

METODOLOGÍA EN LA SINCRONIZACIÓN ENTRE CAPTURA DE VIDEO Y APLICADOR MAGNÉTICO EN EL ESTUDIO DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE CADENAS DE MICROPARTÍCULAS MAGNÉTICAS EN PRESENCIA DE CAMPOS MAGNÉTICOS OSCILANTES DE BAJA FRECUENCIA MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA

- Nicolás G. Mele^{a,b}
- Gustavo A. Pasquevich^{a,b,c}

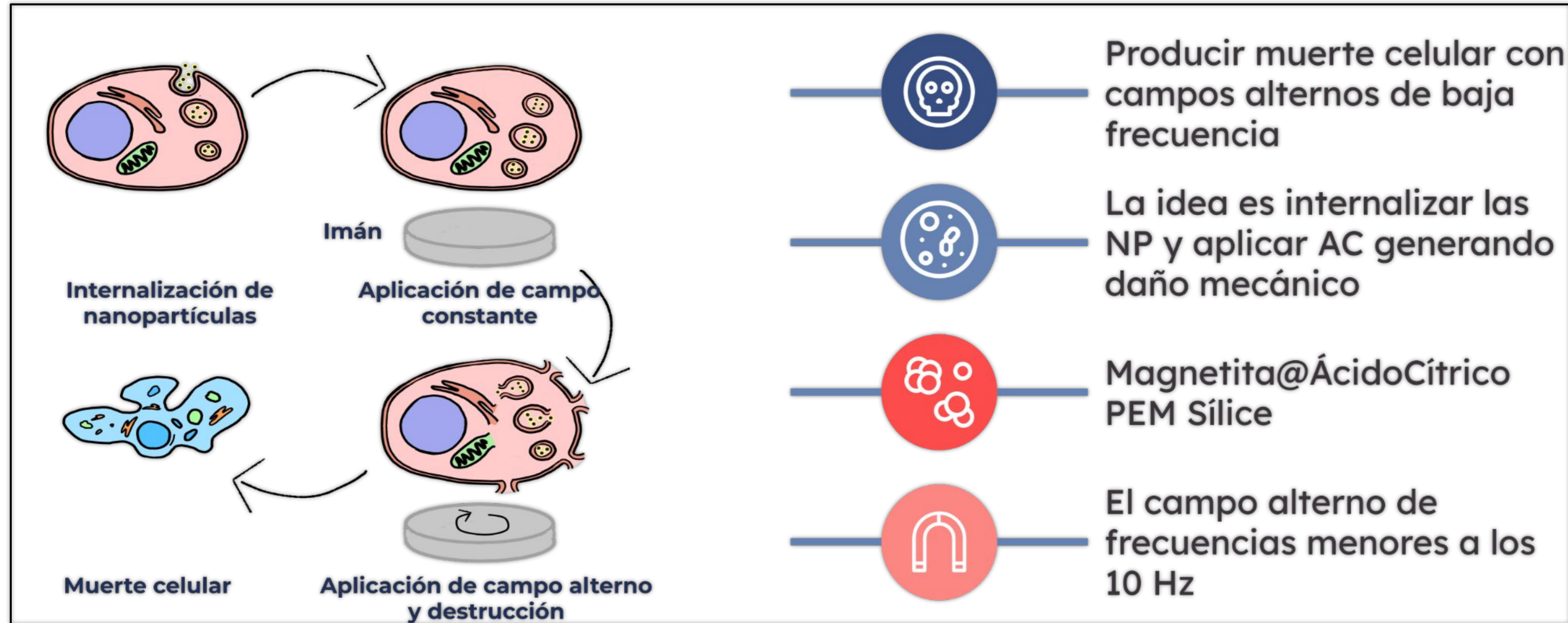
^a Instituto de Física La Plata, CONICET-UNLP, diagonal 113 entre 63 y 64 La Plata,
^b Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP 47 y 115, La Plata,
^c Facultad de Ingeniería de la UNLP 47 y 115, La Plata,
mele@fisica.unlp.edu.ar, gpasquev@fisica.unlp.edu.ar

1 - - - Resumen

En este trabajo se presentan las metodologías utilizadas para sincronizar la información obtenida de un video con una señal con frecuencias entre 0.1 y 5 Hz. El objetivo es tener una herramienta para obtener información del movimiento de microobjetos nanoestructurados ante la presencia de campos variables de baja frecuencia. El marco de aplicación de la presente propuesta es el estudio de movimientos periódicos orientados al uso de los mismos en terapias oncológicas basadas en la ruptura de membranas celulares por estos movimientos de baja frecuencia. El estudio se realiza sobre microesferas de sílice funcionalizadas con nanopartículas magnéticas en la interfaz entre dos líquidos no miscibles. Se discuten dos propuestas de sincronización, una basada en el canal de sonido de la cámara y otra en una señal luminosa. Se discuten ventajas y desventajas y finalmente se presenta un resultado de un estudio en frecuencia entre 0.1 y 3 Hz.

