

## Aparato de Millikan

230 V, 50/60 Hz: 1018884 / U207001-230

115 V, 50/60 Hz: 1018882 / U207001-115

### Instrucciones de uso

07/16 UD/ALF



#### 1. Advertencias de seguridad

El aparato de Millikan cumple las prescripciones de seguridad para aparatos de laboratorio de medición, control y regulación según la normativa DIN EN 61060 Parte 1. Éste está previsto para el trabajo en recintos secos apropiados para medios de trabajo eléctricos.

En su uso correcto, de acuerdo con las prescripciones, se garantiza el funcionamiento seguro del aparato. Sin embargo, la seguridad no se garantiza si el aparato se usa incorrectamente o se manipula sin el cuidado necesario.

Cuando es de considerar que el funcionamiento seguro no es posible (p.ej. con daños visibles) se debe poner el aparato inmediatamente fuera de servicio.

- El aparato se utiliza sólo en recintos secos.
- Se pone en funcionamiento solamente con la fuente de alimentación enchufable que se entrega con él.

#### 2. Descripción

El aparato de Millikan es una unidad compacta basada en el montaje experimental de Millikan, que funciona sin el uso de una fuente de radiación radioactiva.

Se compone de una cámara de experimentación

desarmable con un condensador de placas y un pulverizador de aceite conectado, una instalación de iluminación, con dos LEDs verdes, un microscopio de medición, un generador de tensión, un interruptor para la tensión del condensador y un interruptor para iniciar y parar las mediciones de los tiempos de ascenso y descenso así como un unidad de medición e indicación con pantalla sensible al contacto (Touchscreen).

Las gotitas de aceite cargadas eléctricamente se generan por medio del pulverizador de aceite y su estado de carga aleatorio no se puede influir desde afuera. Las gotitas de aceite se introducen en la cámara de experimentación por la parte de arriba, como en el montaje de Millikan. La selección y la determinación de la carga de las gotitas de aceite adecuadas se realiza por medio de la observación con el microscopio de medición. Junto a esto se mide para cada gotita de aceite el tiempo de subida con el campo eléctrico conectado y el tiempo de bajada sin campo eléctrico en un tramo de camino entre dos marcas seleccionadas en la escala del ocular. Alternativamente, las gotitas de aceite a medir se pueden mantener en suspensión en el campo eléctrico.

Los tiempos de subida y baja medidos para una gotita de aceite cargada, así como los valores de los parámetros relevantes, de tensión eléctrica ajustada, de la temperatura, la viscosidad y la presión se indican en la pantalla sensible al tacto.

### 3. Elementos de mando y control



Fig. 1 Elementos de mando y control

- |   |                                    |    |   |
|---|------------------------------------|----|---|
| 1 | Pies de ajuste                     | 8  | Pulverizador de aceite                                    |
| 2 | Microscopio de medición en soporte | 9  | Conmutador de la polaridad del condensador de placas      |
| 3 | Ajuste de la intensidad de la luz  | 10 | Casquillo hueco para la fuente de alimentación enchufable |
| 4 | Interruptor U                      | 11 | Ajustador de la tensión                                   |
| 5 | Interruptor t                      | 12 | Bola de soplador  |
| 6 | Cámara de experimentación          | 13 | Piñón de focalización                                     |
| 7 | Unidad de indicación y mando       |    |   |

#### 4. Volumen de suministro

- 1 Aparato básico con cámara de experimentación y unidad de indicación
- 1 Microscopio de medición
- 1 Ocular WF15x con escala
- 1 Pulverizador de aceite
- 1 Balón de soplador con manguera
- 1 Nivel de burbuja
- 1 Aguja de ajuste
- 1 Fuente de alimentación enchufable 12 V AC, 2000 mA
- 1 Aceite de Millikan, 50 ml

El aparato de Millikan 1018884 está acompañado de una fuente de alimentación enchufable para una tensión de red 230 V ( $\pm 10\%$ ), 1018882 para 115 V ( $\pm 10\%$ ).

