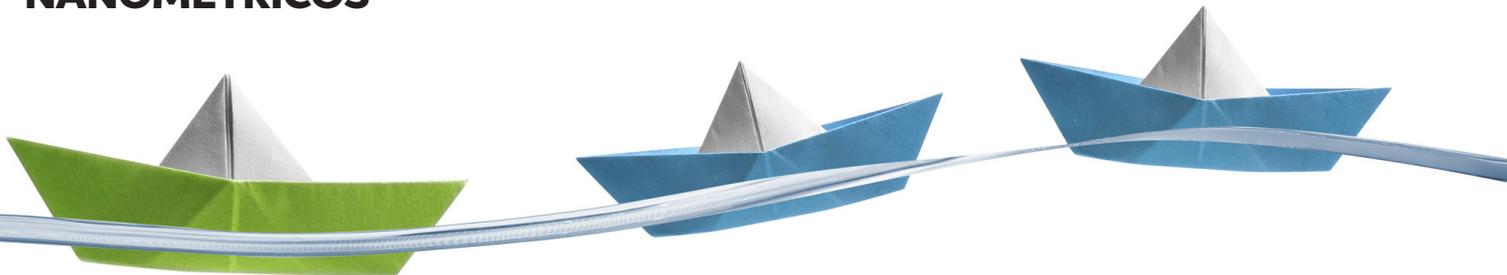


DETECTANDO FRECUENCIAS DE MICROONDAS EN DISPOSITIVOS MAGNÉTICOS NANOMÉTRICOS

Efecto de la anisotropía perpendicular uniformemente distribuida en el espectro de resonancia ferromagnética de nanoanillos ferromagnéticos.



• Alejandro Riveros • Juan Luis Palma

Doctores en Ciencias con Mención en Física.

Los dispositivos magnéticos interactúan con señales magnéticas de corta duración (pulsos magnéticos) generando oscilaciones de la información magnética del dispositivo en torno a la dirección del pulso, similar a cómo oscilaría un trompo en torno a su eje de giro. Interesantemente, se puede conocer la frecuencia de las oscilaciones controlando la forma como se distribuye la información magnética en el dispositivo, generando aparatos magnéticos específicos que respondan a ciertas frecuencias de señales magnéticas lo que podría ser utilizado para radares; absorción de señales de microondas; o aplicaciones de base tecnológica en comunicaciones.

Una onda que viaja en el espacio, es utilizada actualmente para comunicaciones. Así, las antenas que transmitieron ondas de radio en la década pasada (ondas que miden decenas de metros), fueron fundamentales para las comunicaciones. Las ondas se clasifican por su tamaño de longitud de onda, o bien, por su frecuencia. Mientras más energía tiene la onda, mayor es la frecuencia y es más estable para aplicaciones. Por esto, las microondas (de 300 MHz a 300 GHz) representan un buen candidato para aplicaciones tecnológicas. En nuestros tiempos, la comunicación satelital toma cada vez más relevancia, incluso, con el proyecto Starlink levantado por Elon Musk, que busca poner en órbita los satélites a una altura mucho más baja, para alcanzar mejores señales y tiempos de respuesta. Es en este contexto, que es necesario estudiar la respuesta dinámica de los sistemas que pueden responder a estos pulsos de ondas electromagnéticas.

Precisamente, en este artículo, queremos entender cómo es la respuesta magnética del material frente a perturbaciones de ondas externas (con frecuencia en la banda X, justo bajo los 10 GHz), y queremos enfocarnos en analizar la respuesta de la información magnética frente a una onda de corta duración, lo que se conoce como pulso magnético. Este estudio fue realizado en la referencia E. Saavedra et al [1], en colaboración con el Dr. Eduardo Saavedra de la Universidad de Santiago y con los Doctores Alejandro Riveros y Juan Luis Palma de la Universidad Central, trabajo publicado recientemente en una prestigiosa revista multidisciplinaria de libre acceso, Nature: Scientific Reports. A continuación, mostraremos los principales resultados del trabajo tratando de no entrar en los detalles técnicos. Si el lector está interesado en conocer mayores detalles del trabajo puede ver, sin necesidad de pagar o suscribirse, la Ref. [1].