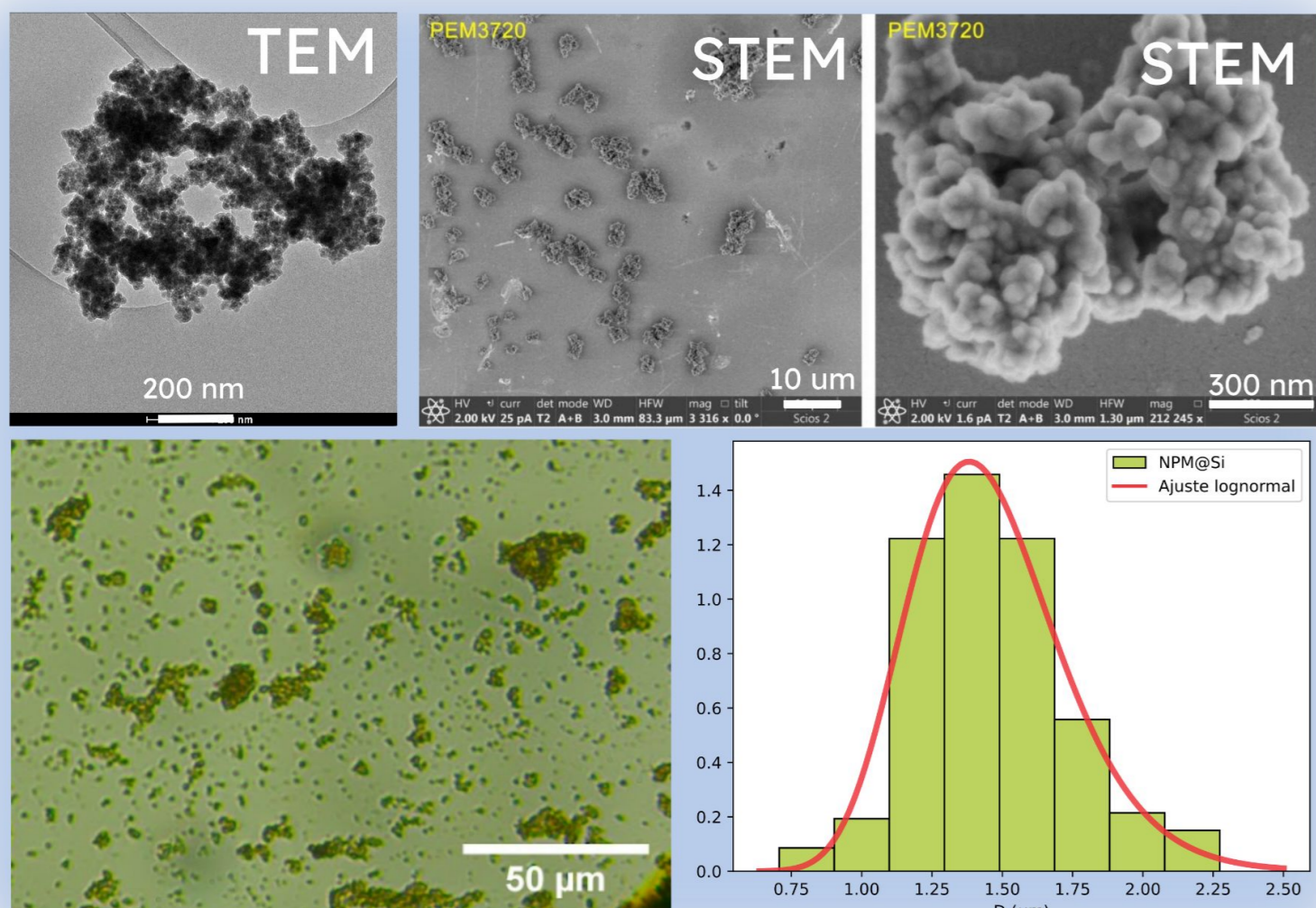
2 - - - Área de aplicación

Actualmente las nanopartículas magnéticas (NPM) resultan de gran interés debido a sus aplicaciones en diversas áreas especializadas como la medicina, terapias oncológicas, biosensores, catálisis, agricultura y medio ambiente (Ali et al. 2021). Una de las temáticas que se está abordando actualmente es el transporte y promoción de estímulos mecánicos aplicando campos magnéticos alternos sobre sistemas dotados de nanopartículas magnéticas. La propuesta es la promoción de movimiento en el interior de células tumorales como iniciadores de muerte celular por aumento de permeabilización de las membranas celulares (Naud et al. 2020).



3 - - - Objetivo

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar y evaluar dos metodologías de sincronización para el registro de movimientos observados por capturas de videos en ensayos de promoción de los mismos mediante la aplicación de un campo magnético variable y periódico.