#### 5. Datos técnicos

##### Condensador de placas:

Tensión de condensador : 0 – 600 V  
 Diámetro de las placas: 50 mm  
 Distancia entre las placas: 3 mm

##### Microscopio de medición:

Aumento del ocular: 15x  
 Aumento del objetivo: 2x  
 Longitud de la escala: 10 mm  
 Divisiones de la escala: 0,1 mm

##### Datos generales:

Suministro de corriente: por fuente de alimentación enchuf. 12 V AC, 2000 mA

Dimensiones incl. microscopio de medición: aprox. 37x43x23 cm<sup>3</sup>

Masa incl. fuente de alimentación enchufable: aprox. 4,3 kg

Densidad aceite de Millikan: 877 kg m<sup>-3</sup> con 15°C  
 871 kg m<sup>-3</sup> con 25°C

## 6. Puesta en funcionamiento

- El aparato de Millikan se instala en un puesto de experimentación plano.
- El ajuste vertical se gira hasta el tope en sentido de la manecillas del reloj (ver Fig. 2).
- El microscopio de medición se desplaza hasta el tope en la barra soporte del aparato básico y se fija en el lado inferior utilizando el tornillo moleteado.
- El microscopio de medición se desplaza totalmente hacia adelante utilizando el engranaje de focalización y por medio del ajuste vertical se orienta aproximadamente hacia la ventana de observación en la cámara de experimentación.
- Se abre la caperuza de recubrimiento de la cámara de experimentación, el nivel de burbuja se coloca sobre la placa superior del condensador de placas y se orienta horizontalmente y por medio de los pies de ajuste se optimiza la orientación.
- La aguja de ajuste se inserta en la placa superior del condensador de placas y el microscopio se enfoca en la aguja (ver Fig. 3). Para ello se elige la intensidad de luz apropiada y se reajusta la altura del microscopio de medición por medio del ajuste vertical.
- Se retira la aguja de ajuste y se vuelve a cerrar la cámara de experimentación.
- El pulverizador de aceite se llena hasta la mitad de aceite de Millikan y se coloca con cuidado en su punto de alojamiento en la cámara de experimentación.
- La bola de soplador con manguera se conecta al pulverizador de aceite.

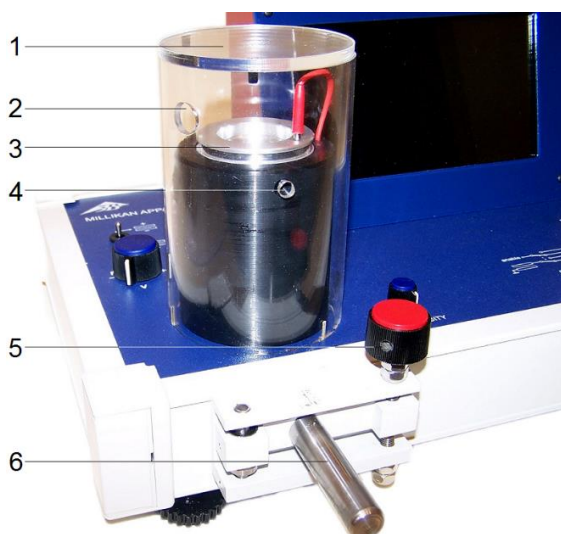


Fig. 2 Cámara de experimentación: 1 Caperuza de recubrimiento, 2 Alojamiento para pulverizador de aceite, 3 Placa superior del condensador, 4 Ventana de observación, 5 Ajuste vertical del microscopio, 6 Barra soporte para el microscopio de medición

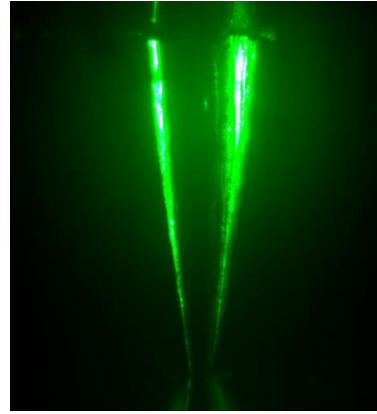


Fig. 3 Vista de la aguja de ajuste focalizada, a través del microscopio de medición.

## 7. Manejo

### 7.1 Inicio de la unidad de indicación y manejo

- El aparato de Millikan se conecta a la red por medio de la fuente de alimentación enchufable.

La unidad de indicación y manejo está lista a funcionar inmediatamente después de la conexión del aparato de Millikan.

- Con un clic en el botón "Selección", se llega al menú de selección de lenguaje.
- Se selecciona el lenguaje deseado haciendo un clic en el botón correspondiente y se confirma haciendo un clic en "Entrar". Se retorna automáticamente al menú principal..
- En el menú principal se hace un clic en "Seguir" para llegar al menú de medición.

### 7.2 Optimación de la intensidad de la luz

- Se mira en la celda de medición (espacio entre las placas del condensador) por medio del microscopio y se ajusta la intensidad de luz apropiada. Si es necesario se adapta la intensidad de la luz durante la medición.

