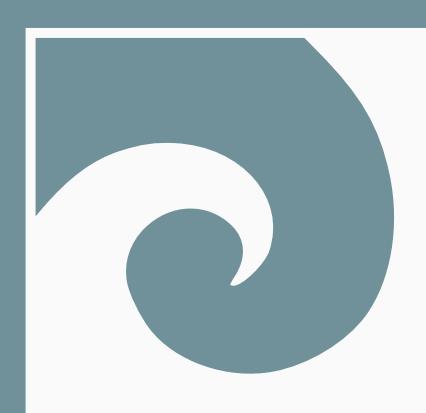




Método schlieren sintético para determinar el perfil de una gota sésil: demodulación de un patrón a cuadros



Valentina Cincunegui Lupi^{1*}, Ignacio Pablo Hernando^{1*}, Pablo Cobelli^{1,2}

¹UBA, FCEN, Departamento de Ciencias Físicas, Laboratorio de Turbulencia Geofísica, Grupo FLIP

²CONICET, Instituto de Física Interdisciplinaria y Aplicada (INFINA)

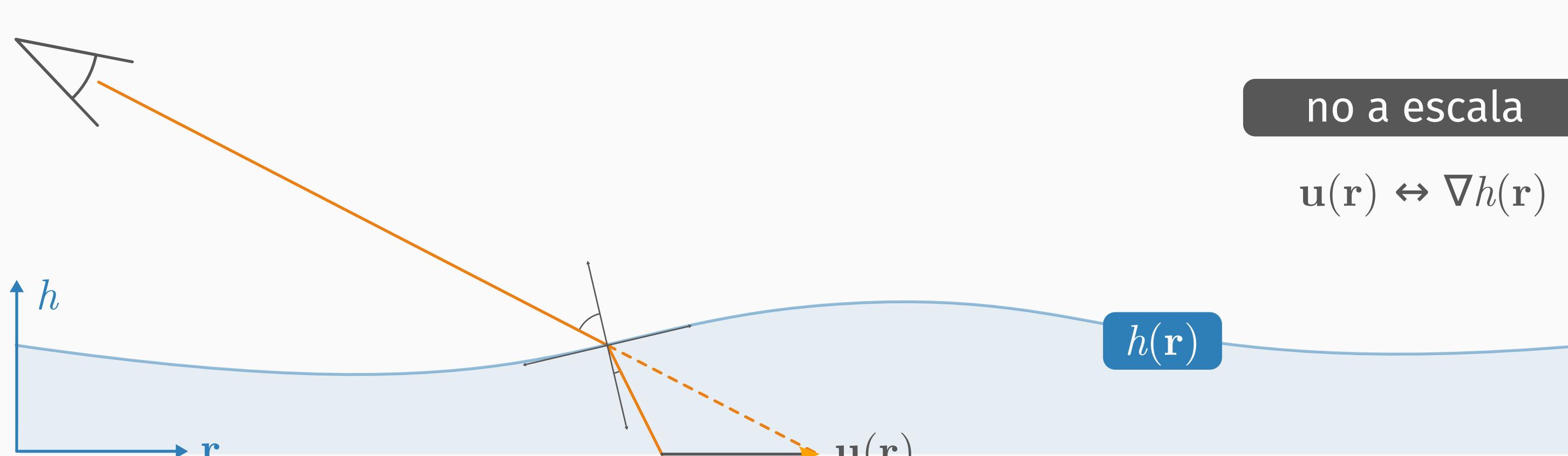
*Autores con igual participación

RESUMEN

Las herramientas para medir topografías superficiales y su dinámica son de suma importancia en varios campos. Aquí se presenta un **método de tipo schlieren sintético que fue puesto en marcha en el laboratorio**. La calibración y validación de la configuración experimental y el código utilizado se llevaron a cabo **midiendo la topografía de una gota estática ("sésil")** un sistema bien caracterizado por la literatura. Se muestran los resultados de la validación del método implementado y se discuten sus limitaciones y ventajas.

ÓPTICA SCHLIEREN

Los métodos de óptica schlieren sirven para observar variaciones en las propiedades de un medio transparente. En particular, existen métodos de schlieren sintéticos (en adelante SSI) que permiten **reconstruir la topografía de la superficie libre de un fluido, $h(r)$, usando un patrón de fondo y una cámara**.

