

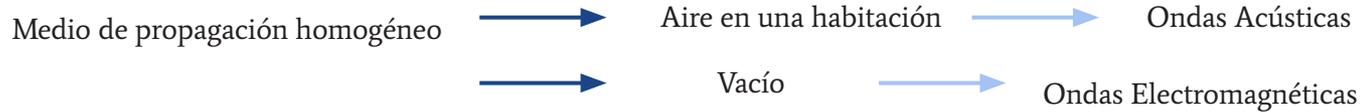
De la inestabilidad de Faraday al control espacio-temporal de ondas de gravedad mediante retorno temporal instantáneo

Felipe Rinderknecht

Grupo de Física No Lineal.
Instituto de Física, Facultad de Ciencias, UdelaR.

Julio de 2021

Reversibilidad de ondas: simetrías espaciales y temporales



La propagación de la onda es indiferente en cualquier dirección en el espacio.



Una onda puede propagarse indiferentemente en una dirección o, a la inversa, en la dirección opuesta

$$\Delta\phi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 0.$$

$\phi(x,y,z,t)$

$\phi_{Rx}(-x,y,z,t)$

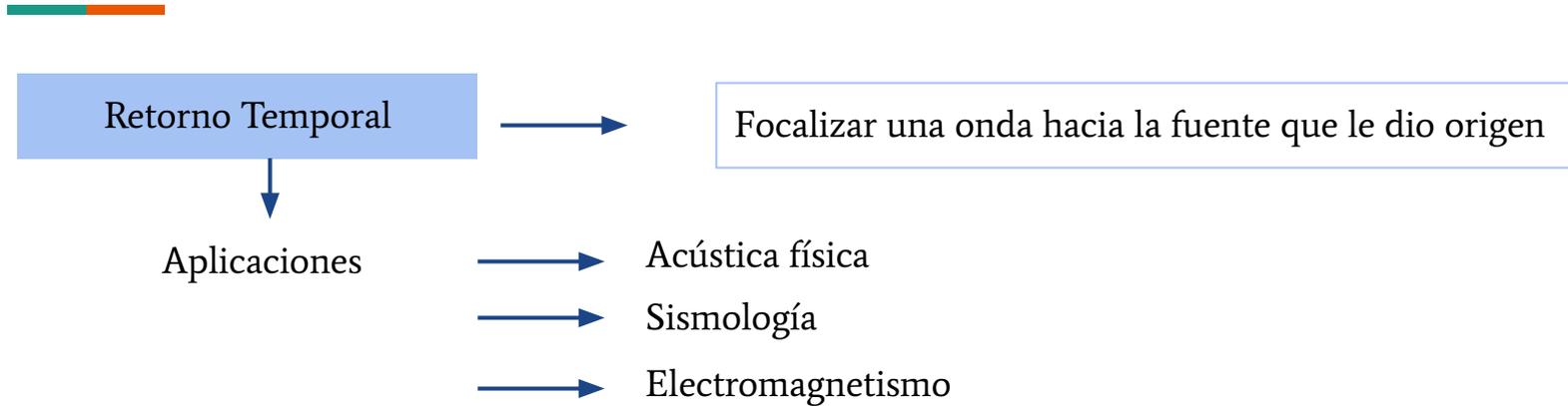
Son solución de la ecuación de onda.

