



Estudio experimental de la transferencia de energía en turbulencia de ondas gravito-capilares

Ignacio Pablo Hernando

Tesis de Licenciatura en Ciencias Físicas

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Universidad de Buenos Aires

¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿ ¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿?

TEMA: Estudio experimental de la transferencia de energía en
turbulencia de ondas gravito-capilares

ALUMNO: Ignacio Pablo Hernando

L.U. N°: 6/21

LUGAR DE TRABAJO: Laboratorio de Turbulencia Geofísica
Instituto de Fisica Interdisciplinaria y Aplicada
INFINA UBA-CONICET
Departamento de Física, FCEN, UBA

DIRECTOR DEL TRABAJO: Dr. Pablo Cobelli

FECHA DE INICIACION: Marzo de 2025

FECHA DE FINALIZACION: ??????????????

FECHA DE EXAMEN: ??????????????

INFORME FINAL APROBADO POR:

Autor

Jurado

Director

Jurado

Codirector

Jurado

Profesor de Tesis de Licenciatura

Resumen

Agradecimientos

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	1
2. Sensor capacitivo	3
2.1. Principio de funcionamiento	3
2.1.1. La sonda	3
2.1.2. Medición de la capacitancia	5
2.1.3. Medición de la fase	5
2.2. Resolución numérica del circuito	5
2.3. Prueba de un circuito equivalente	6
2.4. Prototipado	6
2.5. Placa de adquisición y Lock-in digital	7
2.6. Prueba final y calibración	7
2.6.1. Montaje	7
2.6.2. Altura vs Altura	7
2.6.3. Diferencias	7
3. Estudio experimental de Turbulencia de Ondas	9
3.1. Montaje para Turbulencia de Ondas	9
4. Resultados	11
4.1. Series Temporales	11
4.2. Wave Steepness	12
4.3. Cascadas de energía	12
4.4. Interacción a 3 y 4 ondas	12
4.5. Intermitencia	12
5. Conclusiones	19

A. Puesta a prueba de la DAQ + Lock-in Digital	21
Bibliografía	23

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 2

SENSOR CAPACITIVO

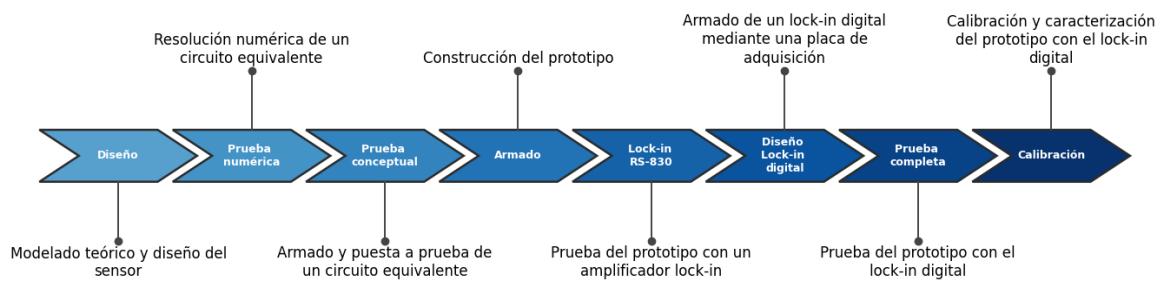


Figura 2.1: Diagrama esquemático de los pasos para la construcción y caracterización del sensor capacitivo para la altura de la superficie libre.

2.1. Principio de funcionamiento

2.1.1. La sonda

Al sumergir un alambre de cobre esmaltado en un fluido conductor, como se esquematiza en la Figura 2.2, el recubrimiento aislante actuará a modo de medio dieléctrico entre los conductores. En el caso de dos conductores cilíndricos coaxiales, de radios $r_1 < r_2$, cuyo intersticio se encuentra lleno de un medio con permitividad ϵ y permeabilidad μ , se tienen una capacitancia (C') e inductancia (L') por unidad de longitud, dadas por

$$C' = 2\pi\epsilon \ln^{-1}\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (2.1a)$$

$$L' = \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (2.1b)$$

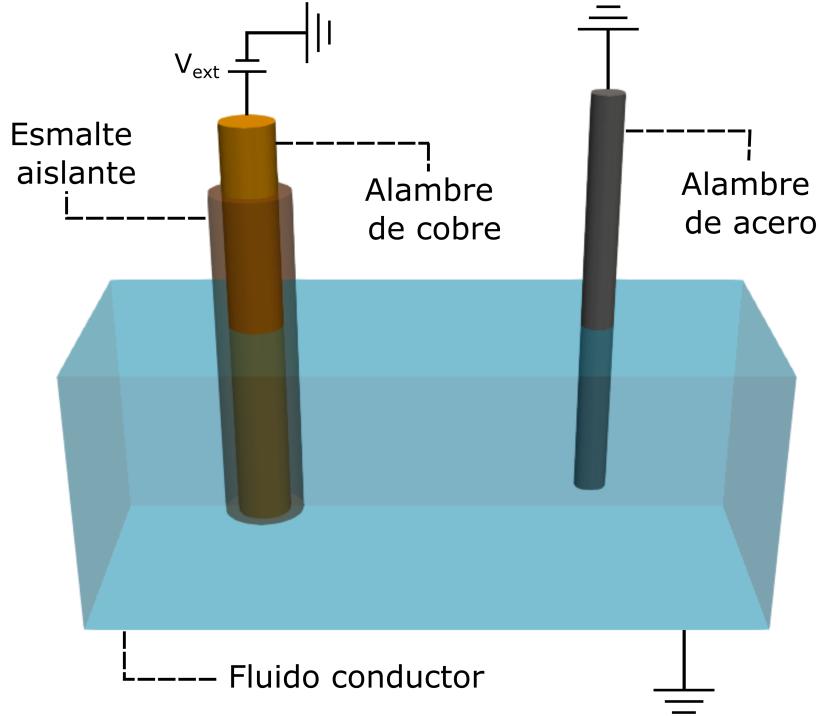


Figura 2.2: Esquema de un alambre esmaltado sumergido en un fluido conductor, puesto a Tierra mediante otro alambre sin aislar. El alambre de cobre se encuentra a conectado a un potencial externo V_{ext} . El recubrimiento aislante actuará como medio dieléctrico, comportándose el sistema efectivamente como un capacitor, cuya capacitancia depende de la altura sumergida.

