

Capítulo 3

Arreglo Experimental

En este capítulo se muestran las bases experimentales necesarias para el desarrollo y estudio del rectificador Browniano. También se detalla el diseño de los electrodos para generar los potenciales asimétricos junto con simulaciones computacionales que describen al campo eléctrico generado por el mismo.

3.1. Diseño del Dispositivo

En este trabajo se aplicó un campo eléctrico entre dos electrodos coplanares separados unas cuantas micras con el fin de producir campos eléctricos grandes (del orden de unos cuantos volts por micra). Un diseño adecuado de los electrodos puede producir potenciales eléctricos asimétricos periódicos como los mostrados en la Figura 3.1 (como por ejemplo electrodos interdigitados asimétricos).

Estos potenciales asimétricos son de suma importancia en la rectificación del movimiento Browniano, es decir, en la inducción de una dirección preferencial de desplazamiento de las partículas en sistemas fuera de equilibrio. En ausencia de tales potenciales, las partículas Brownianas (como el polvo en el aire) se desplazan aleatoriamente con su distancia promedio de desplazamiento igual a cero. Mediante una modulación temporal

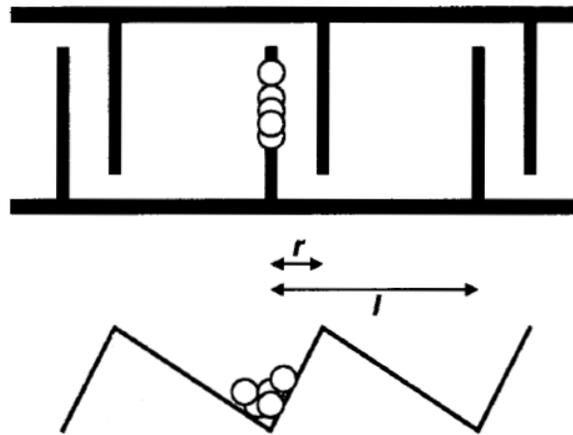


Figura 3.1: Electrodos coplanares

del potencial asimétrico es posible inducir una corriente preferencial de micropartículas y la separación de partículas de diferentes tamaños debido a las diferencias en la constante de difusión de las mismas. El funcionamiento de los ratchets (potenciales asimétricos en conjunción con movimiento Browniano para producir rectificación del mismo) es muy simple: Cuando el potencial está encendido, las partículas se confinan en las regiones de mayor gradiente (primera fila de la Figura 2.1). Cuando el potencial se apaga, las partículas se difunden libremente con igual probabilidad de desplazamiento hacia la izquierda o derecha. Cuando el potencial se prende otra vez, las partículas que se movieron hacia la izquierda pasaran al siguiente mínimo del potencial mientras que las que se movieron hacia la derecha, regresaran al mismo potencial, produciendo de esta manera rectificación del movimiento Browniano.

La separación entre electrodos de la misma polaridad es l y entre electrodos opuestos es r (Figura 3.1). La asimetría del dispositivo permite dos diferentes distancias entre electrodos: r y $l - r$. Cuando se aplica un potencial V con una duración de $t = t_{on}$, se crean las trampas con forma de sierra. Posteriormente durante la etapa de apagado de duración $t = t_{off}$, los electrodos se descargan hasta $V=0$, tiempo durante el cual las

partículas se difunden por movimiento Browniano isotrópicamente. Después se aplica de nuevo el potencial y las partículas quedan atrapadas de nuevo y así sucesivamente. Con la selección de un t_{off} adecuado, se crea una probabilidad alta de que la partícula avance al siguiente mínimo de potencial y una probabilidad casi nula de que retroceda a un mínimo anterior. El movimiento de las partículas está determinado por diversos factores como su constante de difusión D , energía térmica $k_B T$ y características del dispositivo de electrodos.

3.2. Simulación por Computadora del Dispositivo

Para la simulación del potencial eléctrico de los electrodos se ocupó el software comercial *COMSOL Multiphysics 3.4 módulo AC/DC*. Para el dibujo de los electrodos se utilizaron las dimensiones reales y se indicaron las características físicas correspondientes a cada material como su conductividad y potenciales a los que estaban sometidos. Los resultados obtenidos se discuten en el Capítulo 4.

3.3. Fabricación del Dispositivo

Para la fabricación del dispositivo se usó un proceso llamado *fotolitografía*. Este proceso consiste en transferir un patrón desde una fotomáscara a una superficie. Se usaron unos portaobjetos de vidrio cubiertos con un sustrato de ITO (Óxido de Indio-Titanio) de 150 nm de grosor.