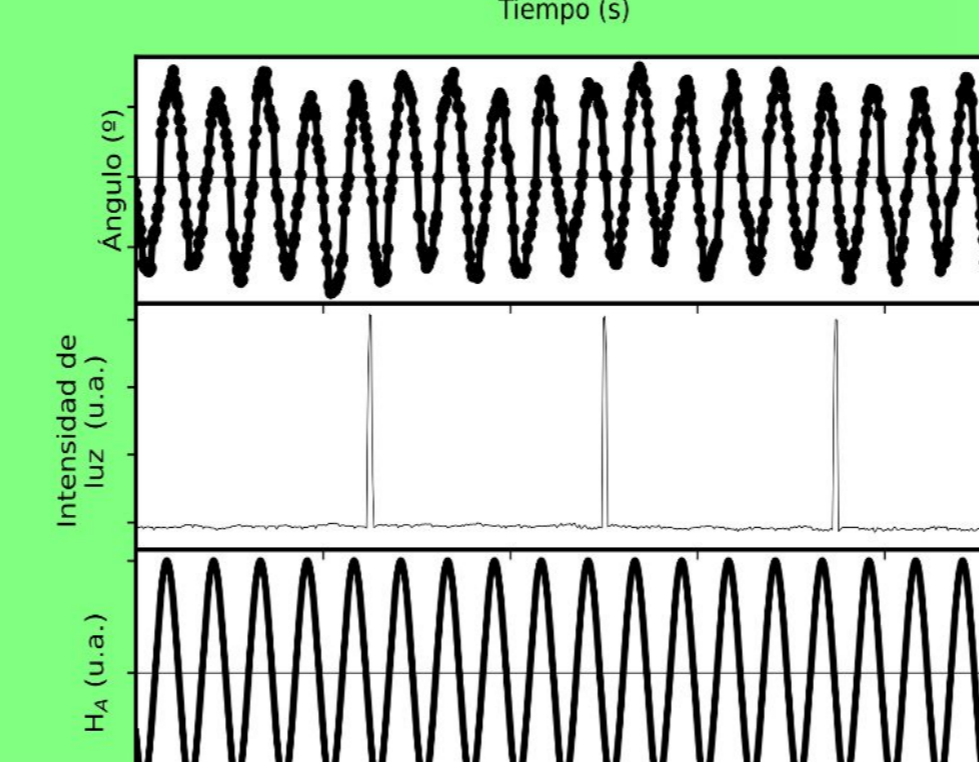
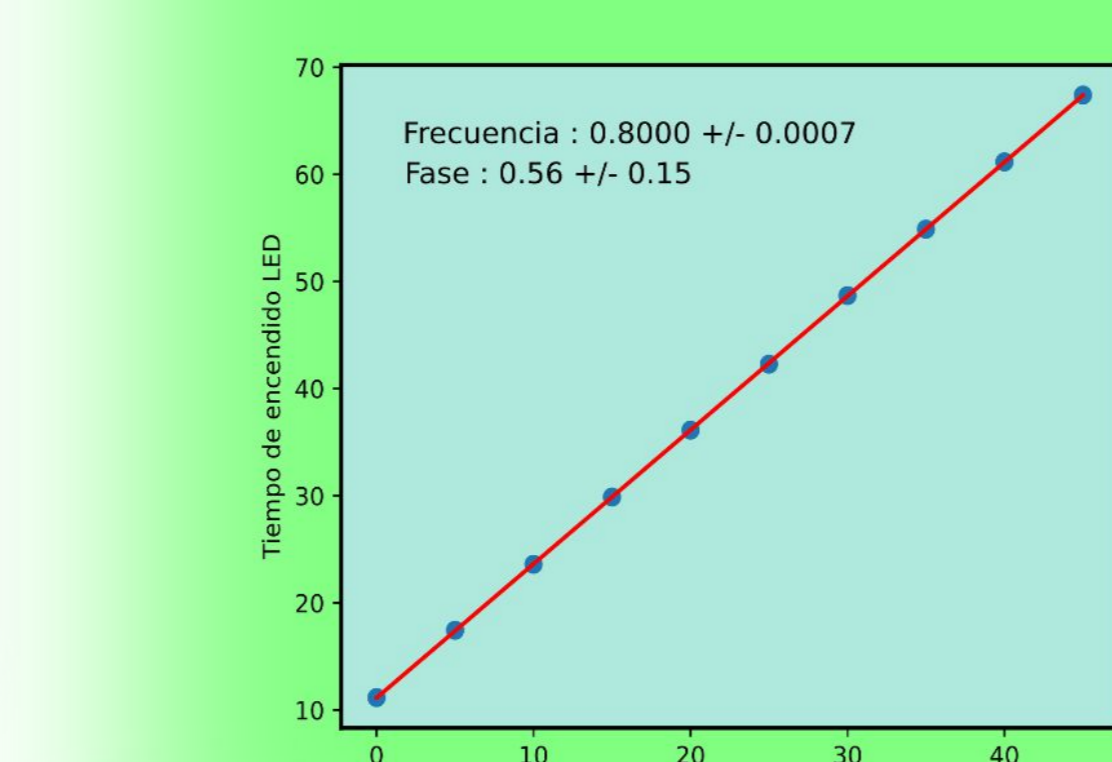