La porción sumergida del alambre puede modelarse como una sucesión de segmentos de longitud dl , cada uno de los cuales agrega al circuito una capacitancia $dC = C'dl$ en paralelo y una inductancia $dL = L'dl$ en serie. De esta forma, es posible escribir la impedancia $Z(l + dl)$ recursivamente, a partir de la impedancia $Z(l)$ y la del segmento infinitesimal siguiente:

$$Z(l + dl) = j\omega L' dl + \left(\frac{1}{Z(l)} + \frac{1}{j\omega C' dl} \right)^{-1} \quad (2.2)$$

Con j la unidad imaginaria. Tomando $dl \rightarrow 0$ y reteniendo términos hasta primer orden, resulta en una ecuación diferencial para $Z(l)$

$$\frac{dZ}{dl} = j\omega L' - j\omega C' Z^2 \quad (2.3)$$

Ésta puede resolverse sumando la condición de contorno $Z(0) = \infty$, que refleja la ausencia de un camino capacitivo hacia el fluido si el alambre no está sumergido, pudiendo así considerar al circuito como abierto. El resultado es el siguiente

$$Z(l) = j \sqrt{\frac{L'}{C'}} \tan \left(\omega \sqrt{L'C'} l - \pi/2 \right) \quad (2.4)$$

En el caso particular en que l es lo suficientemente pequeño ($\omega \mu \epsilon l \ll 1$) resulta suficiente con tomar la expansión de esta solución a primer orden

$$Z(l) \approx \frac{1}{j\omega C' l} + \mathcal{O} \left(\frac{1}{L' C'^2 \omega^2 l^3} \right) \quad (2.5)$$

De este modo, se puede observar que en este régimen el sistema se comportará básicamente como un capacitor de capacitancia $C'l$, de modo que, midiendo la capacitancia de este circuito será posible inferir la altura sumergida del alambre y, por tanto, la altura de la superficie libre.