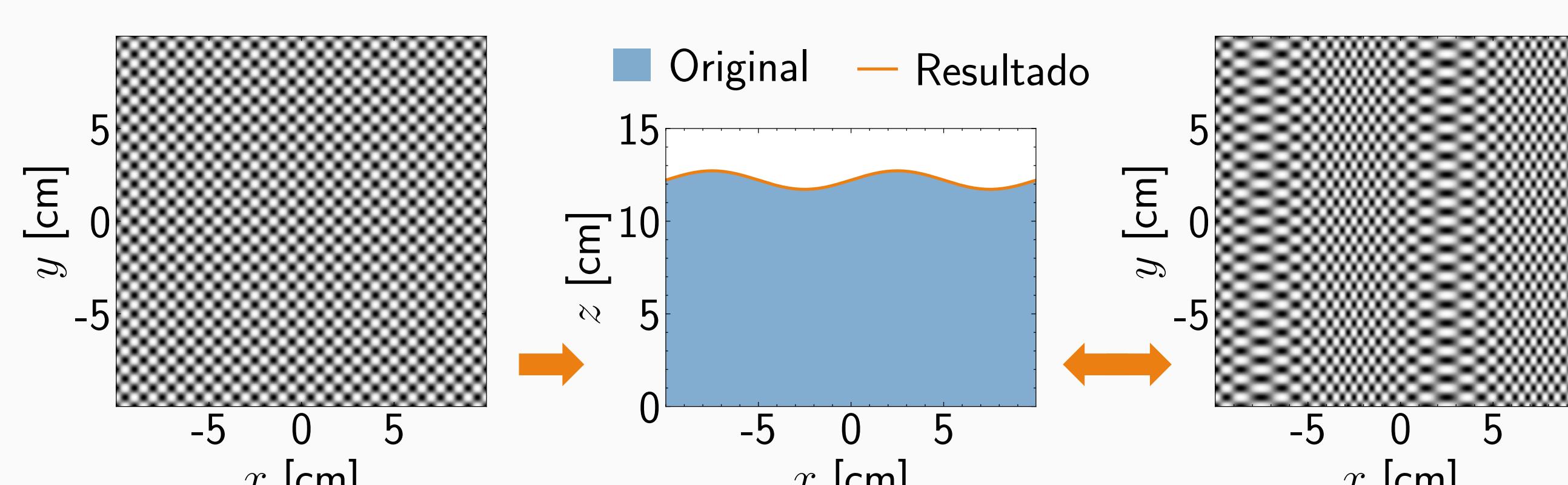


Cuando un patrón debajo de un fluido se observa desde arriba (p. ej. con una cámara), este se ve deformado debido a la refracción de la luz en su superficie:

$$I = I(r) \longrightarrow I' = I(r - u(r))$$

donde $I(r)$ es el patrón visto sin el fluido de por medio, $I'(r)$ el patrón deformado, y $u(r)$ el campo de desplazamientos. **Bajo ciertas aproximaciones se tiene una relación proporcional entre $u(r)$ y el gradiente de la superficie $\nabla h(r)$** que depende del camino óptico entre el patrón y la superficie. Entonces, con algoritmos que recuperan $u(r)$ a partir las deformaciones de un patrón, los métodos schlieren obtienen $\nabla h(r)$ e, integrando, $h(r)$.