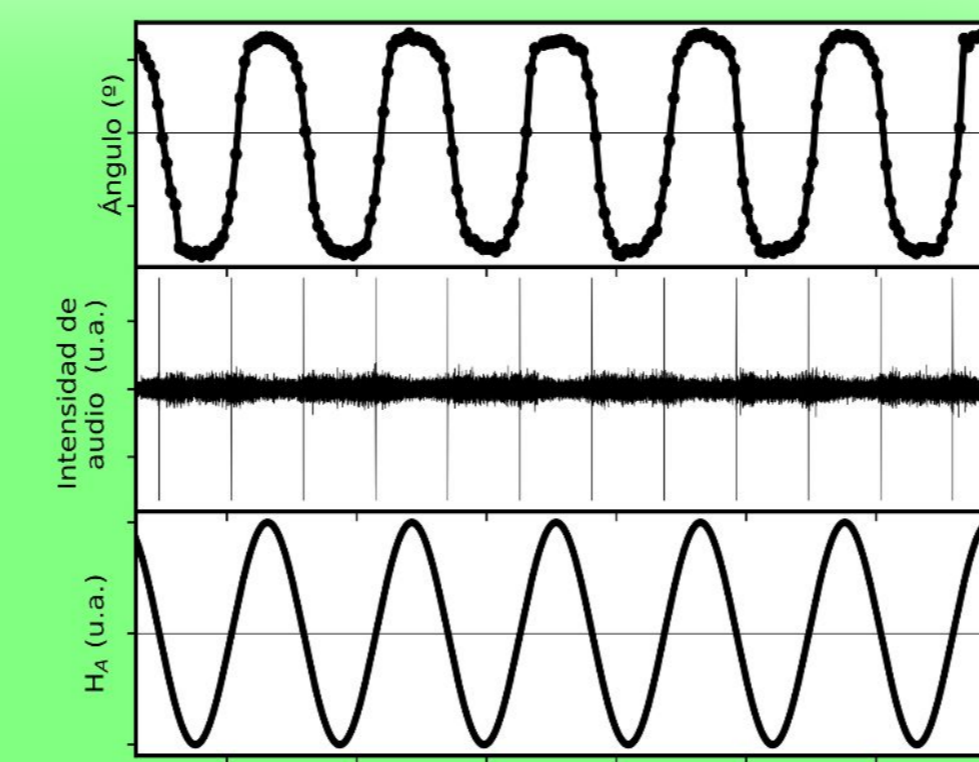
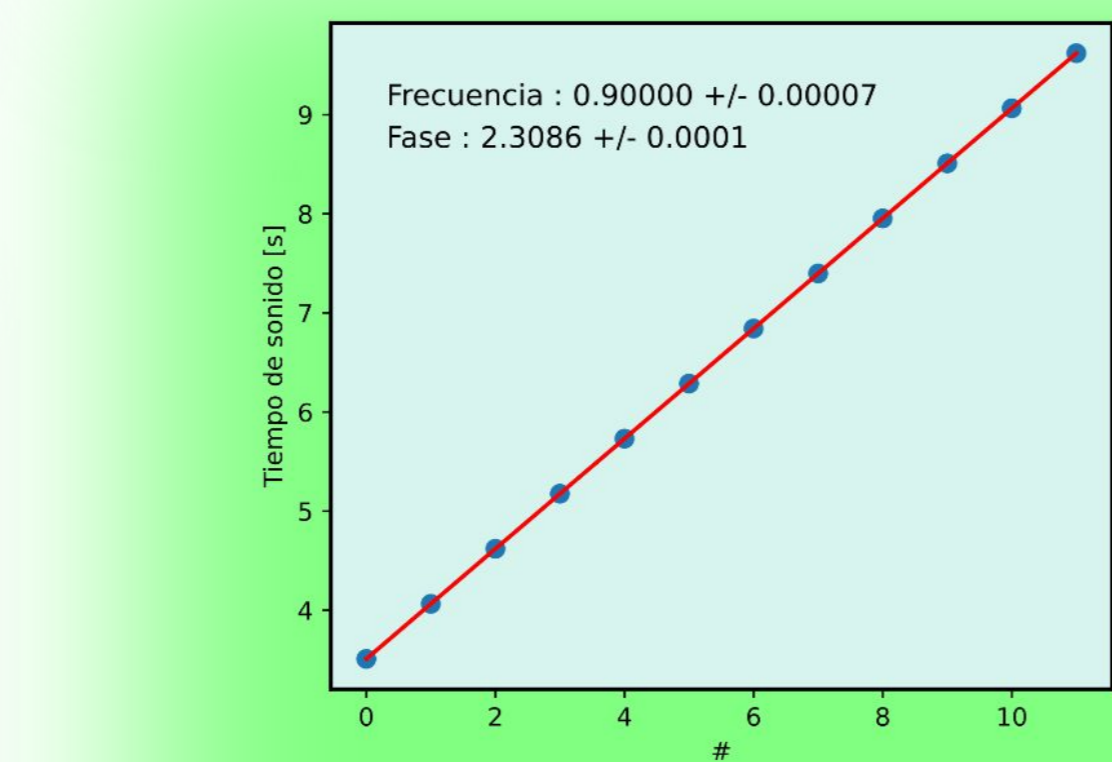
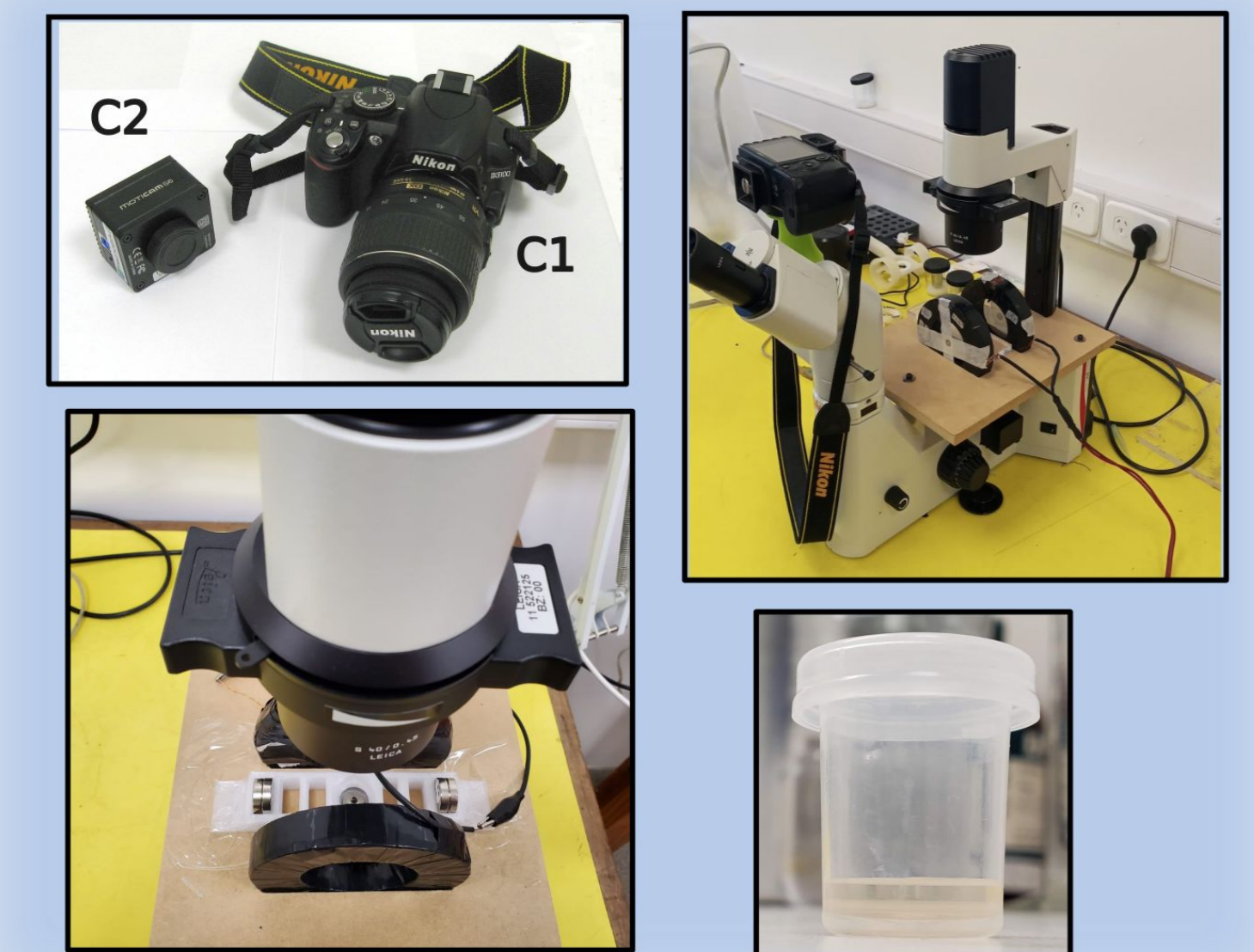