2.1.2. Medición de la capacitancia

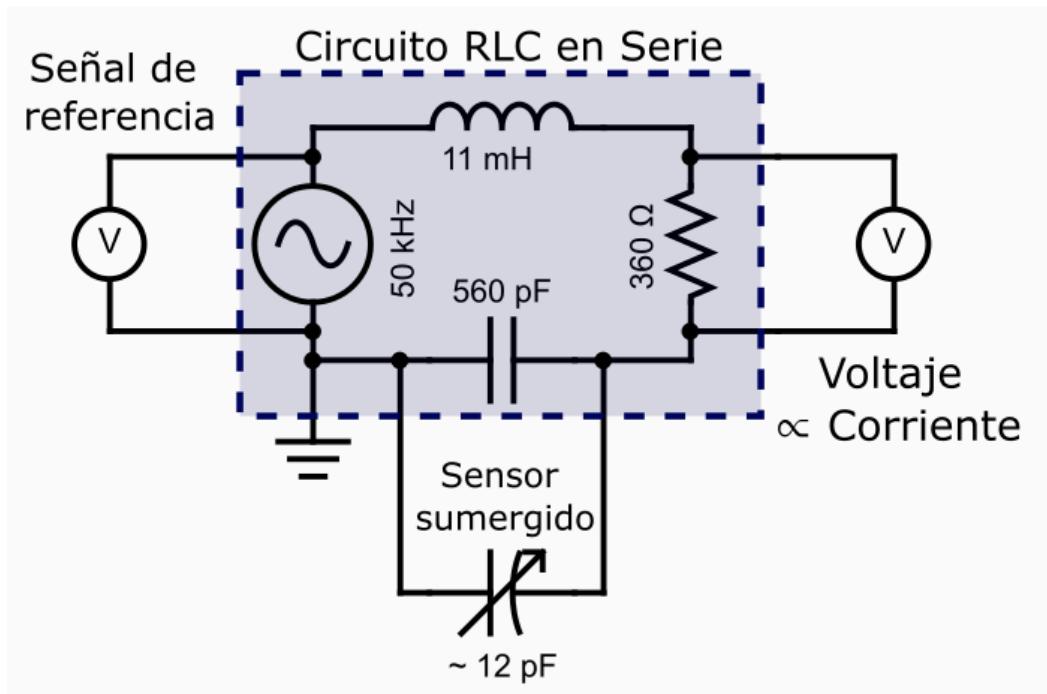


Figura 2.3

2.1.3. Medición de la fase

2.2. Resolución numérica del circuito

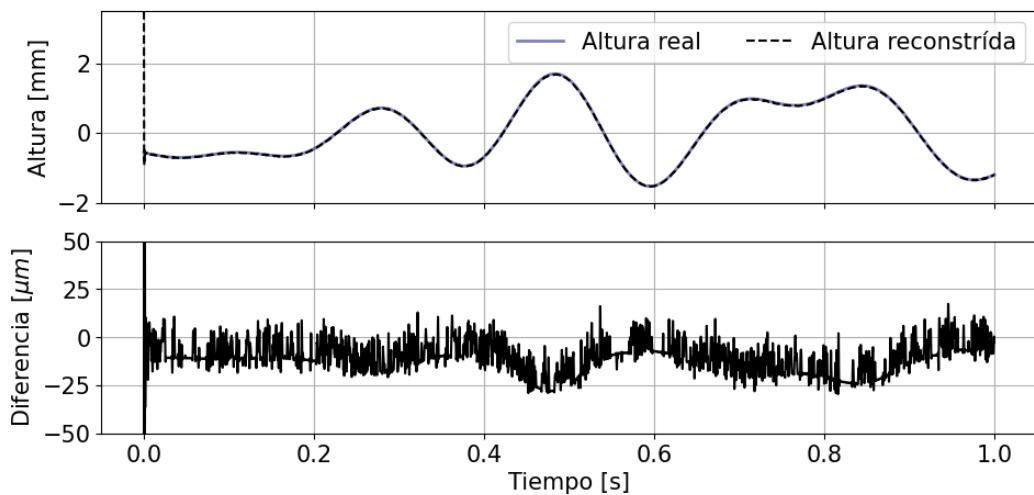


Figura 2.4

2.3. Prueba de un circuito equivalente

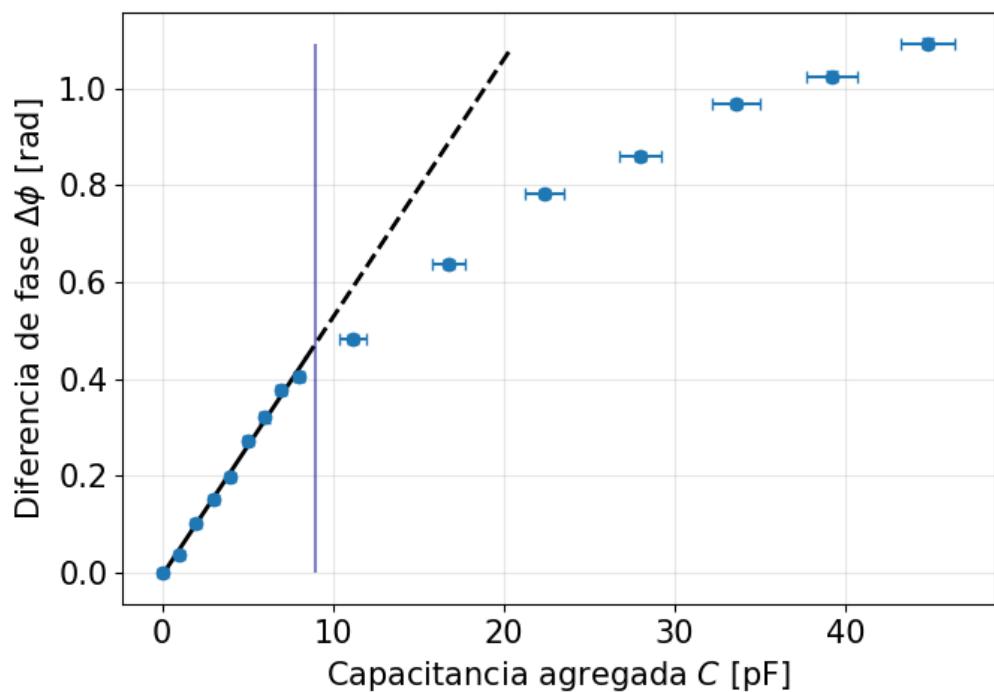


Figura 2.5