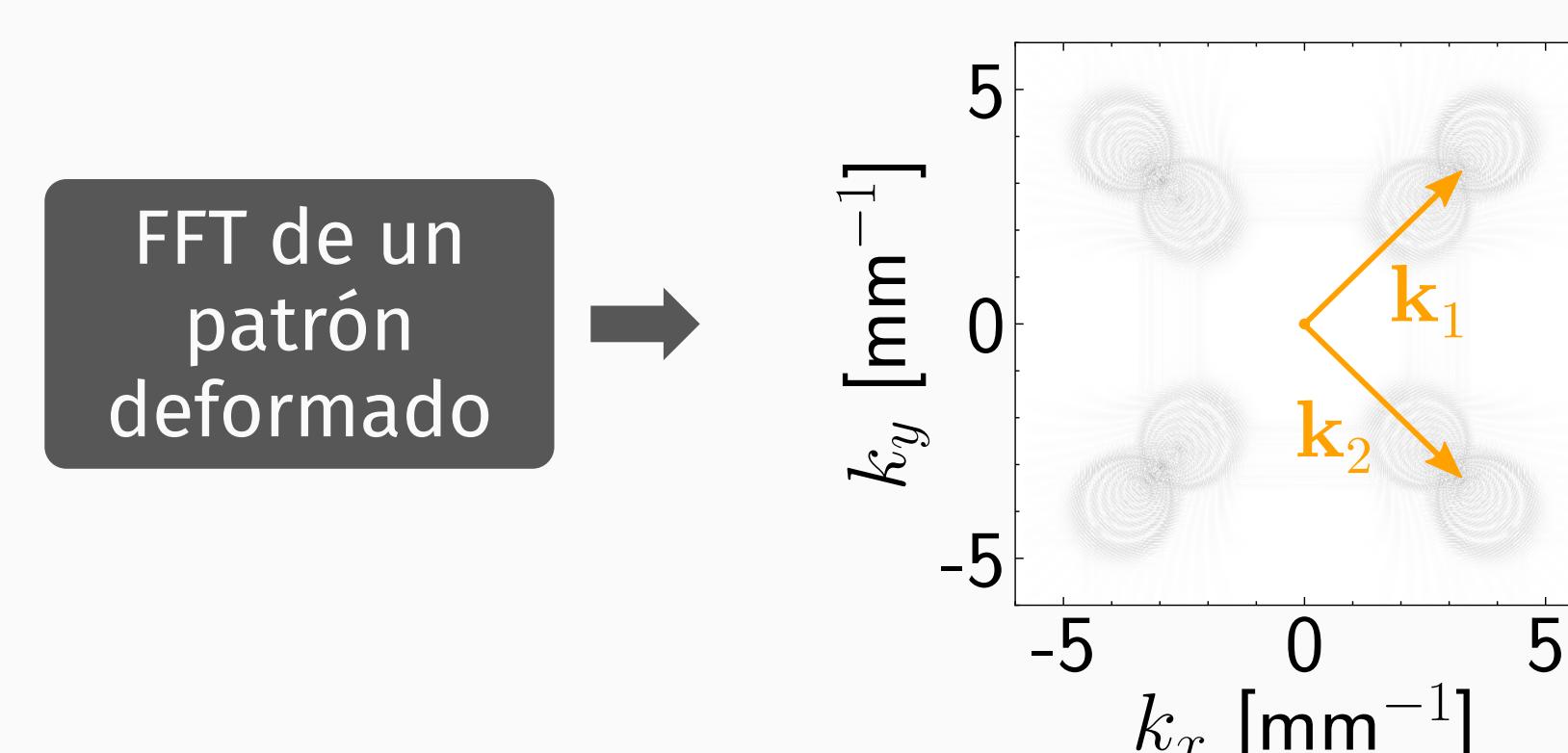
SCHLIEREN SINTÉTICO POR DEMODULACIÓN DE UN PATRÓN A CUADROS (FCD)



Una de las maneras de obtener $u(r)$ a partir de una referencia del patrón $I(r)$ y sus deformaciones $I'(r)$ se conoce como demodulación de un patrón a cuadros (FCD por sus siglas en inglés). Como dice su nombre, este método usa un **patrón bidimensional periódico**, que tiene dos frecuencias portadoras k_1 y k_2 :

$$I(r) \propto \Re \{ e^{-ik_1 \cdot r} + e^{-ik_2 \cdot r} \} \longrightarrow I'(r) \propto \Re \{ e^{-i(k_1 \cdot (r-u(r)))} + e^{-i(k_2 \cdot (r-u(r)))} \}$$