$\phi(x,y,z,t)$

$\phi_{Rt}(x,y,z,-t)$

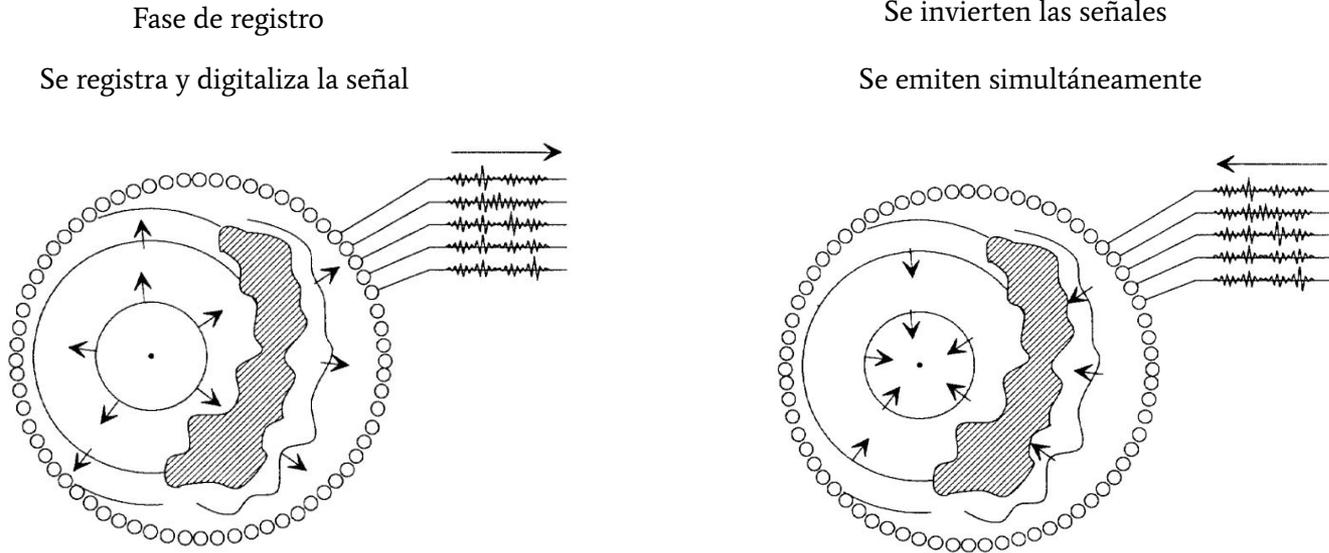
Esta simetría espacial se hace eco de una simetría temporal.

Retorno temporal [1-2]



El concepto de RT está basado en la invariancia de la ecuación de ondas en un medio, bajo la inversión temporal ($t \rightarrow -t$) y el principio de reciprocidad fuente-receptor. En otras palabras, si se tiene una onda divergente como solución a la ecuación de ondas, la misma expresión pero con el tiempo invertido, es decir una onda convergente, será también solución.

Retorno temporal de ondas acústicas



El campo en un el volumen se puede reconstruir mediante la información registrada en una superficie.

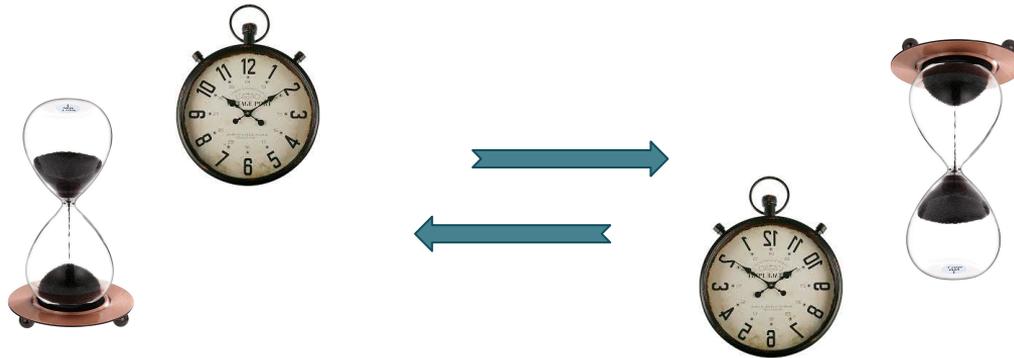
Retorno Temporal Instantáneo [3-4]