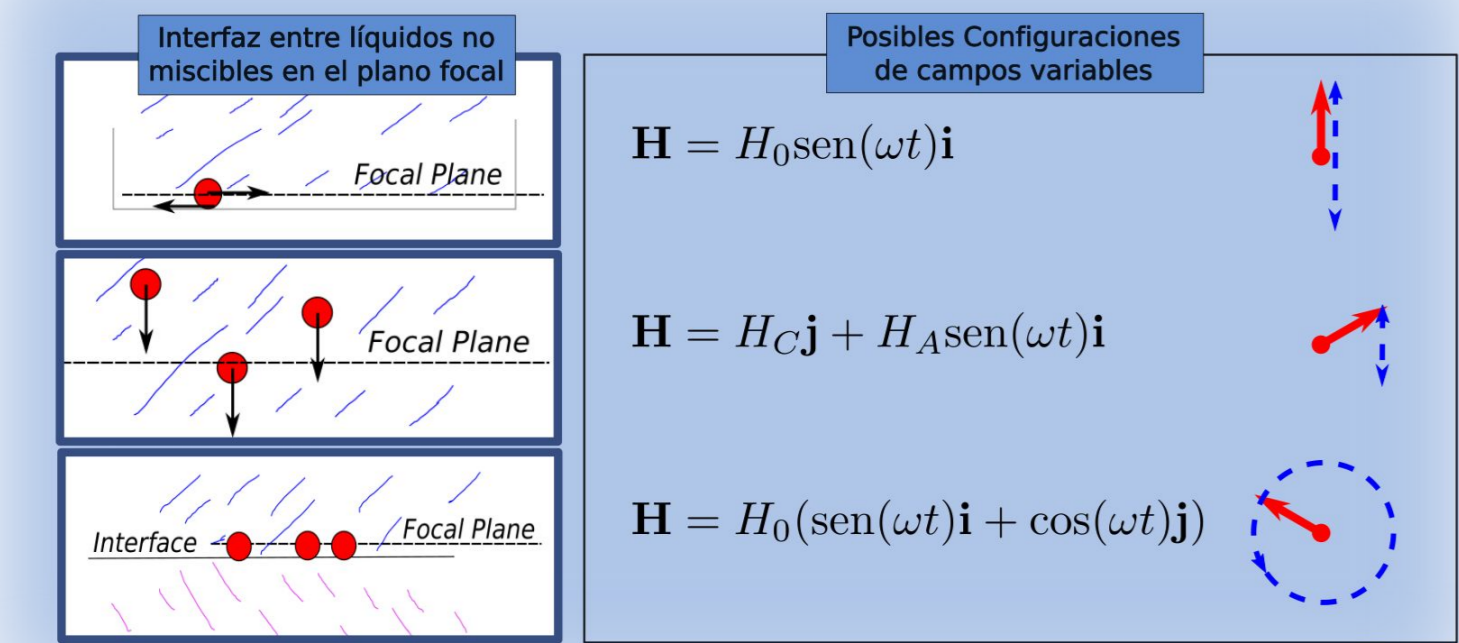
4 - - Metodología e instrumental experimental