2.4. Prototipado

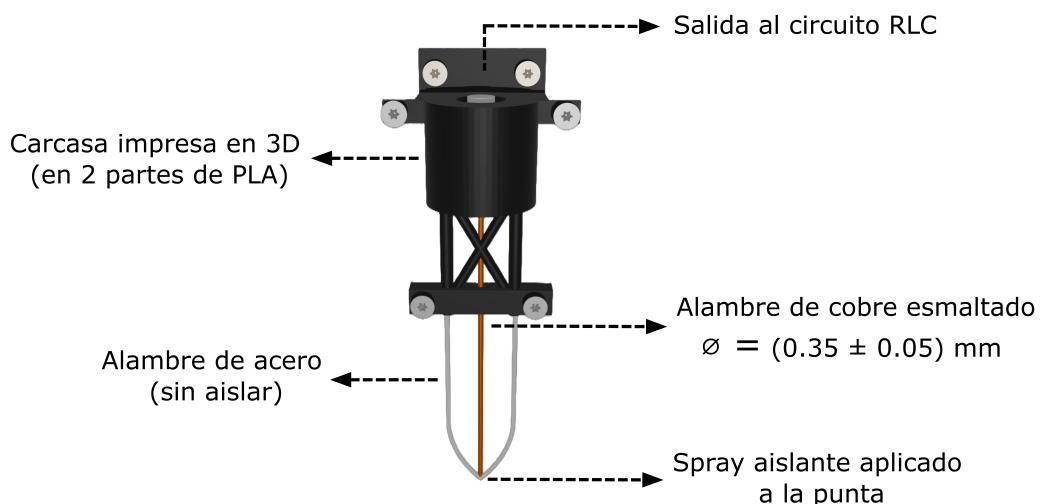


Figura 2.6

2.5. Placa de adquisición y Lock-in digital

2.6. Prueba final y calibración

2.6.1. Montaje



Figura 2.7

2.6.2. Altura vs Altura

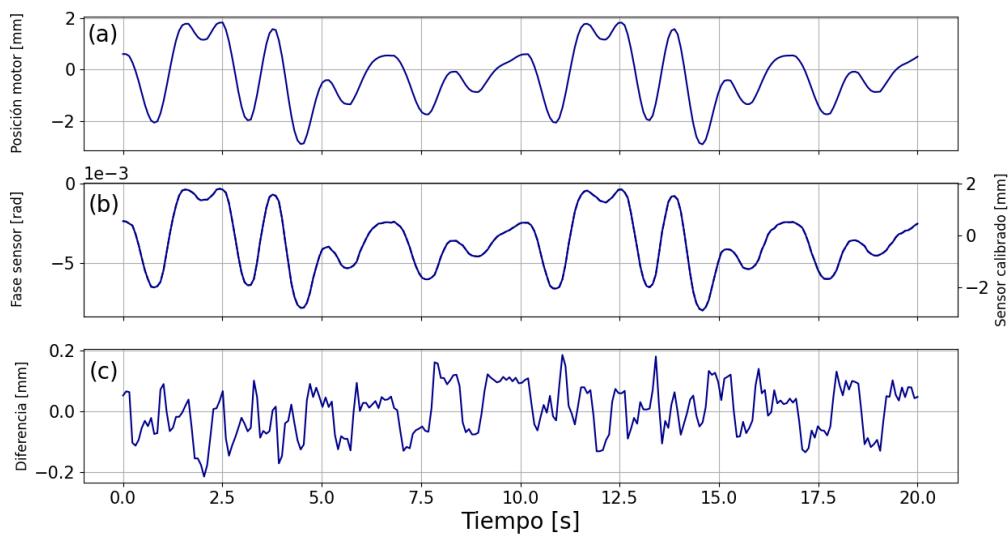


Figura 2.8

2.6.3. Diferencias

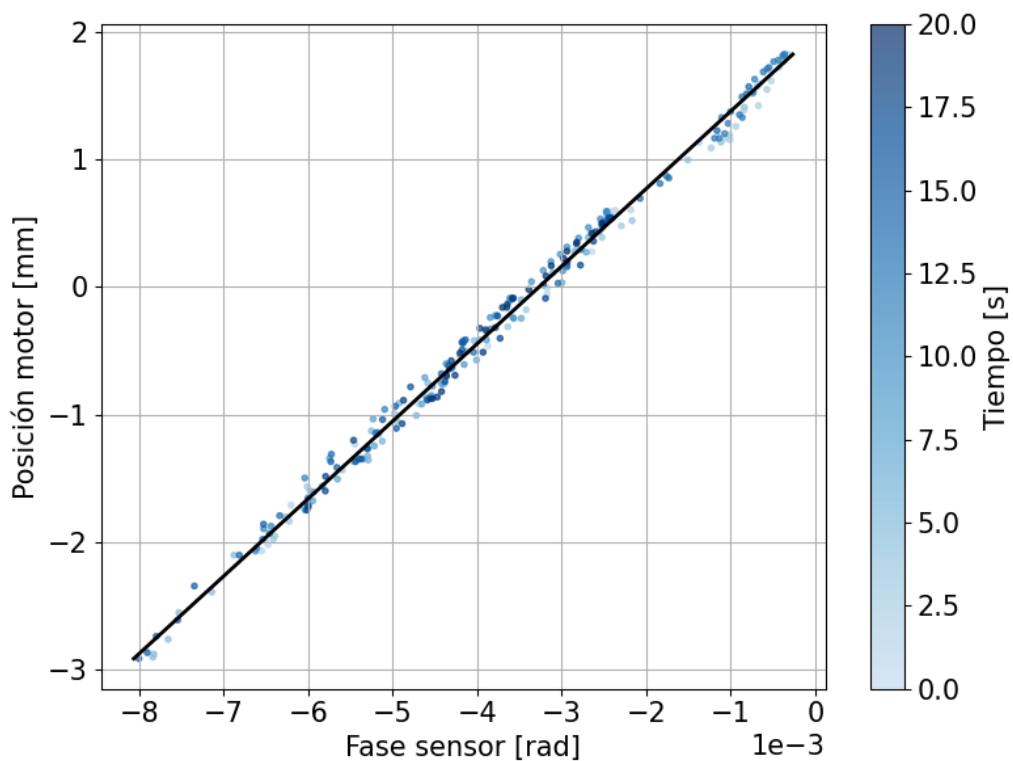