El primer paso fue cubrir el sustrato con una capa de *fotoresist* el cual es una resina que cambia sus propiedades químicas al exponerse a la luz. Cuando la luz incide sobre esta resina se vuelve resistente a solventes como la acetona, mientras que las partes que permanecieron sin exponerse no. Gracias a estos cambios químicos, es posible “grabar”

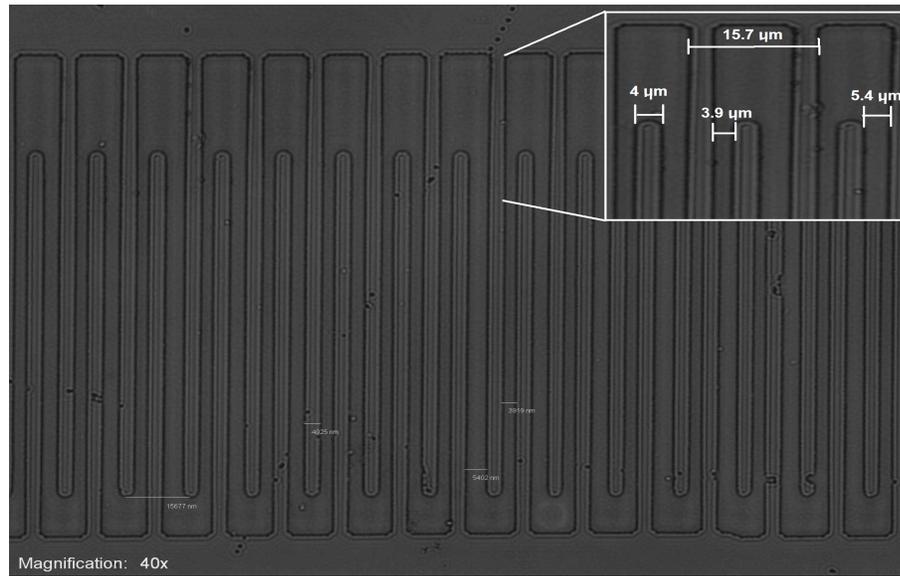


Figura 3.2: Fotografía de los electrodos tomada con el microscopio Olympus BX-51.

la forma deseada en el sustrato al hacer incidir la luz a través del patrón y al sumergir el sustrato en el solvente, el fotoresist que permaneció sin exposición será removido. Después todo es sumergido en ácido clorhídrico y sólo las partes del sustrato que han sido expuestas permanecerán pegadas al vidrio pues las protege el fotoresist mientras que lo demás será removido. Finalmente se limpió la placa para remover cualquier residuo no deseado de fotoresist o ácido. Para crear el patrón que *graba* a los electrodos, se hizo un dibujo en AutoCAD y se imprimió en una *fotomáscara*.

3.4. Preparación de las Muestras

Para la realización del experimento se utilizaron partículas fluorescentes de poliestireno de $0.5 \mu m$ suspendidas en agua deionizada para evitar cortos circuitos y efectos no deseados debidos a los iones suspendidos en agua no desionizada. Las esferas utilizadas se adquirieron comercialmente (Polysciences, Inc. PA USA) y están hechas de poliestireno con 3 pigmentos fluorescentes diferentes lo cual permitía que pudieran ser

observadas sin dificultad alguna con el microscopio de fluorescencia Olympus BX-51. Estos pigmentos tienen máximos de excitación en $\lambda = 377,517$ y 588 nm y sus máximos de emisión están en $\lambda = 479,546$ y 612 nm respectivamente. Usando los filtros adecuados en el microscopio, es posible visualizar a las partículas en un fondo oscuro (Figura 3.3).

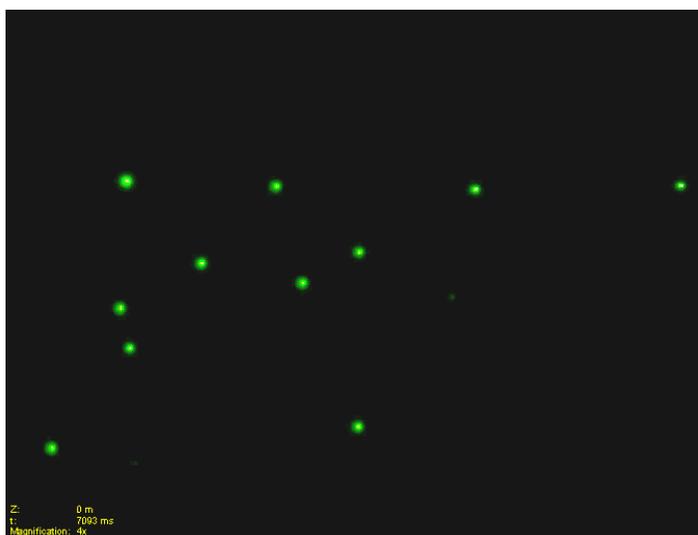


Figura 3.3: Foto de las partículas fluorescentes tomada con el microscopio usando un filtro para eliminar toda fuente de luz excepto la proveniente de la emisión de las partículas.

