGA.

Siguiendo el apartado 4.1 de la mencionada norma^[8], se procedió a evaluar la exactitud y precisión del sistema de carga del microdurómetro.

Para la carga empleada en este estudio (20 g), la norma permite una desviación de $\pm 1.5\%$, o lo que es lo mismo, ± 0.30 g.

Se ha empleado una balanza digital con una precisión de 0.01 g, la cual se coloca debajo del penetrador como si fuera la muestra a ensayar.

Se han evaluado 10 pruebas durante 10 días (una cada día) en los que se ha empleado el microdurómetro para diversos ensayos. Cada prueba ha consistido en 40 indentaciones sobre la balanza. El resultado obtenido se muestra en la tabla 4.1. Los parámetros con los que se han hecho estas pruebas han sido:

- Distancia penetrador-probeta: 0.5-1 mm.
- velocidad de caída del penetrador: 0.60 mm/s.
- Tiempo de aplicación: Hasta estabilización.

Carga ideal (g)	Carga medida (media)	Desviación estandar
20	20.03	0.14
20	20.09	0.15
20	19.99	0.15
20	20.08	0.09
20	20.21	0.10
20	20.01	0.13
20	20.19	0.10
20	20.01	0.13

Tabla 4.1. Comprobación de la precisión y exactitud de la carga aplicada.

Como se puede observar, los valores entran dentro del rango permitido. Cabe destacar que algunos valores aislados se desvían ± 0.50 g del valor exacto, pero no son representativos en comparación con el resto.

4.8.3. CHEQUEO DEL ESTADO DEL PENETRADOR.

Siguiendo el apartado 4.2 de la norma anteriormente mencionada^[8], se procedió a evaluar el estado superficial del penetrador. Como se puede observar en la figura 4.11, tomada a 40 aumentos, no se aprecia ninguna distorsión de las superficies.

El tamaño de la diagonal de la pirámide es del orden del milímetro por lo que nunca habrá problemas de sobrepasar ese valor, ya que las huellas que nos ocupan en nuestro estudio miden aproximadamente $20\text{ }\mu\text{m}$.

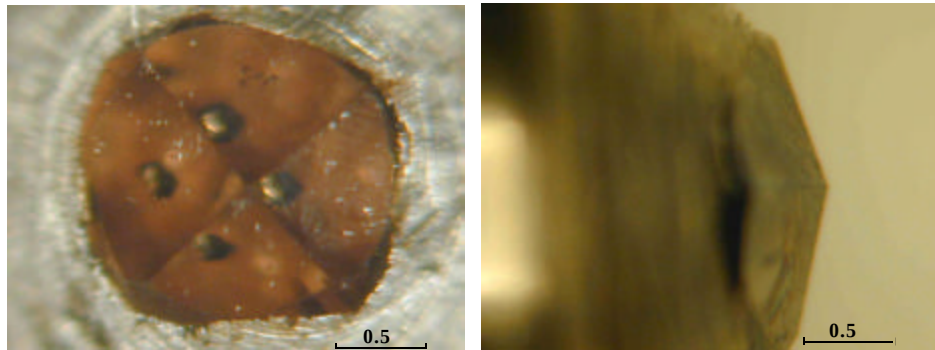


Figura 4.11. Vistas frontal y lateral del penetrador.

4.9. OTROS MICRODURÓMETROS.

Con el fin de comparar el sistema empleado por el microdurómetro ZWICK 3212, con otros microdurómetros existentes en el mercado, se ha buscado en otros laboratorios afines a este Grupo, tales como:

4. Descripción del microdurómetro

a) Grupo de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Escuela Politécnica de Ingenieros Técnicos Industriales de Sevilla en el que se emplea un microdurómetro de la marca KARL ZEISS JENA, modelo CBS.

b) Facultad de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Concepción (Chile) en el que se emplea un microdurómetro de altas prestaciones modelo NIKON MHT-4

Las mayores diferencias encontradas entre ambos y el ZWICK 3212 estriban en el sistema de velocidad de caída del penetrador.

En el caso a), el penetrador se acerca a la superficie de la probeta mediante un mecanismo motorizado. En el mismo instante en el que se produce el más mínimo contacto entre penetrador y probeta, el motor para y pasa a actuar la fuerza de la gravedad gracias al peso de la carga.

En el caso b), el proceso está motorizado en todo instante. Se puede imponer que, una vez que el penetrador contacta con la probeta, el valor de la carga vaya aumentando linealmente hasta llegar al valor elegido para el ensayo.