Figura 2.9

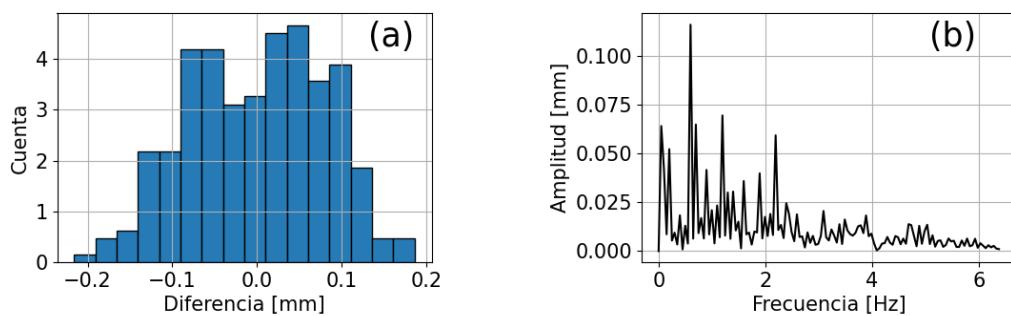


Figura 2.10

CAPÍTULO 3

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE TURBULENCIA DE ONDAS

3.1. Montaje para Turbulencia de Ondas

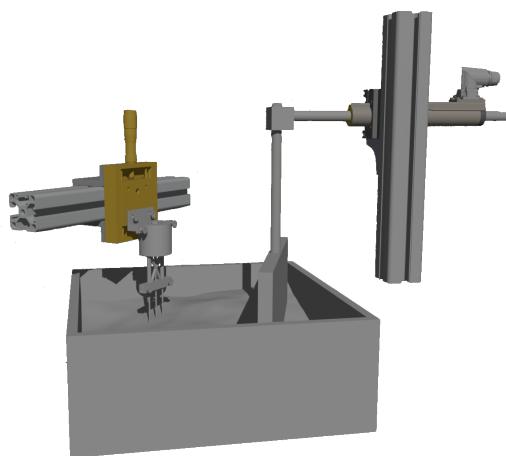


Figura 3.1

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1. Series Temporales