Los objetos de estudio fueron cadenas de micropartículas de sílice decoradas con nanopartículas de óxido de Fe (que se denominan aquí perlas magnéticas o PEM) (Capriotti et al. 2023). Tienen un diámetro medio de 1.4 μm y las nanopartículas que las componen tienen diámetros entre 10 y 15 nm con fases compatibles con las de la magnetita o maghemita. En ausencia de campo la magnetización de las PEM es nula mientras que ante campos aplicados ($> 80 \text{ kA/m}$) adquieren un momento magnético de $4.91 \times 10^9 \mu\text{B}$ (donde $\mu\text{B} = 9.274 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$).

Se pueden proponer diferentes configuraciones de campos variables. Por ejemplo uno puramente alterno (A) o una combinación de un alterno y un constante (B), o uno netamente rotante (C), y muchos otros. Hasta ahora hemos implementado los dos primeros. Estos campos pueden conformarse con arreglos de bobinas e imanes permanentes.

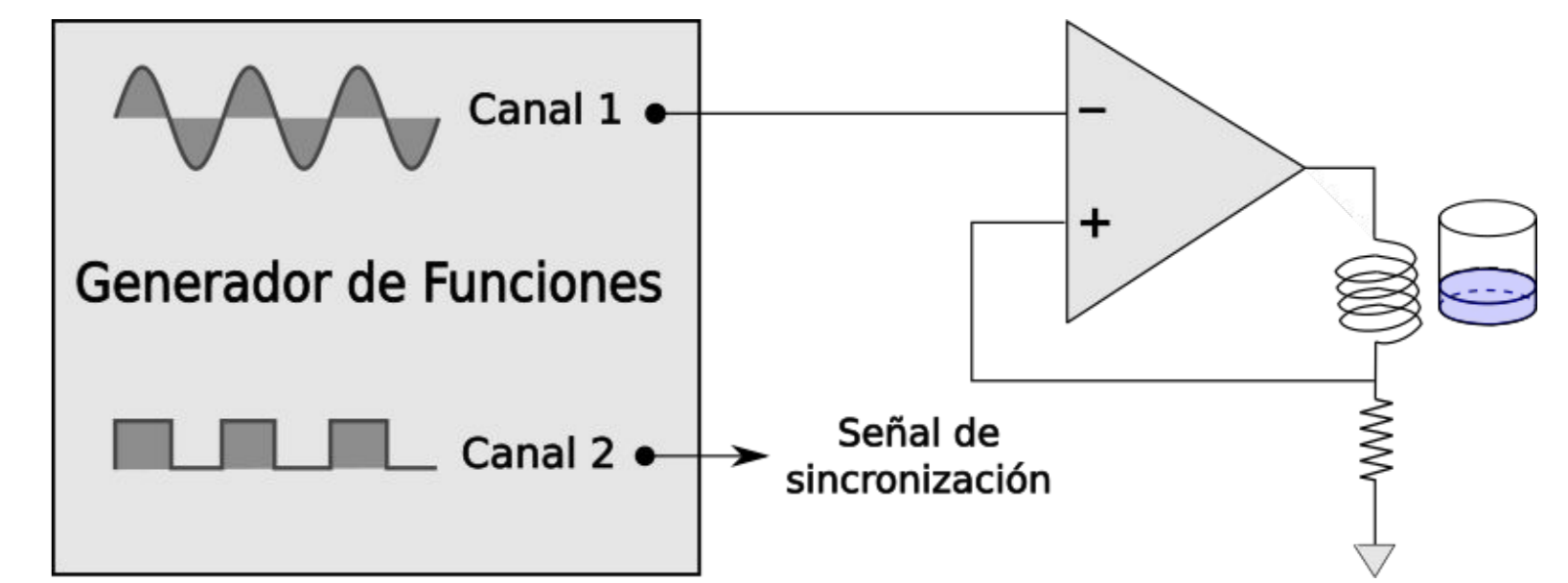
En este trabajo se utilizaron dos cámaras diferentes, una Nikon D3100 (que denotaremos C1) y una Moticom S6 (que denotaremos C2). La primera es una cámara digital reflex orientada a la fotografía mientras que la segunda es una cámara digital para microscopía.

Las micropartículas, que se encuentran en suspensión acuosa, se depositan sobre una delgada capa de cloroformo para poder observar la respuesta ante campos aplicados, ausencia de fuerzas de roce, y manteniendo las partículas en el plano focal del objetivo del microscopio.



5 - - - Metodología de sincronización

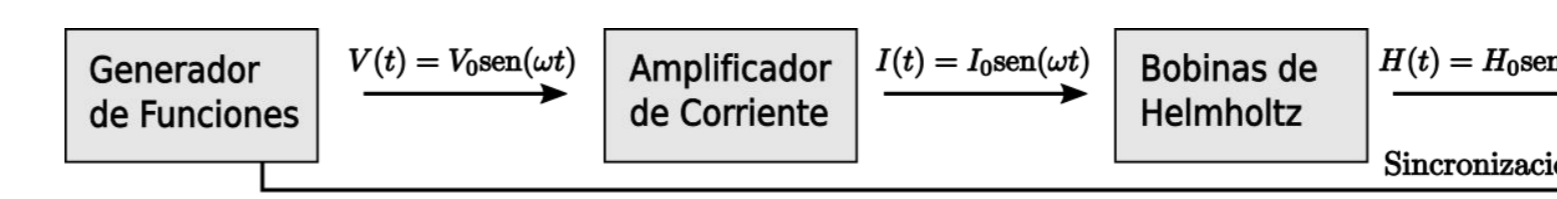
El campo magnético se generó a partir de la combinación de imanes permanentes y bobinas de Helmholtz. Con los primeros se dispone de campos de hasta 80 mT y con las segundas de hasta 4.2 mT. Los experimentos realizados hasta el momento incluyen campos puramente alternos y combinación de constante y alterno. La componente alterna se construye a partir de un generador de onda que define una referencia para una etapa de amplificación (LM3886) realimentada de manera de generar una corriente proporcional a la tensión de entrada. La corriente alimenta un par de bobinas de Helmholtz que generan un campo uniforme en la zona de observación. Utilizando un generador de funciones con dos canales de salida sincronizados, se genera una segunda señal como referencia de sincronización. Esta tiene un cambio abrupto en los cruces por cero y en algunos, dependiendo del experimento, de la señal alterna que es referencia del campo magnético.