Nuevo enfoque para la inversión temporal

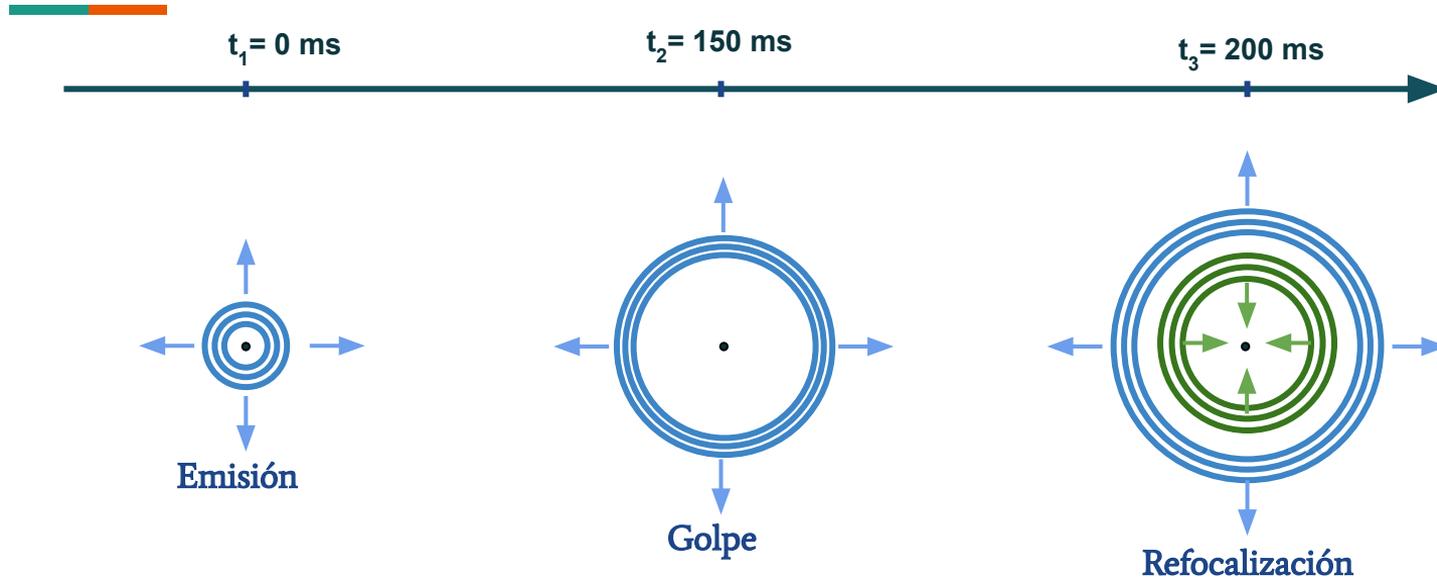
Modificar de forma repentina las propiedades del medio afectando la propagación de ondas.

Un nuevo tipo de proceso para lograr una inversión de tiempo.

Generar una onda devuelta en el tiempo por espejo de tiempo instantáneo (Instant Time Mirror)