En dicho trabajo se estudió en detalle el efecto de un pulso sobre un material magnético a escala nanométrica. Se consideró un pulso magnético de corta duración, para perturbar la información del material, pero aplicando un pulso no muy grande (en intensidad), para no “dañar” la información magnética, ya que un campo magnético muy intenso puede destruir la información en

los dispositivos. Por ejemplo, si acercamos nuestra tarjeta bip o tarjetas bancarias a un campo magnético muy intenso se destruirá la información codificada en la banda de nuestras tarjetas y por lo tanto quedarían inutilizables.

Ahora bien, cuando se aplica un pulso a un material magnético, la información del material “siente” el pulso y empieza a oscilar en torno a la dirección en el que fue aplicado el pulso, similar a como lo hace un trompo al oscilar en torno del eje de giro (antes de detenerse). Interesantemente, la oscilación de la información magnética no es igual en todos los puntos del material y oscila a diferentes frecuencias dependiendo de cómo se distribuye la información magnética en el material.

Así, dependiendo de cómo se distribuye la información a lo largo del material y también dependiendo de la forma, diferentes lugares oscilan con mayor intensidad respecto a otras zonas del material magnético y además, oscilando a diferentes frecuencias (dando giros más rápidos o más lentos). Esto es análogo a pensar en cómo oscilarían unos barquitos de papel distribuidos de diferentes formas en un estanque de agua, luego de que se perturbe el agua (por ejemplo, luego de soltar una piedra en el estanque, observamos un patrón circular, que es análogo a una perturbación radial). En esta analogía, los barquitos de papel juegan el rol de la información magnética del material y las oscilaciones generadas por cada barquito debido a las piedras en contacto con el agua, juegan el rol de las oscilaciones de la información magnética generadas debido al pulso (ver Figura 1).

De esta forma se podría tener control de las frecuencias de las oscilaciones de la información magnética frente a pulsos magnéticos, controlando la forma, en cómo se distribuye la información en el material. O dicho de otra manera, si tenemos un dispositivo magnético estable podremos saber a qué frecuencia oscilaría la información magnética del dispositivo ante perturbaciones externas, como por ejemplo pulsos magnéticos. Este control es importante en tecnología en particular en medios de detección como por ejemplo radares. En efecto, si el radar genera un pulso

en la misma frecuencia en la cual la información magnética oscilará, será detectado por el radar. En cambio, si el radar envía un pulso a una frecuencia distinta de la oscilación de la información magnética, el radar no podrá detectar el dispositivo magnético. Una de las formas para conocer las frecuencias en la cual oscila la información magnética, es calculando la susceptibilidad magnética (también llamada afinidad magnética), en función de un espectro de frecuencia (luego de aplicar el pulso) para así detectar peaks de resonancia. En la Ref. [1] se obtuvo dicho espectro de frecuencia de resonancia en nanoimanes con forma de anillo, variando el grosor del anillo y controlando la información magnética en ella mediante anisotropías magnéticas. En la Figura 2, a la izquierda, se muestra el comportamiento de la susceptibilidad magnética en función del espectro de frecuencia para diferentes espesores del anillo el caso a) corresponde a un anillo grueso, b) un anillo más delgado y, c) un anillo muy delgado. Cada uno de los peak en los gráficos de la izquierda de la figura corresponden a las frecuencias en las cuales la información magnética oscila debido al pulso magnético aplicado. Se puede ver que las frecuencias de oscilaciones (cada peak) están en el rango de los GHz, que corresponde al rango de frecuencia en el cual operan los radares. Además, se puede ver que controlando por ejemplo el ancho del anillo cambian las ubicaciones de los peaks junto con el número de peaks en el espectro de frecuencia.

Más aún, no sólo es posible determinar a qué frecuencia oscilará la información magnética frente a un pulso, sino que también es posible determinar en qué zonas del dispositivo magnético se realizan estas oscilaciones. Esto, técnicamente, se puede realizar haciendo un seguimiento en el tiempo de todos los puntos del dispositivo magnético desde que actúa el pulso para cada uno de los peak de resonancia del espectro y de esta forma poder distinguir en qué zonas ocurren las mayores oscilaciones. Esto se muestra explícitamente en la Figura 2, a la derecha, mediante un mapa de colores sobre el anillo, de acuerdo con la escala de colores entre azul y rojo. En cada una de estas figuras las zonas rojas corresponden a los lugares del nanoimán (con forma de anillo) donde las oscilaciones son de mayor amplitud (máxima oscilación), al contrario en las zonas azules no hay oscilaciones de la información magnética del dispositivo. Podemos tratar de entender porque se generan estas zonas rojas de mayor oscilación respecto a las zonas azules sin oscilación a lo largo del nanoanillo volviendo a la analogía del movimiento de los barquitos de papel dispuestos en un estanque (luego de que se sueltan piedras en el estanque). Sabemos, por hechos cotidianos, que al arrojar una piedra a un estanque se genera una onda desde el punto de contacto de la piedra con el agua que se propaga a través del agua. Esta onda posee lugares con máximos (zonas de la superficie del agua que se elevan) y mínimos (zonas de la superficie que bajan) bien definidos a medida que se propaga por la superficie del