Si la componente alterna del campo aplicado es armónica, de frecuencia f y tiene una fase dada respecto al instante inicial del video,

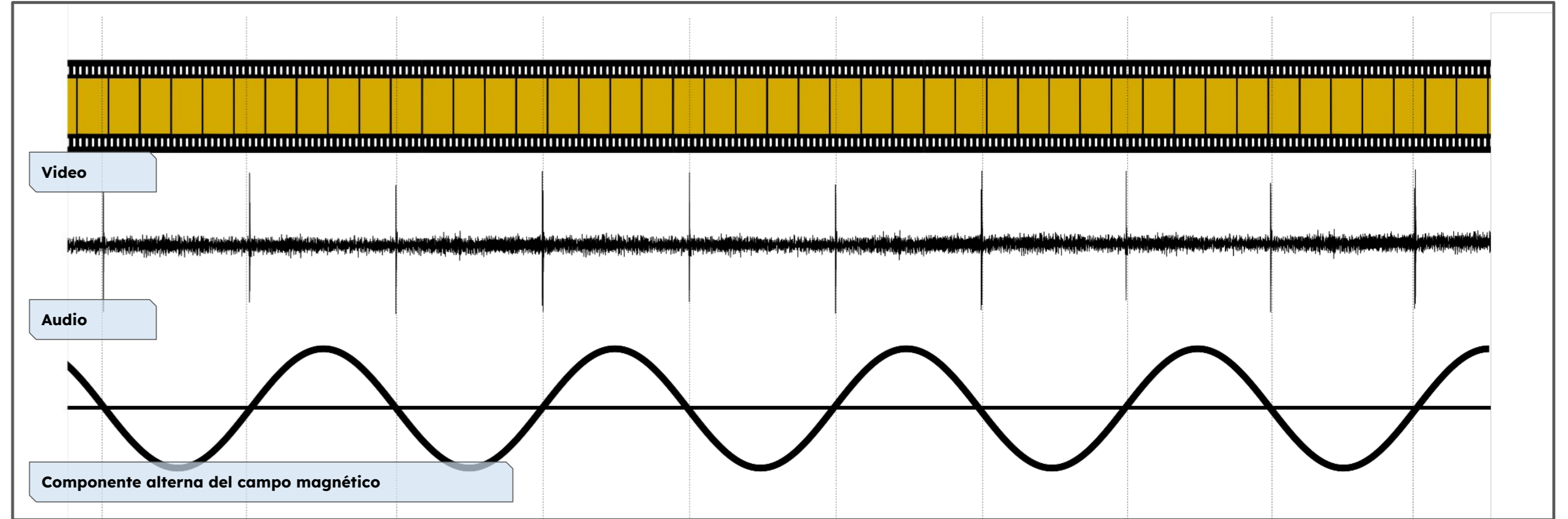
$$H = H_0 \sin(2\pi f t + \varphi)$$

La sincronización se alcanza al determinar el valor de la fase φ . La fase tiene una incerteza de determinación dada por la propia frecuencia de muestreo y el tipo de experimento. En el caso de la sincronización por señal sonora $\Delta\varphi/2\pi = f/f_m$, donde f_m es la frecuencia de muestreo del audio, en nuestro caso 24000 Hz. Mientras que en el caso de la sincronización por señal luminosa $\Delta\varphi/2\pi = f/f_{ps}$.