Retorno Temporal Instantáneo

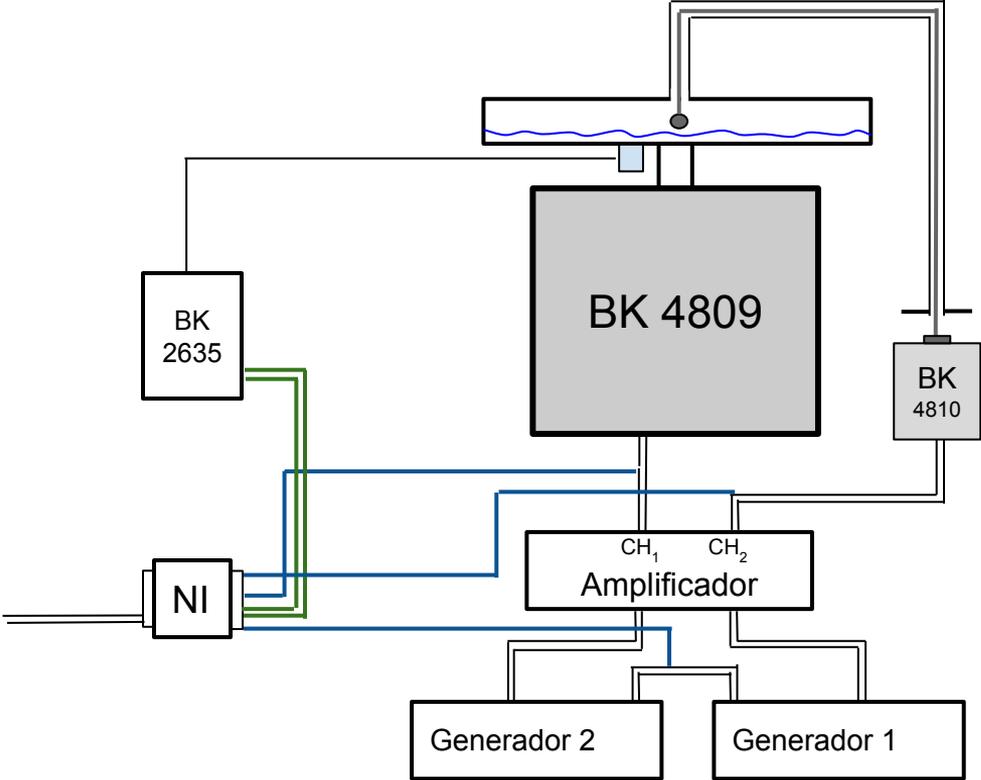


Modificación temporal de la velocidad directamente en todo el medio de propagación.

La inversión de tiempo se puede combinar con amplificación.

Tiempo del golpe debe ser muy corto en comparación con el tiempo característico de evolución de la onda.