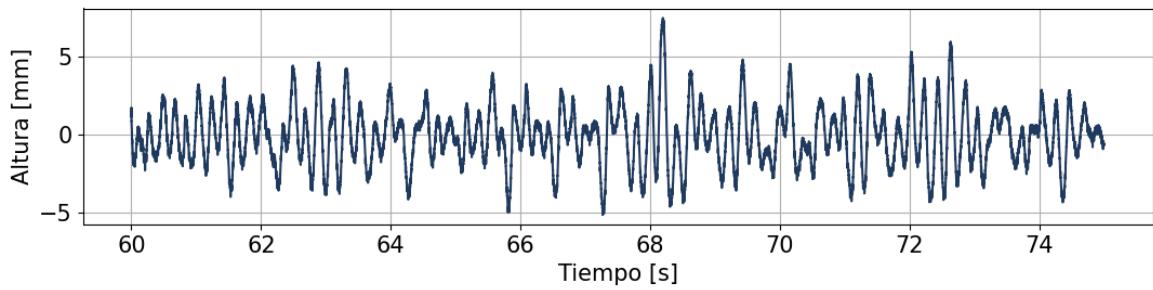


Figura 4.1

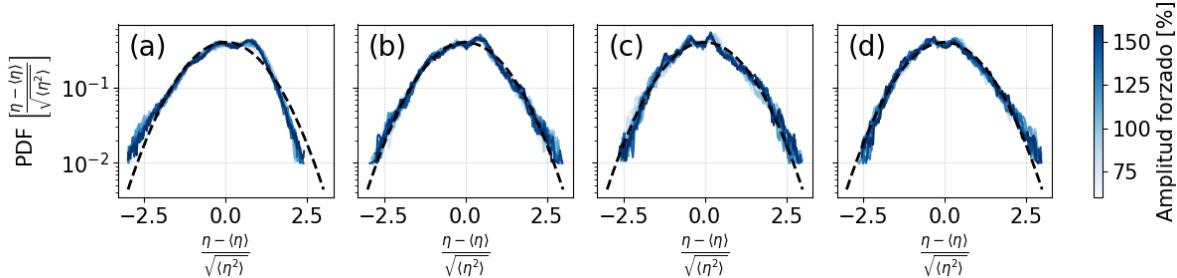


Figura 4.2

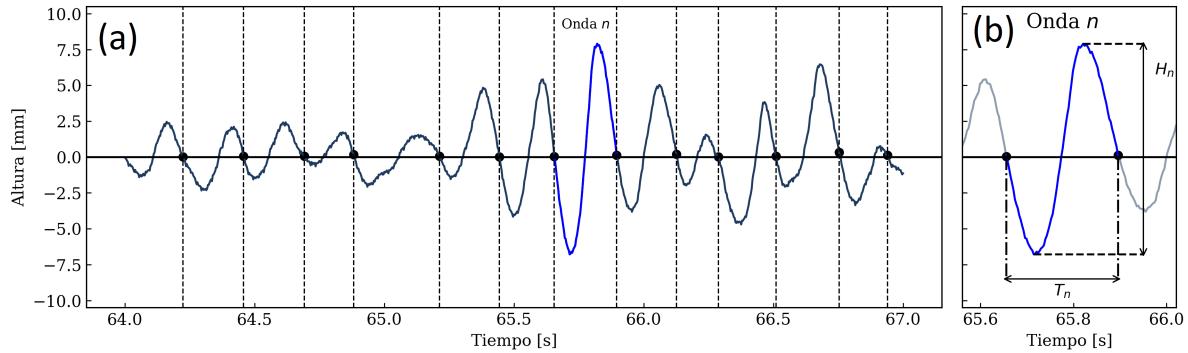


Figura 4.3

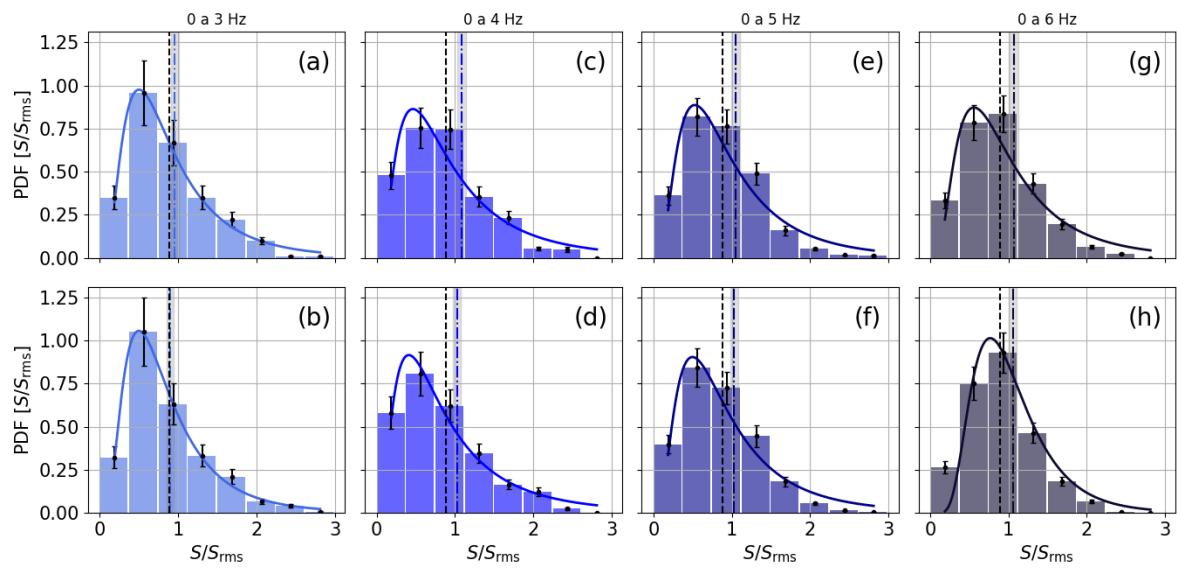


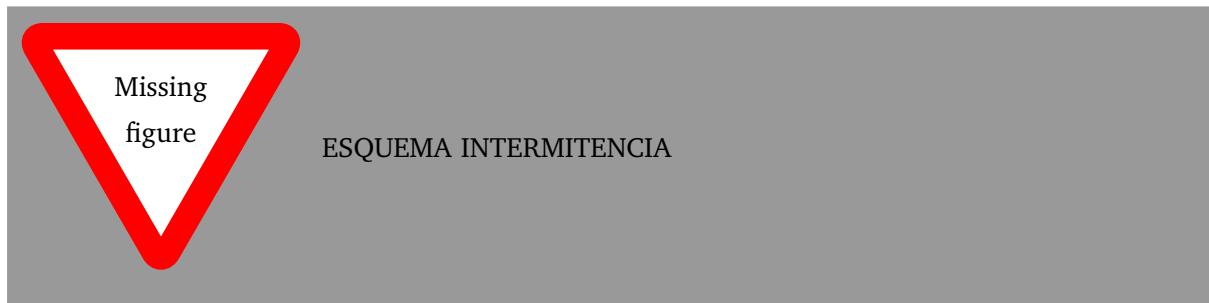
Figura 4.4

4.2. Wave Steepness