### 7.3 Producción, selección y observación de las gotitas de aceite cargadas

- Por medio de una corta y fuerte compresión de la bola de soplador se producen y se pulverizan gotitas de aceite en la celda de medición.
- Se espera hasta que aparezcan en la celda de medición gotitas de aceite apropiadas. Esto puede demorar unos segundos.
- De las gotitas de aceite visibles se escoge una que descienda lentamente (alrededor de 0,025 – 0,1 mm/s).
- En caso necesario se reajusta el enfoque del microscopio.

## Observaciones:

La meta es, producir un pequeño número de gotitas de aceite aisladas, no una nube grande y clara de la cual una gotita de aceite se seleccione. Una compresión repetida de la bola de soplador conduce a que lleguen muchas gotitas de aceite a la celda de medición, especialmente por delante del foco del microscopio de medición. Allí afectan la observación de gotitas de aceite que se encuentren en el foco.

Una gotita de aceite apropiada aparece como un punto claro resplandeciente en el foco del microscopio de medición.

Cuando llega mucho aceite a la celda de medición, ésta tiene que ser limpiada. Si después de repetidas compresiones de la bola de soplador no se encuentra ninguna gotita de aceite en la celda de medición, puede que la apertura en la placa superior del condensador esté obstruida y debe ser limpiada.

## 8. Experimento

### 8.1 Metodo de la suspensión

Se determina la tensión de suspenso  $U$  y luego de desconectar la tensión la velocidad de descenso  $v_2$ :

$$v_2 = \frac{x}{t_2} = \frac{S}{V \cdot t_2} \quad (1)$$

$t_2$ : Tiempo de descenso,  $S$ : Distancia de escala,  $V$ : Aumento de objetivo ( $2x$ )

De los equilibrios de, la fuerza eléctrica, el empuje ascensional en el aire, la fricción de Stokes en el aire y la fuerza de gravitación se obtiene para el radio  $r_0$  y la carga  $q_0$  de la gotita de aceite:

$$r_0 = \sqrt{\frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot v_2}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}} \quad (2)$$

$$q_0 = 9 \cdot \pi \cdot \frac{d}{U} \sqrt{\frac{2 \cdot \eta^3 \cdot v_2^3}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}} \quad (3)$$

$\eta$ : Viscosidad del aire,  $\rho_2$ : Densidad del aceite,  $\rho_1$ : Densidad del aire,  $g$ : Aceleración de caída libre,  $d$ : Distancia entre las placas del condensador (3 mm)

- Se selecciona la polaridad de la tensión  $U$ , p.ej. Placa superior "+", de la inferior "-".
- Tiempos  $t_1$  y  $t_2$  eventualmente guardados se ponen en cero pulsando "Reset".
- Se produce, se observa y se selecciona una gotita de aceite apropiada, como se describe en 7.3.
- El interruptor  $U$  y el interruptor  $t$  se ajustan en ON, y el tiempo  $t_1$  que corre se ignora.
- Se ajusta una tensión, que lleve la gotita seleccionada a una posición deseada y la mantenga en suspensión.
- La tensión de suspensión  $U$  indicada en el display se lee y se anota.
- El interruptor  $U$  se ajusta en OFF, así se deja descender la gotita observada. La medición del tiempo  $t_2$  se inicia automáticamente.

- Se fija el interruptor  $t$  en OFF, en el momento en que la gotita de aceite ha llegado a una segunda posición de la escala y así se detiene la medición del tiempo  $t_2$ .
- Se lee el  $t_2$  indicado en el diapla y se anota junto con la distancia de las posiciones de la escala.
- En lo posible se repite muchas veces la medición para diferentes gotitas de aceite y además se invierte el signo de la tensión  $U$ .

### 8.2 Método de la ascención

Para una tensión  $U$  seccionada se mide la velocidad de ascenso  $v_1$  y luego de desconectar la tensión  $U$  la velocidad de descenso  $v_2$ :

$$v_1 = \frac{x}{t_1} = \frac{S}{V \cdot t_1}, \quad v_2 = \frac{x}{t_2} = \frac{S}{V \cdot t_2} \quad (4)$$

$t_1$ : Tiempo de ascenso,  $t_2$ : Tiempo de descenso,  $S$ : Distancia de escala  $V$ : Aumento del objetivo ( $2x$ )

De los equilibrios de, la fuerza eléctrica, el empuje ascensional en el aire, la fricción de Stokes en el aire y la fuerza de gravitación se obtiene para el radio  $r_0$  y la carga  $q_0$  de la gotita de aceite:

$$r_0 = \sqrt{\frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot v_2}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}} \quad (5)$$

$$q_0 = 9 \cdot \pi \cdot \frac{d}{U} \cdot (v_1 + v_2) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \eta^3 \cdot v_2}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}} \quad (6)$$

$\eta$ : Viscosidad del aire,  $\rho_2$ : Densidad del aceite,  $\rho_1$ : Densidad del aire,  $g$ : Aceleración de caída libre

- Se selecciona la polaridad de la tensión  $U$ , p.ej. Placa superior "+", de la inferior "-".
- Tiempos  $t_1$  y  $t_2$  eventualmente guardados se ponen en cero pulsando "Reset".