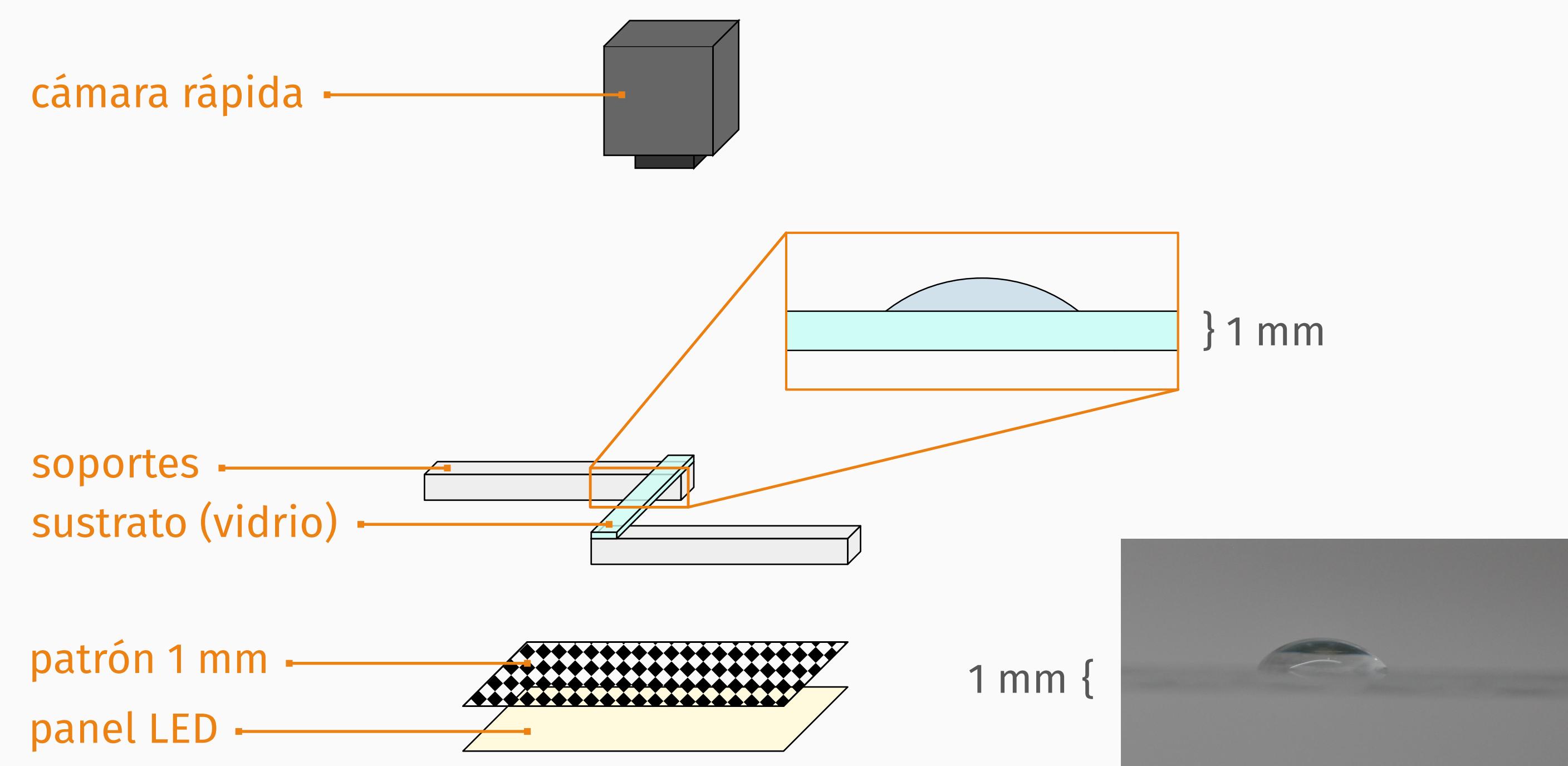
Para despejar $u(r)$ se separan las componentes de $I(r)$ e $I'(r)$ en cada frecuencia portadora mediante FFT's (notablemente eficientes). Luego, se resuelve el campo de desplazamientos $u(r)$ invirtiendo un sistema lineal.