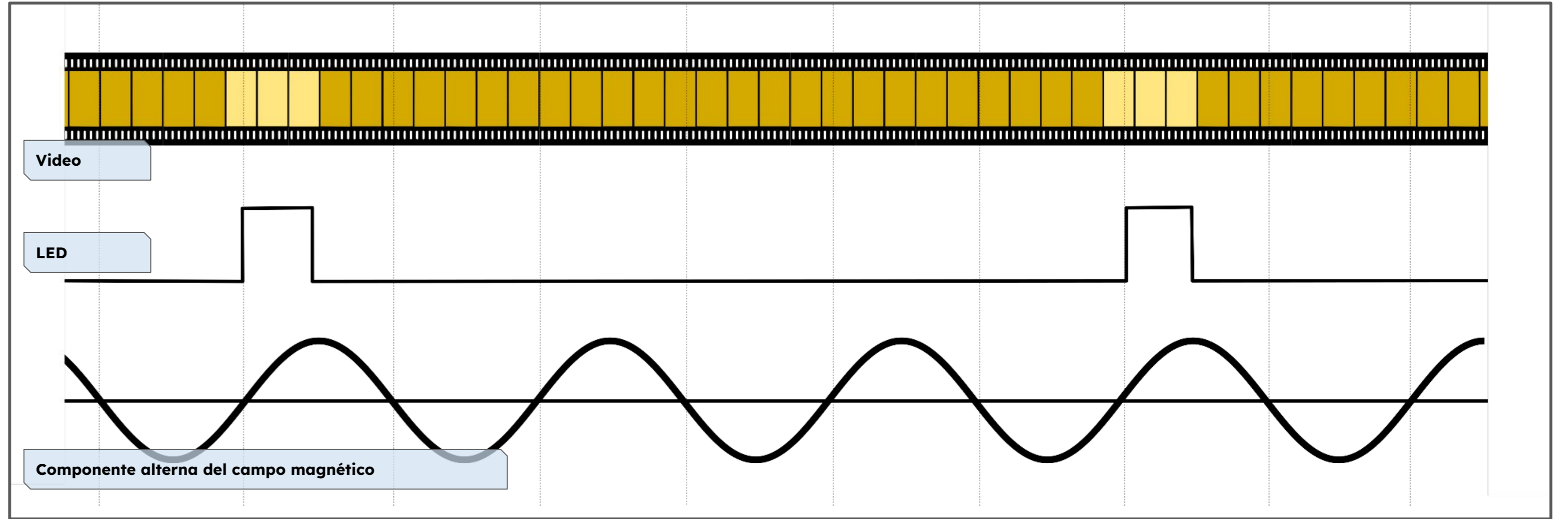
6 - - - Sincronización utilizando señal de audio

Se utiliza el canal de audio de una cámara y se envía una señal de sincronización a un parlante de baja impedancia cercano al micrófono de la cámara. Al mismo tiempo, se genera una onda cuadrada sincronizada con la señal de campo magnético. Cada vez que la tensión cambia de valor en el campo magnético, se produce un pulso de sonido en el parlante de la cámara. Estos pulsos ocurren al doble de la frecuencia de la onda de referencia y pueden ser detectados por el micrófono de la cámara. De esta forma, se pueden utilizar los pulsos de audio para determinar la fase del campo magnético en relación al eje temporal de adquisición del video.



7 - - - Sincronización utilizando señal luminosa

La técnica de sincronización mediante señal luminosa consiste en utilizar un LED que se alimenta con una onda de tensión sincronizada con la componente alterna del campo magnético. Para evitar interferencias en el análisis posterior debido a los cambios de intensidad del fotograma, se emiten pulsos de luz cada cierto número determinado de periodos del campo alterno. Para asegurar la detección, los pulsos de emisión de luz se configuran para que duren más que un fotograma. Sin embargo, cabe destacar que el cruce por cero del campo magnético alterno solo corresponde al primer fotograma del conjunto de fotogramas afectados por el pulso de luz.



8 - - - Discusión

Las dos propuestas fueron suficientes para lograr una sincronización adecuada. Como ejemplo se muestra la aplicación del sincronizado por audio en el seguimiento de la orientación de una cadena frente a un campo constante, $H_c = 1.3 \text{ kA/m}$; y uno alterno y perpendicular de amplitud $H_A = 4.1 \text{ kA/m}$ y frecuencia 0.9 Hz. La frecuencia obtenida del ajuste de la señal de sincronización coincide exactamente con la configurada en el generador de funciones. Por otra parte la fase tiene una incerteza muy baja ($< 1/1000$) de acuerdo a lo esperado según la relación entre las frecuencias de muestreo y excitación. Para la sincronización por señal luminosa se muestra el caso de una cadena ante un campo constante $H_c = 2.9 \text{ kA/m}$ y un campo alterno perpendicular de amplitud $H_A = 1.7 \text{ kA/m}$ y frecuencia 0.8 Hz. En este caso se observa cómo se separaron los pulso de sincronización para evitar que interfirieran con el análisis de las imágenes. La frecuencia obtenida es coherente y la fase que permite sincronizar es aceptable, pero con mayor incertidumbre como se esperaba por reducirse la frecuencia de muestreo.

9 - - - Conclusiones

Fue posible realizar estudios de respuesta hasta 3 Hz a partir de registros de video habiendo sincronizado el tiempo de la cámara y de la señal alterna de referencia del campo excitador. Se comprobó que el canal de audio disponible en algunas cámaras es un método eficiente para lograr la sincronización. Ante la ausencia de ese canal se puede usar una señal luminosa.

10 - - - Bibliografía y referencias

-- Ali, Arbab, Tufail Shah, Rehmat Ullah, Pingfan Zhou, Manlin Guo, Muhammad Ovais, Zhiqiang Tan, and Yu Kui Rui. 2021. "Review on Recent Progress in Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Diverse Applications." *Frontiers in Chemistry* 9 (July): 1-25.
-- Naud, Cécile, Caroline Thébault, Marie Carrière, Yanxia Hou, Robert Morel, François Berger, Bernard Diény, and Hélène Joisten. 2020. "Cancer Particles, a Review." *Nanoscale Advances* 2 (9): 3632-55. Treatment by Magneto-Mechanical Effect of
-- Capriotti Natali, Leslie C. Amorós Morales, C. Rodríguez Torres, "Silica-coated magnetic particles for efficient RNA extraction for SARS-CoV-2 detection", enviado a Heliyon.
-- Simon, Gyula, Gergely Vakulya, and Márk Rátósi. 2022. "The Way to Modern Shutter Speed Measurement Methods: A Historical Overview." *Sensors* 22 (5).