4.3. Cascadas de energía

4.4. Interacción a 3 y 4 ondas

4.5. Intermitencia



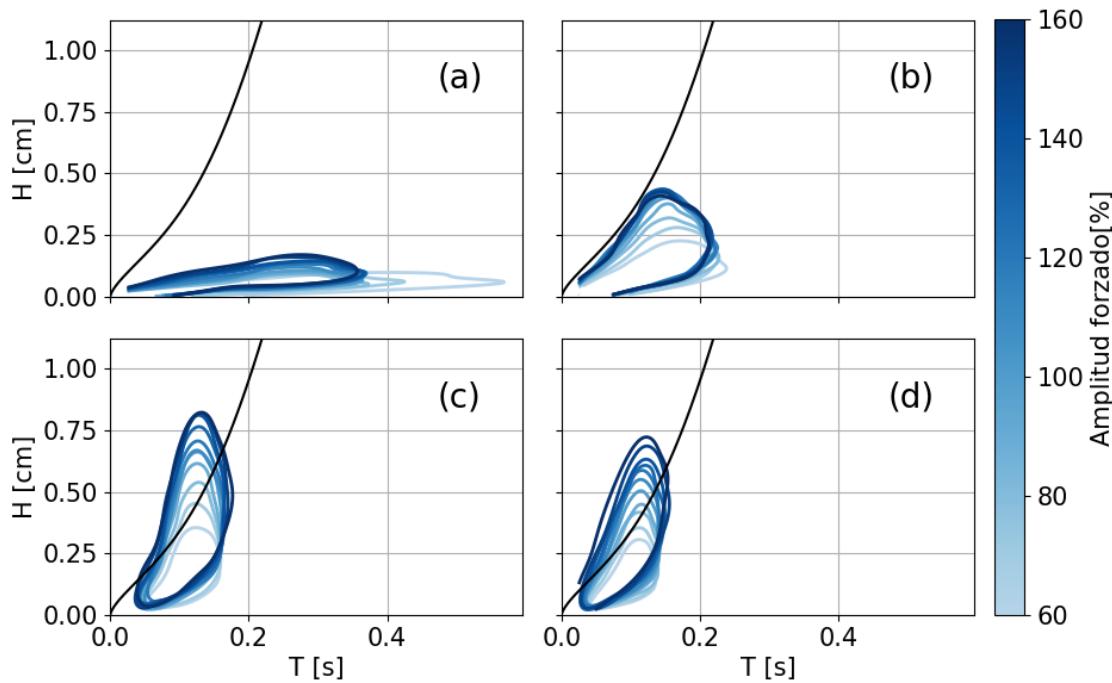


Figura 4.5

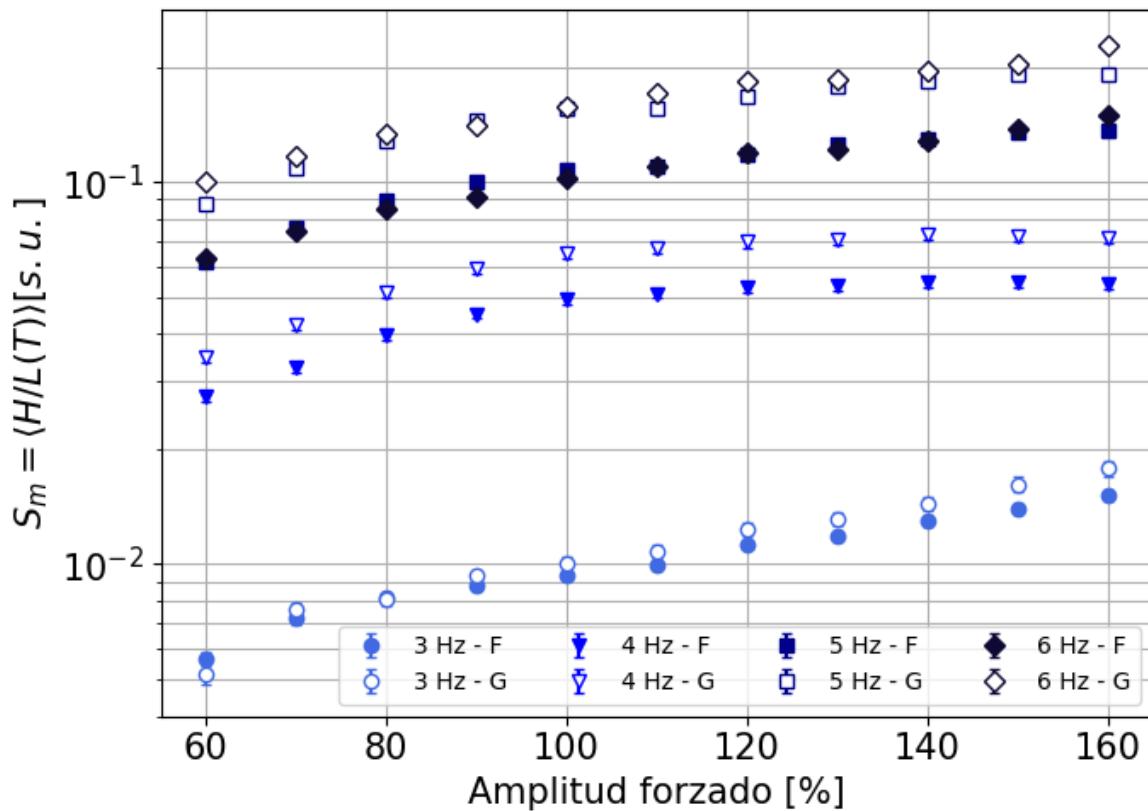


Figura 4.6

Missing
figure

CONVERGENCIA SP

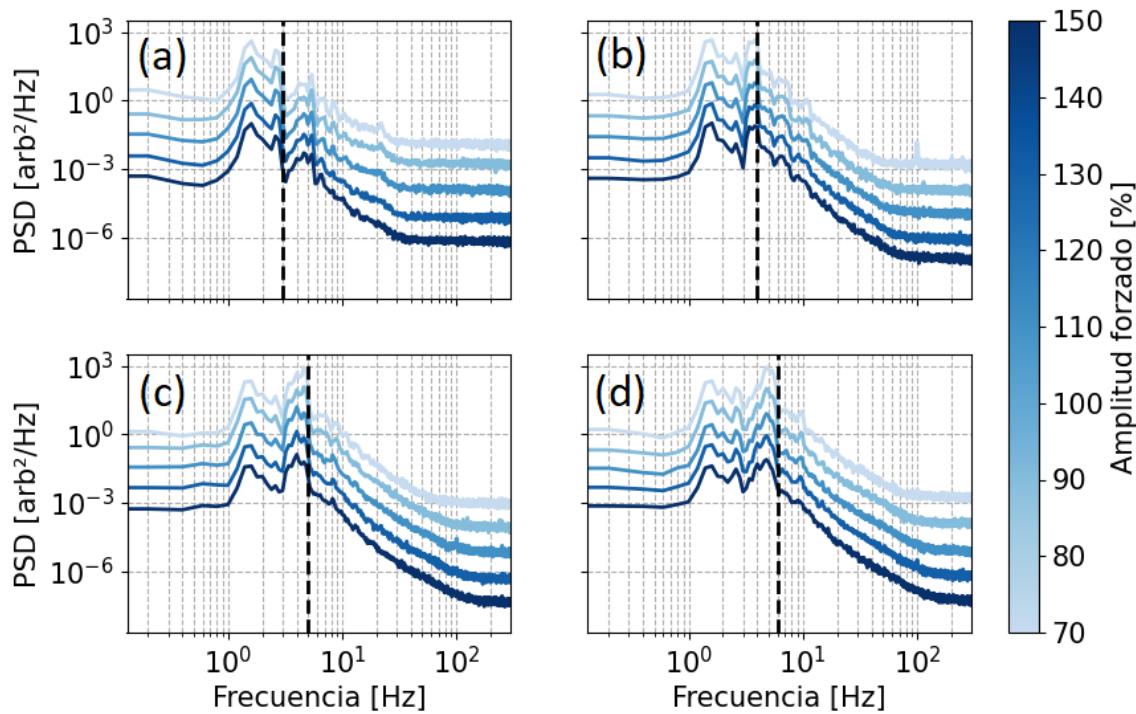


Figura 4.7

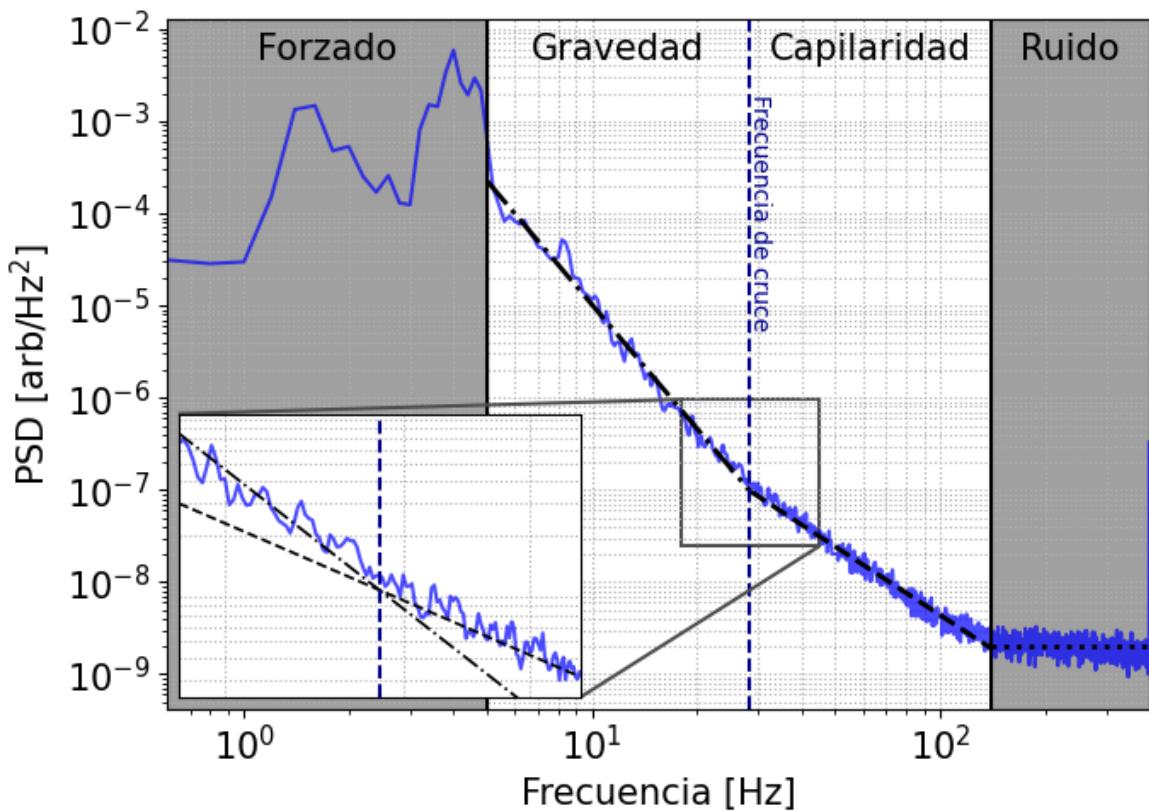