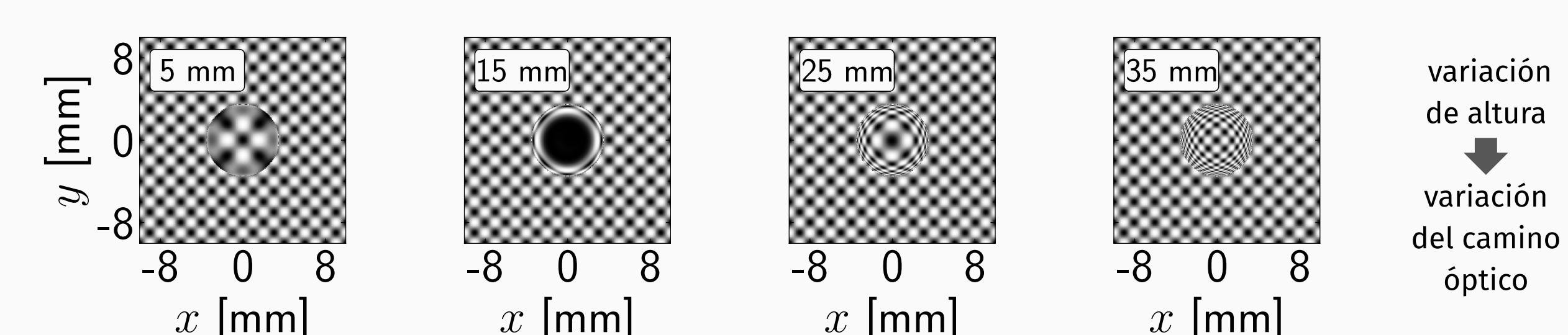
$$\begin{cases} \ln(I_1^* I'_1) = -k_1 \cdot u(r) \\ \ln(I_2^* I'_2) = -k_2 \cdot u(r) \end{cases}$$

DESARROLLO EXPERIMENTAL

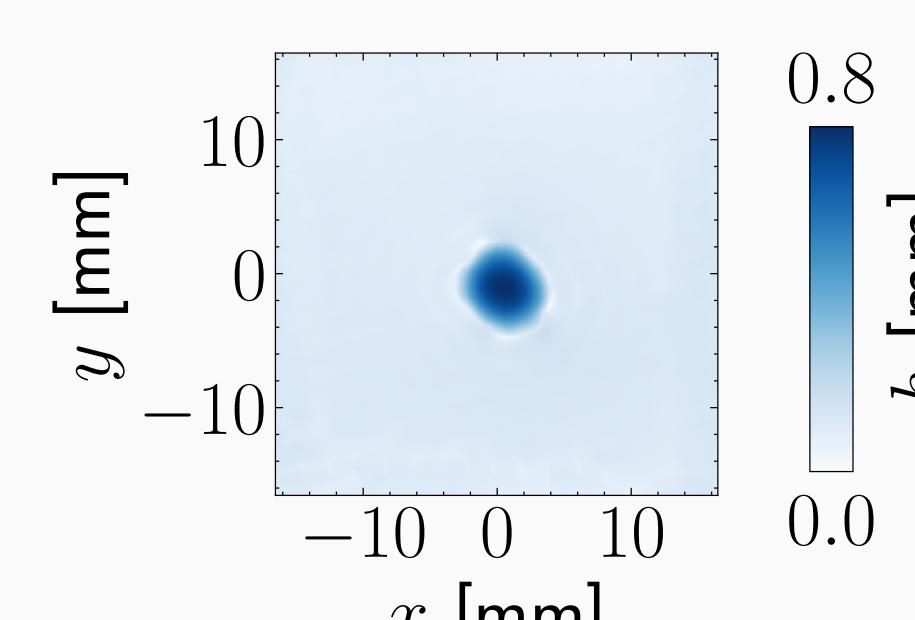
Para poner el método en uso en el laboratorio y configurar el código de análisis FCD se realizaron mediciones de un patrón a cuadros deformado por una gota sésil. El montaje contenía un panel LED para iluminar el patrón y la cámara rápida 1024x1024 para capturar sus deformaciones. La gota se apoyaba en un sustrato sustentado a una distancia del patrón que se varió de 1 a 7 mm.



Se complementó el procedimiento experimental con pruebas numéricas que simulaban las deformaciones, aproximando a la gota con un casquete esférico.