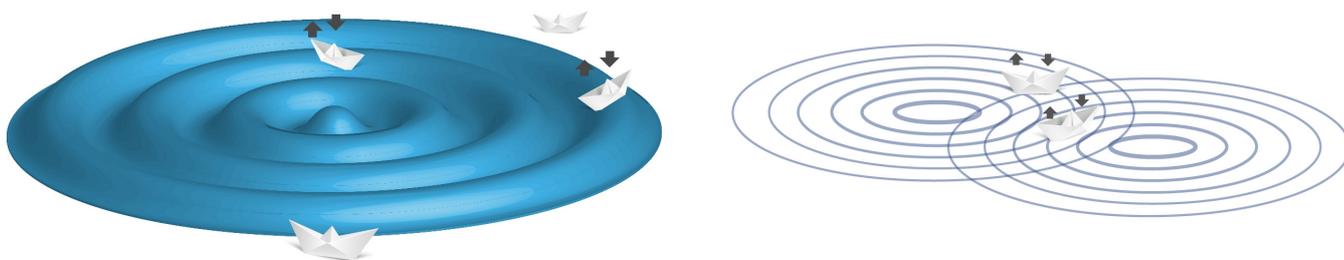


Figura 1

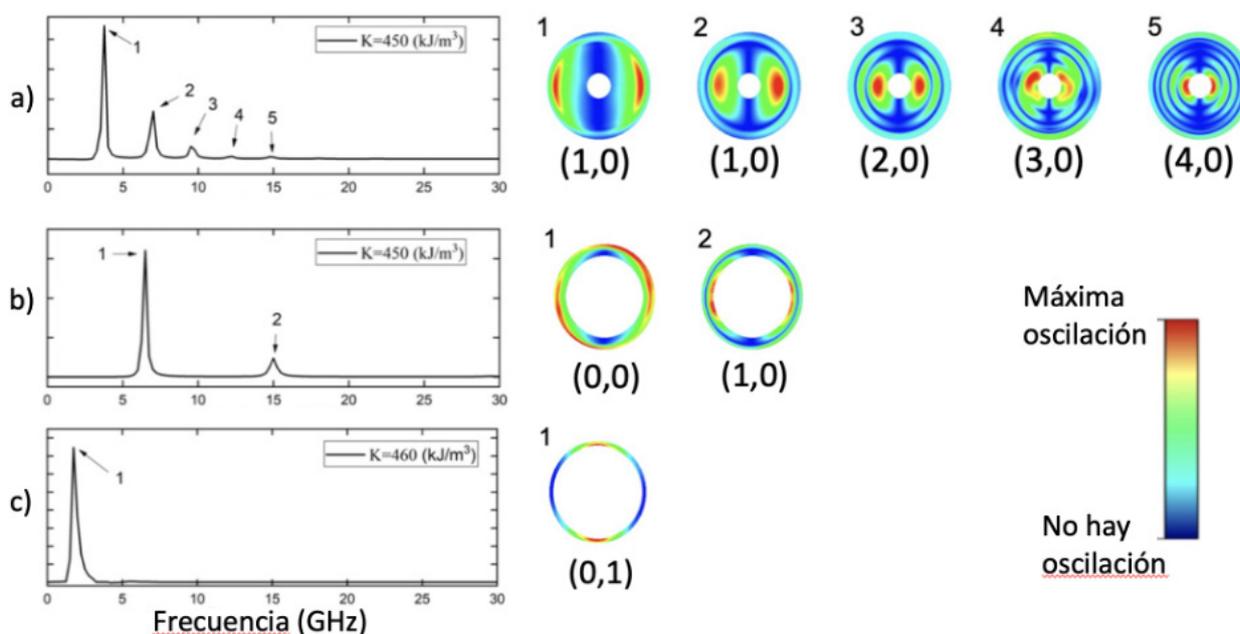


Figura 2

a) En la primera línea arriba, se observa a la izquierda un gráfico de intensidad de oscilaciones. Se puede observar, que los espines oscilan más fuertemente en la zona roja, a una frecuencia bajo los 5 GHz, es lo que llamamos el "peak 1", y su esquema visual se encuentra justo a la derecha del gráfico, lo que hemos llamado el modo (1,0), correspondiente a los modos (radial, diametral), lo que tiene que ver con una distribución de las oscilaciones. Así, si continuamos hacia la derecha encontramos más modos, de menor intensidad, y con diferentes distribuciones espaciales. b) Ahora, si bajamos a la segunda fila, nos encontramos con los cambios que produce en el espectro, el hecho de que adelgacemos el anillo. Donde a la derecha solo nos encontramos con dos modos de vibración. c) Y finalmente, si se adelgaza mucho el anillo, entonces nos encontramos con un único modo de vibración.

agua. De esta forma cuando un máximo de la onda llegue al lugar donde se encuentre un barquito, el barquito subirá levemente y cuando un mínimo de la onda llegue al barquito, el barquito de papel bajará levemente generando un vaivén de arriba-abajo del barquito a medida que la onda se propaga por la superficie del agua.

Más interesante aún es el efecto que se produce sobre los barquitos cuando hay más de una onda propagándose por el agua. Por ejemplo, pensemos esta vez en dos ondas generadas por la caída de dos piedras en diferentes puntos de la superficie del agua del estanque. En tal caso se generarán dos ondas que inician en diferentes puntos propagándose por el agua. Eventualmente, a medida que se propagan las ondas, podrían cruzarse una con la otra generando una interferencia de ondas. Cuando interfieren las ondas si un máximo de una onda se superpone a un máximo de la otra se generará una interferencia constructiva aumentando la elevación en ese punto de encuentro de la onda. En cambio si se superpone un máximo con un mínimo se generará una interferencia destructiva, atenuando la onda en ese punto de encuentro. Por lo tanto, si un barquito está ubicado en un punto donde existe interferencia constructiva de las ondas generadas en el agua aumentará su vaivén (oscilando con mayor amplitud) de arriba-abajo en cambio si un barquito está ubicado en un punto de interferencia destructiva disminuirá el vaivén del