Montaje experimental



Modulación de la velocidad de las ondas de superficie



Consideremos un sistema 2D que ofrece muchas ventajas experimentales: las ondas en la superficie de un baño líquido.

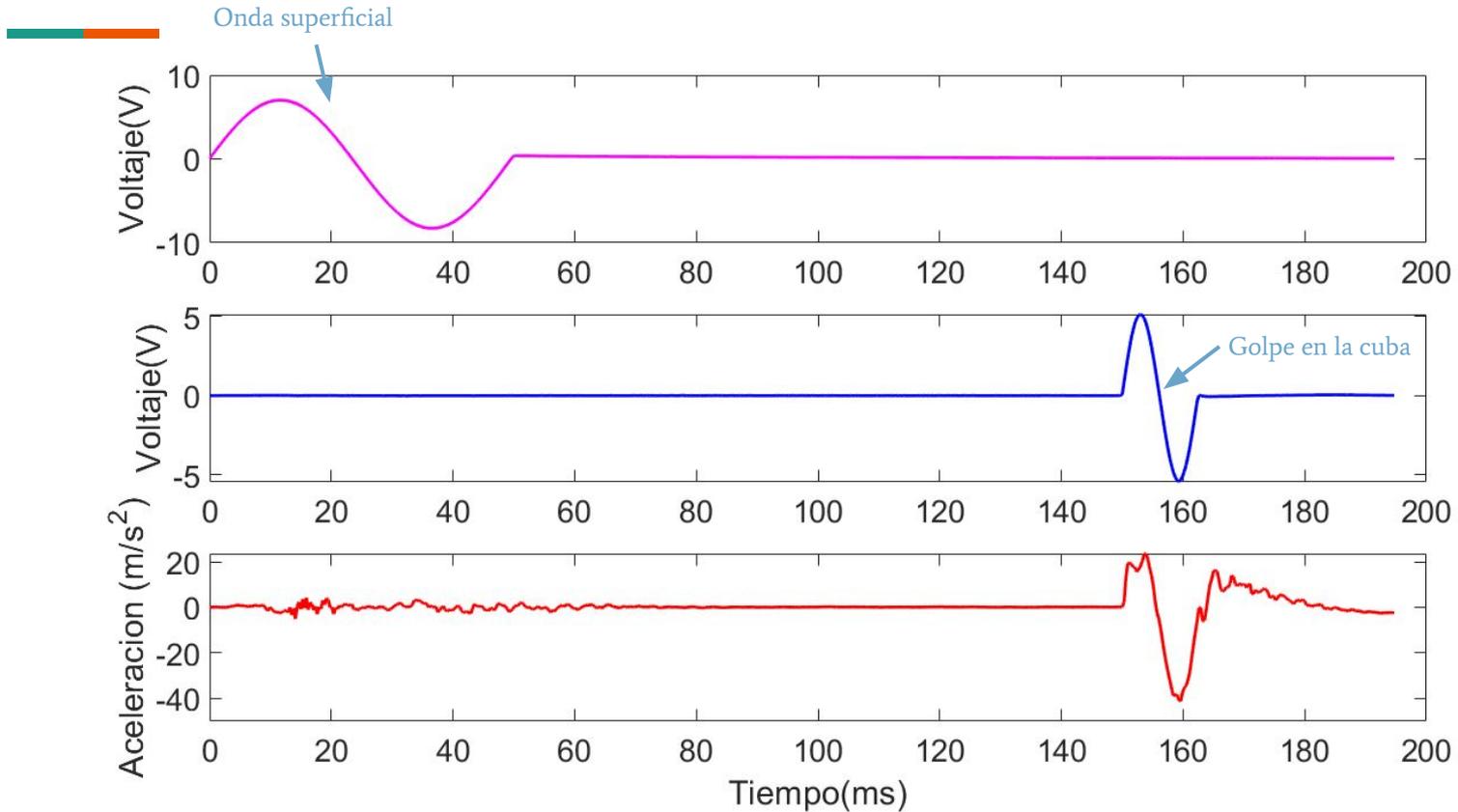
$$c = \sqrt{\frac{g}{k} + \frac{\gamma}{\rho}k},$$