- Se produce, se observa y se selecciona una gotita de aceite apropiada, como se describe en 7.3.
- El interruptor U se pone en ON. Se ajusta la tensión  $U$  de tal forma que la gotita de aceite pase lentamente hacia arriba por encima de la primera posición de escala previamente seleccionada, en la parte superior de la celda de medición.
- El interruptor U se pone en OFF, así se deja que la gotita de aceite vuelva a descender.
- El interruptor t se pone en ON, en el momento en que la gotita de aceite ha vuelto a llegar a la primera posición y así se inicia la medición del tiempo  $t_2$ .
- El interruptor U se pone en ON en el momento en que la gotita de aceite a llegado a una segunda posición de escala prevista, en la región inferior de la celda de medición, en esta forma se deja que la gotita de aceite suba. La medición del tiempo  $t_2$  se detiene la medición del tiempo  $t_1$  se inicia automáticamente.
- El interruptor t se pone en OFF, en el momento en que la gotita de aceite ha llegado nuevamente a la primera posición y así se detiene la medición del tiempo  $t_1$ .
- El interruptor U se pone en OFF.
- Los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  además la tensión  $U$  ("Previous Voltaje") se leen en el display y se anotan junto con la distancia de la posición de escala.
- Se repite muchas veces la medición para diferentes gotitas de aceite y diferentes y tensiones del condensador invirtiendo también el signo de la tensión  $U$ .

### 8.3 Corrección de la fuerza de fricción de Stokes

Radios muy pequeños se encuentran en el orden de magnitud del camino libre medio de las moléculas del aire, así que la fricción de Stokes debe ser corregida. Para el el radio  $r$  corregido y la carga  $q$  corregida se obtiene entonces:

$$r = \sqrt{r_0^2 + \frac{A^2}{4}} - \frac{A}{2} \quad \text{con } A = \frac{b}{\rho} \quad (7)$$

$b = 82 \mu\text{m} \cdot \text{hPa} = \text{constante}$ ,  $\rho$ : Presión atmosférica

$$q = q_0 \cdot \left(1 + \frac{A}{r}\right)^{-1.5} \quad (8)$$

con  $r_0$  de acuerdo a la ecuación (2) resp. (5) y  $q_0$  de acuerdo con la ecuación (3) resp. (6).

### 8.4 Parámetros relevantes para la evaluación

La temperatura, la presión atmosférica y la viscosidad del aire se miden con sensores integrados resp. calculados y se indican en la pantalla.

Densidad del aceite:

877 kg m<sup>-3</sup> con 15°C

871 kg m<sup>-3</sup> con 25°C

Densidad del aire:

1,293 g m<sup>-3</sup> con 0°C y 1013,23 hPa

### 8.5 Evaluación

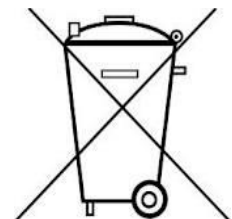
- De la ecuación (8) se determinan las cargas de las gotitas de aceite.

Las cargas determinadas a partir de la medición se dividen por un número entero  $n$  de tal forma que los valores resultantes muestren una pequeña dispersión alrededor del valor medio que corresponde al valor estimado de la carga elemental. Como medida para la dispersión sirve la desviación estándar. El resultado es más significativo mientras más valores de medida se tomen, es decir que mientras mayor es el conjunto de muestras y menor es el número de cargas en las gotitas de aceite. (Recomendación:  $n < 10$ ).

## 9. Almacenamiento, Limpieza, Desecho

- El aparato se almacena en un lugar limpio y seco, libre de polvo.
- Antes de limpiar el aparato se separa del suministro de corriente.
- Al limpiarlo no se use ningún detergente agresivo o disolvente.
- Para limpiarlo se usa un trapo suave húmedo.
- El embalaje se desecha en los puestos de reciclaje locales.

En caso de que el aparato mismo deba ser chatarrizado, éste no forma parte de la basura doméstica normal. Al ser usado en hogares privados, puede ser desechado por las empresas locales públicas encargadas de desechos.



- Se deben cumplir las prescripciones vigentes sobre el desecho de chatarra eléctrica.