barquito (Figura 1). De acuerdo con esta analogía las zonas rojas del nanoiman (mostradas a la derecha de la Figura 2) representan barquitos ubicados en puntos de interferencia constructiva mientras que las zonas azules representan barquitos ubicados en puntos de interferencia destructiva. Es interesante notar que las zonas rojas y azules de la figura dependen de la frecuencia de resonancia y del espesor del anillo.

Finalmente, como conclusión podemos mencionar que aplicando pulsos a dispositivos magnéticos la información será perturbada y oscilará en diferentes puntos del material y a diferentes frecuencias de oscilación en torno a la dirección del pulso. Además, como las frecuencias de las oscilaciones generadas en el dispositivo magnético pueden ser controladas manejando por ejemplo la forma del dispositivo magnético junto a otros parámetros magnéticos del material, se podría diseñar dispositivos magnéticos específicos y estables que oscilan a determinadas frecuencias y ser usados en aplicaciones tecnológicas como en radares y comunicaciones. En esta línea de investigación, en la Ref [1] se estudió en detalle el efecto del espesor de nanoanillos magnéticos y de anisotropías magnéticas del material sobre la información grabada en el dispositivo y sobre el espectro de frecuencia de resonancia ante pulsos magnéticos.

Referencias

[1] Saavedra, E. et.al., Scientific Reports, Vol. 11, 14230 (2021).



Universidad
Central



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Las principales tareas asignadas al Instituto son: promover y desarrollar investigación básica y aplicada relevante en los ámbitos disciplinarios de la FINARQ; estimular el desarrollo de investigación interdisciplinaria, generar redes académicas nacionales e internacionales que potencien la investigación y el postgrado, coordinar la creación de programas de postgrado acreditables de carácter disciplinar y/o interdisciplinar y articular la oferta de postgrados y postítulos en los ámbitos disciplinarios de la Facultad.



UNIVERSIDAD CENTRAL
ACREDITADA EN NIVEL AVANZADO
EN LAS ÁREAS DE GESTIÓN INSTITUCIONAL, DOCENCIA DE PREGRADO,
VINCULACIÓN CON EL MEDIO HASTA ENERO 2026



Ingresa aquí