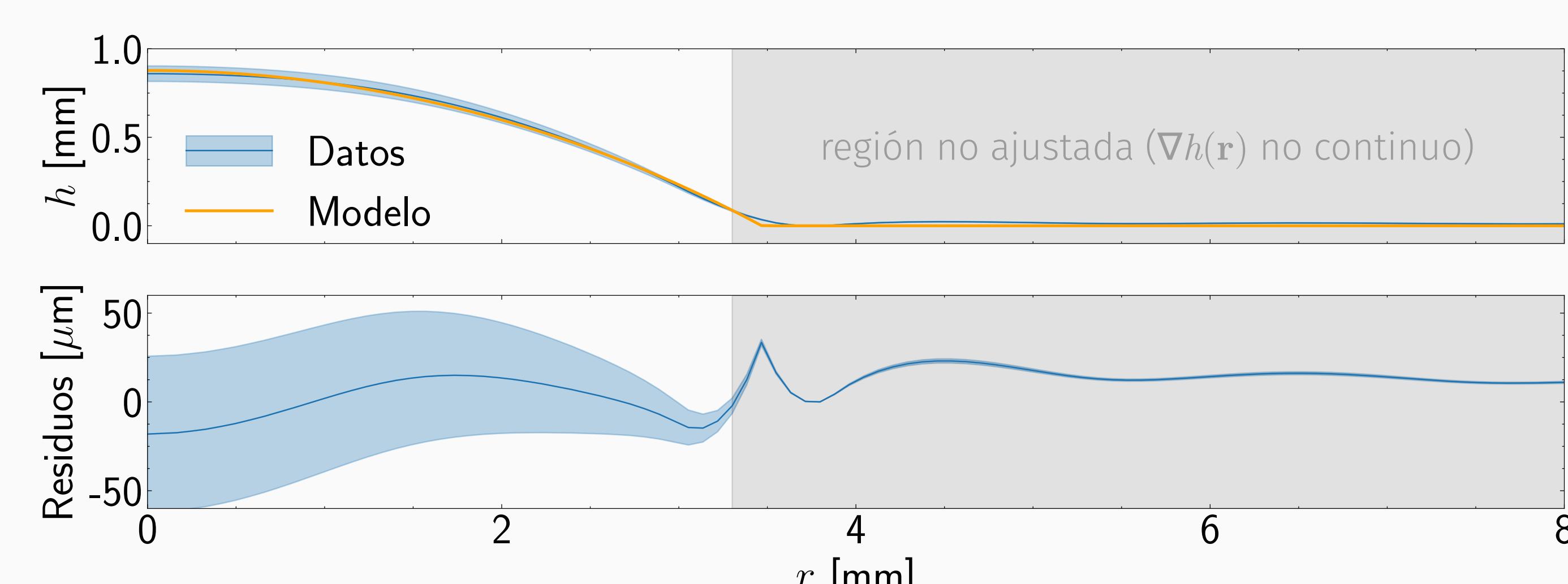
RESULTADOS



$$\text{Ecuación de Young-Laplace: } \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \Delta p$$

$$\text{Modelo casquete: } z(\rho) = z_0 \pm \sqrt{R^2 - \rho^2}$$

Se muestra la topografía de la gota colocada a una altura de (6.2 ± 0.6) mm. Los errores de los datos se estimaron usando Monte-Carlo para propagar la incertezza en k_1 y k_2 . Se comparó lo visto en el laboratorio con las dimensiones del mapa de alturas y se ajustó el modelo de Young-Laplace (casquete) al perfil radial promedio para evaluar la forma y propiedades de la gota medida.



Volumen: (260 ± 40) μl | Ángulo de contacto: $(28.4 \pm 0.3)^\circ$ | $\chi^2 \sim 0.2$

De esta forma, se apreció la alta resolución del método y finalizó su calibración.

VENTAJAS Y LIMITACIONES

Los resultados del método de SSI implementado pueden ser erróneos si no se respetan ciertas condiciones. h tiene que ser suave, $u(r)$ pequeño, y no debe haber cruzado de rayos. Con esto en cuenta, el método es no intrusivo, de bajo costo, y brinda resultados bidimensionales de buena resolución espacial. Además, por la eficiencia de las FFT'S, es rápido frente a otros métodos de SSI.