Para la preparación de las muestras se disuelven las esferas en concentraciones de alrededor de 10^{-4} % para que la densidad fuera lo suficientemente baja como para poder realizar el seguimiento de partículas individuales. Por otro lado, el portaobjetos con los electrodos interdigitados y el cubreobjetos se sumergían en acetona por 5 minutos para remover todo residuo orgánico y se limpiaban con papel óptico. Una vez limpios, se colocan cables de calibre 24 AWG a cada lado de los electrodos usando pintura de plata y pegamento para proteger las uniones. Para ensamblar todo, se coloca el cubreobjetos encima del portaobjetos y se agrega una gota de la muestra de partículas en la orilla del cubreobjetos para que por efecto de capilaridad se distribuya uniformemente

en toda el área. Posteriormente se sella colocando barniz de uñas en todo el rededor del cubreobjetos. Ésto para evitar la evaporación del agua debido al calentamiento inducido por la lámpara del microscopio. Las dimensiones aproximadas de la celda son $2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 20\mu\text{m}$ y el volumen de la muestra es de $10\mu\text{l}$ aproximadamente.

3.5. Arreglo Experimental

El arreglo utilizado se muestra en la Figura 3.4. Se ocupó un generador de funciones (Berkeley Nucleonics Corp. Mod. 625) para la generación del potencial sinusoidal, un generador de pulsos DC (Stanford Research Systems DG535) para hacer la función de *disparador* del generador sinusoidal y crear los pulsos AC, un osciloscopio digital (Tektronix TDS-200) y un microscopio de fluorescencia (Olympus BX-51 con iluminador de fluorescencia HBO).

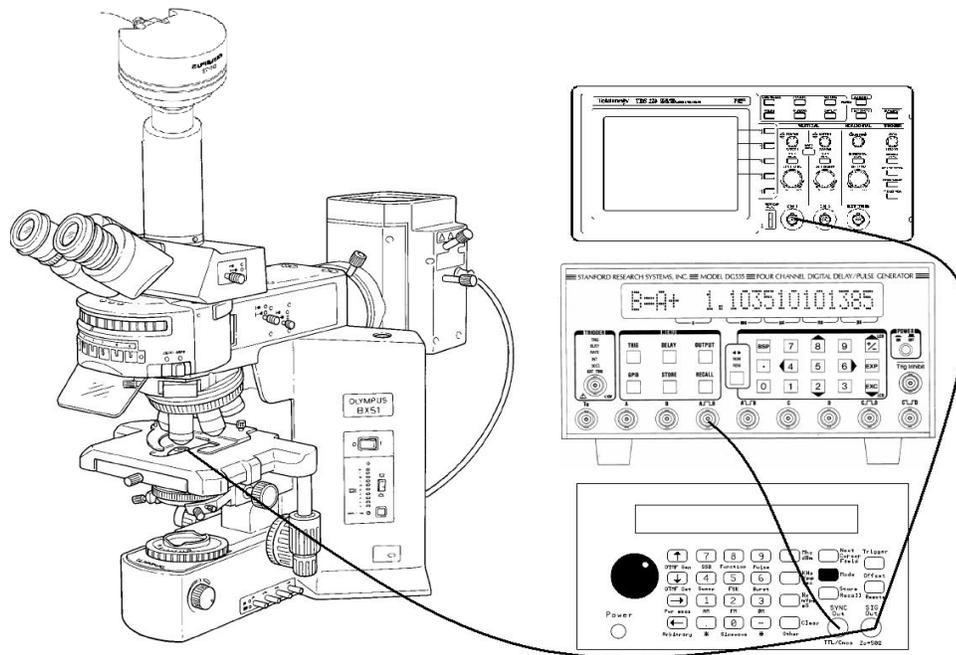


Figura 3.4: Arreglo experimental

Para la adquisición de las imágenes se utilizó una computadora con el software DP2-BSW de Olympus. Para el procesamiento de las imágenes, se empleó un software diseñado específicamente para el seguimiento o *tracking* de partículas desarrollado por el Dr. Luis Gerardo de la Fraga del CINVESTAV el cual corre en la plataforma LINUX. Este procesamiento de las imágenes es de gran importancia ya que los resultados que arroja nos permite medir diferentes cantidades importantes como el desplazamiento total de la partículas, el desplazamiento medio, la velocidad con que se mueve entre otros. Esta información es necesaria para comparar los resultados con la teoría y ver si el dispositivo se comporta como los modelos lo predicen.