Golpe en
la cuba



$$c(t) = \sqrt{\frac{g + a_{\text{bain}}(t)}{k} + \frac{\gamma}{\rho}k.}$$

Series temporales en el montaje

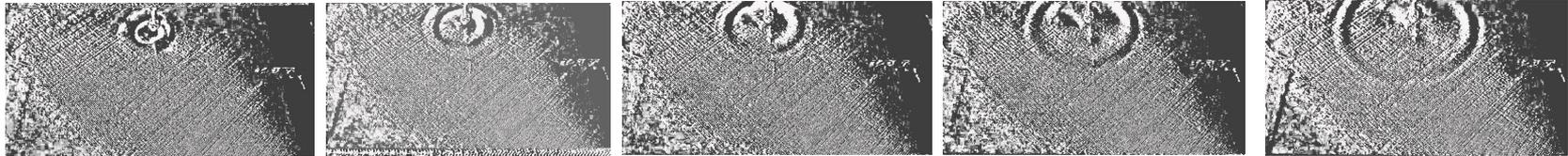


Primeras pruebas

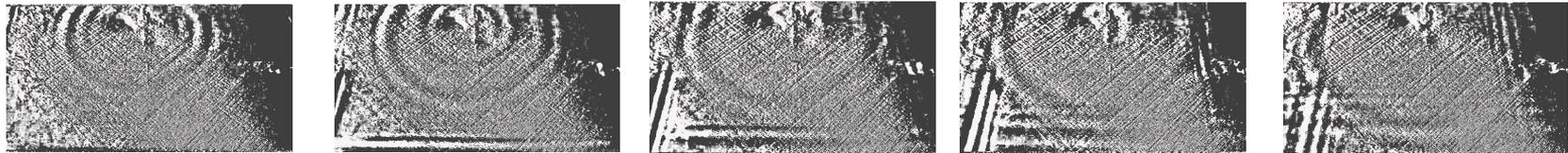


Imágenes video

t_1 Onda superficial

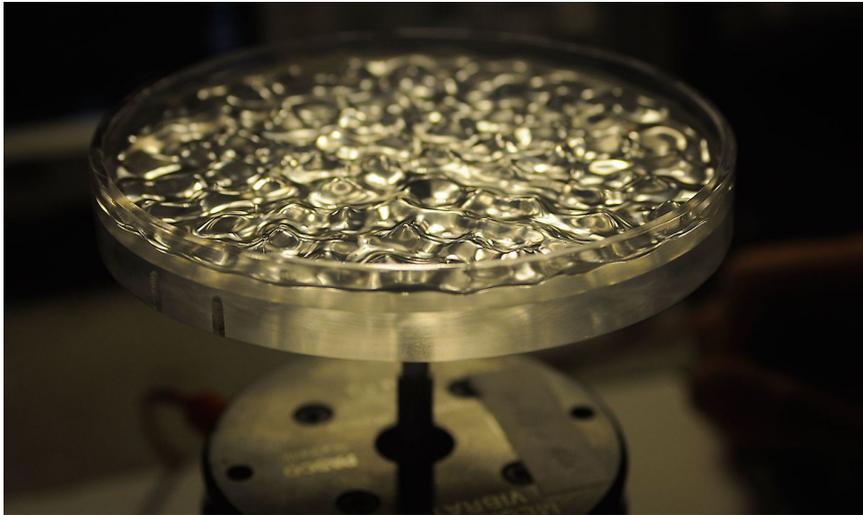


t_2 Golpe en la cuba



t_3 Refocalización

¿Cuál es el vínculo con la inestabilidad de Faraday? [5-6]



Inestabilidad de Faraday

- En 1831, Faraday descubrió que someter un baño a una aceleración vertical periódica resulta en la desestabilización de su superficie por encima de un umbral de aceleración.
- Esta inestabilidad paramétrica, conocida como la inestabilidad de Faraday, es impulsada por la modulación de la gravedad efectiva.
- Las ondas superficiales aparecen como ondas estacionarias, moduladas a la mitad de la frecuencia de excitación.

Hay un umbral a partir del cual comienza la inestabilidad

¿Dónde estamos? ¿Hacia dónde vamos?

- 
- 
- ¿Cómo varía el umbral para la IF en función de la profundidad, viscosidad y propiedades elásticas del fluido?
 - ¿Cómo se relaciona el umbral de Faraday con el umbral donde se observa el RTI en la onda de superficie?
 - ¿Qué sucede con el umbral donde observamos RTI con la profundidad, viscosidad y propiedades elásticas del fluido?
 - ¿Qué relación encontramos entre la amplitud de las ondas superficiales al producirse el RTI?
 - ¿Podemos lograr modificar la gravedad efectiva en los puntos del medio utilizando ultrasonido?
 - ¿Podemos lograr RTI en una parte de la onda superficial dejando el resto de la onda propagarse?

Comentarios finales



- La manipulación de la propagación de la onda desde los límites de tiempo; ofrece un nuevo enfoque para controlar y manipular la propagación de la onda.
- Las interrupciones de tiempo crean espejos de tiempo instantáneos que actúan simultáneamente en todo el espacio y sin el uso de emisores externos.
- Este enfoque se generaliza para crear un control dinámico de los límites espacio-temporales del medio.
- En esta perspectiva, se ofrecen varias posibilidades de control preciso y rápido de la onda espacio-temporal, por ejemplo, mediante el uso de ultrasonidos.

Referencias

- 
- [1] Cassereau, D., & Fink, M. (1992). Time reversal of ultrasonic fields—Part I: Basic principles. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, 39, 579.
- [2] Fink, M. (1992). Time-reversal of ultrasonic fields—part II: experimental results. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*, 39, 567-78.
- [3] Bacot, V., Durey, G., Eddi, A., Fink, M., & Fort, E. (2019). Phase-conjugate mirror for water waves driven by the Faraday instability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(18), 8809-8814.
- [4] Bacot, V., Labousse, M., Eddi, A., Fink, M., & Fort, E. (2016). Time reversal and holography with spacetime transformations. *Nature Physics*, 12(10), 972-977.
- [5] Faraday, M. (1831). XVII. On a peculiar class of acoustical figures; and on certain forms assumed by groups of particles upon vibrating elastic surfaces. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, (121), 299-340.
- [6] Strutt, J. W., & Rayleigh, J. W. S. B. (1877). *The theory of sound* (Vol. 1). Macmillan.



¡Muchas gracias!