Figura 4.8

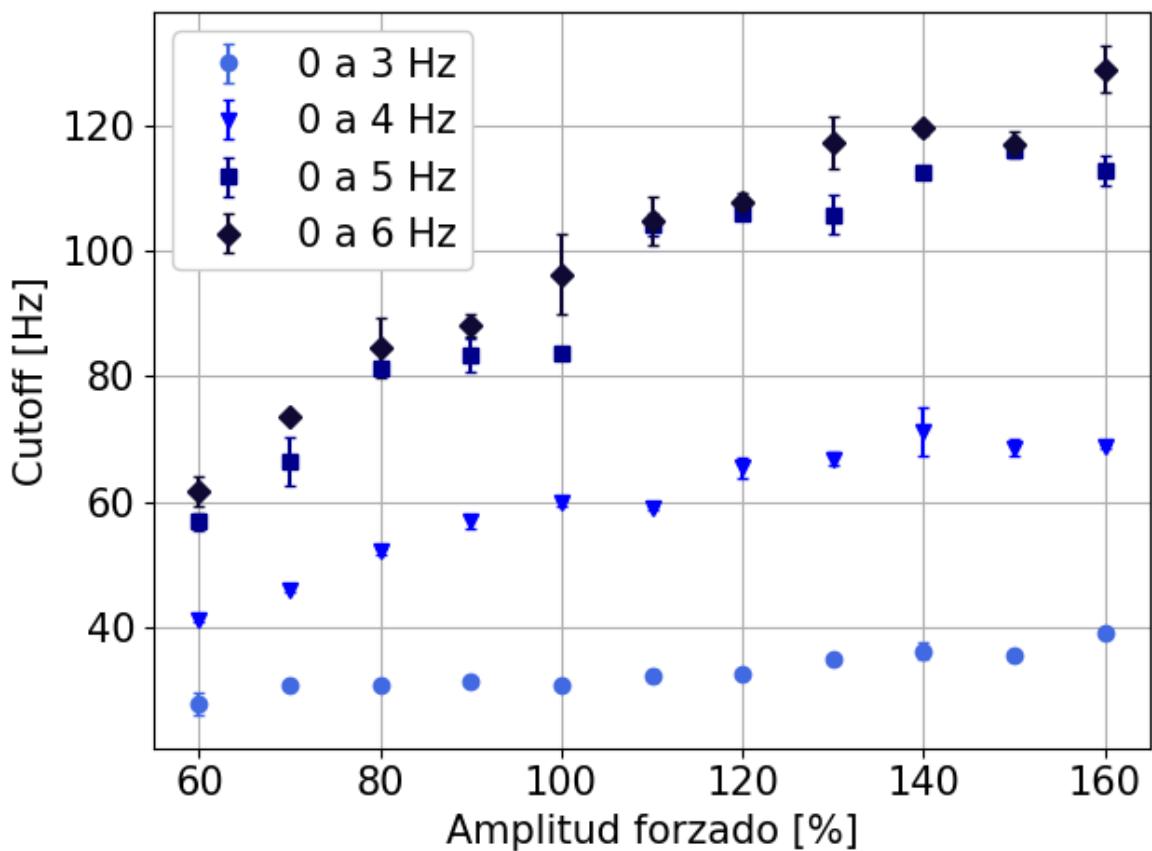


Figura 4.9

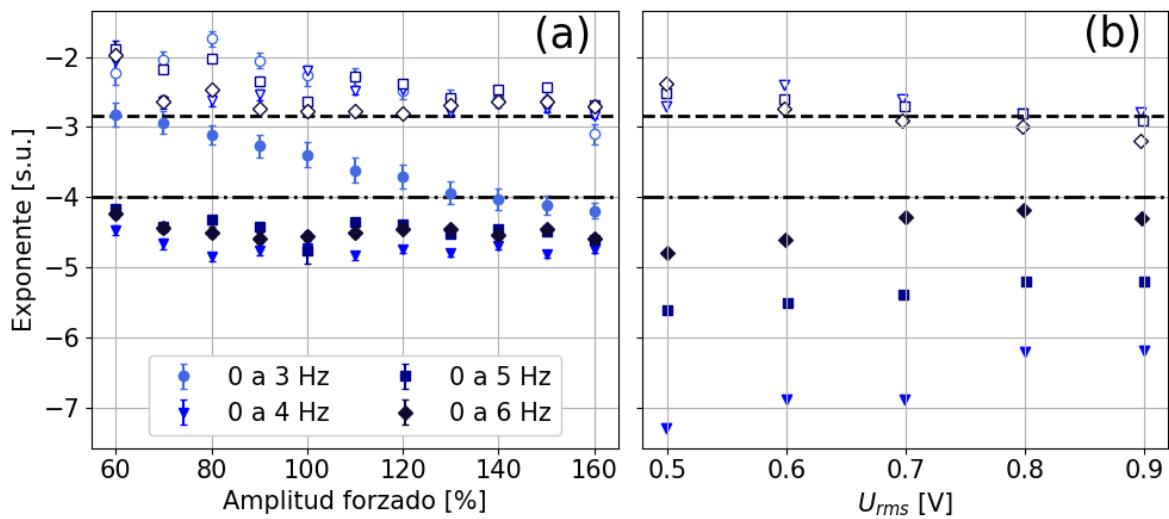


Figura 4.10

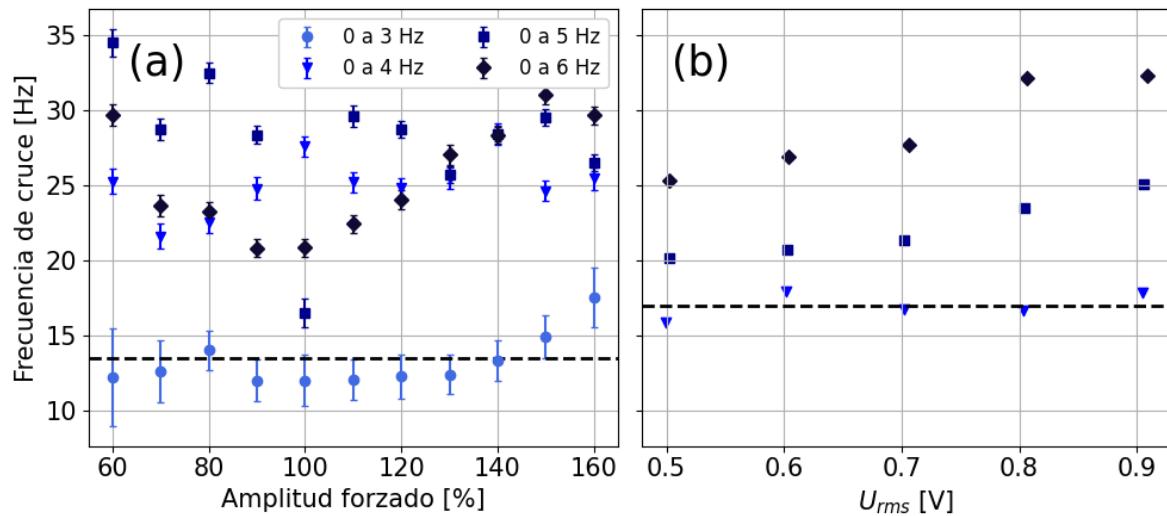


Figura 4.11

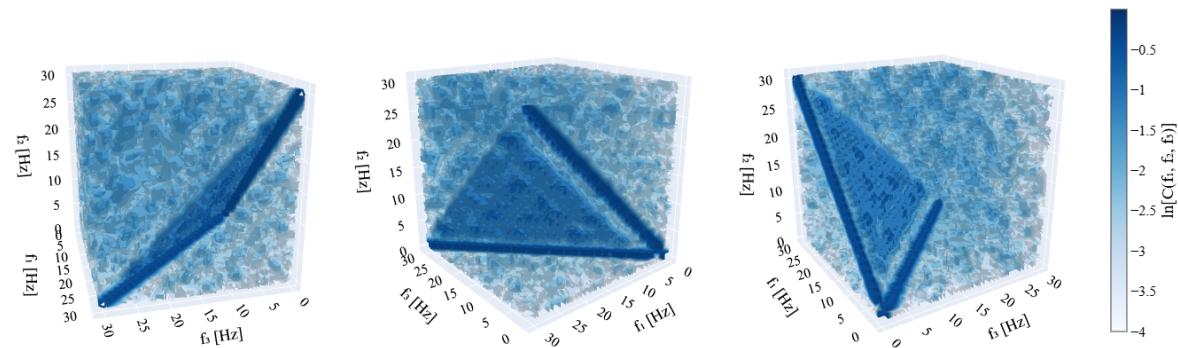


Figura 4.12

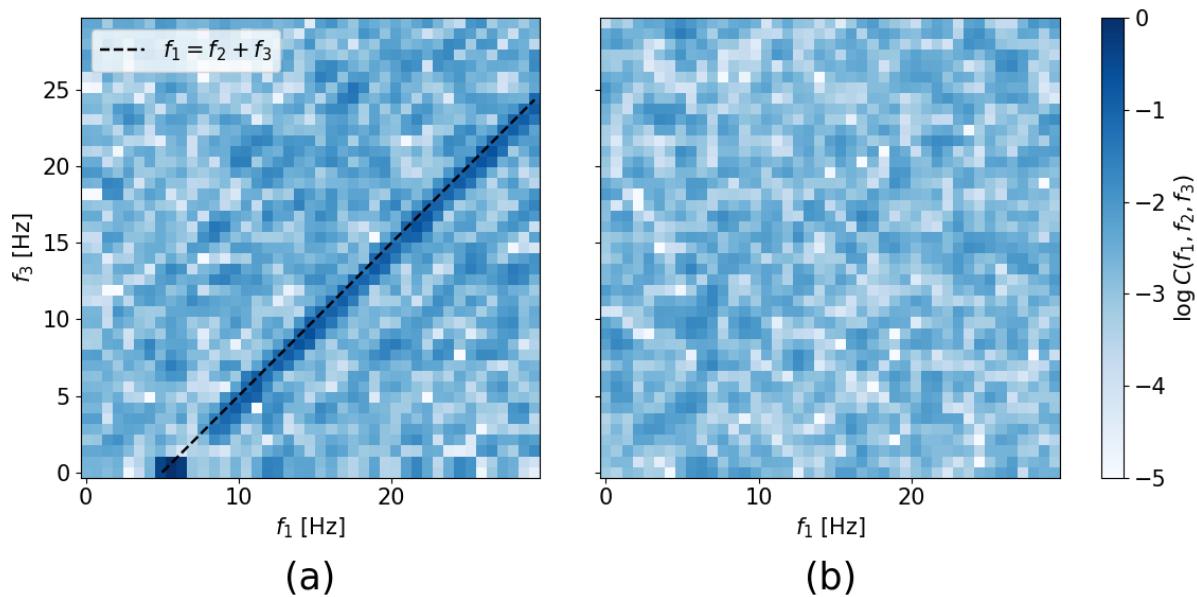


Figura 4.13

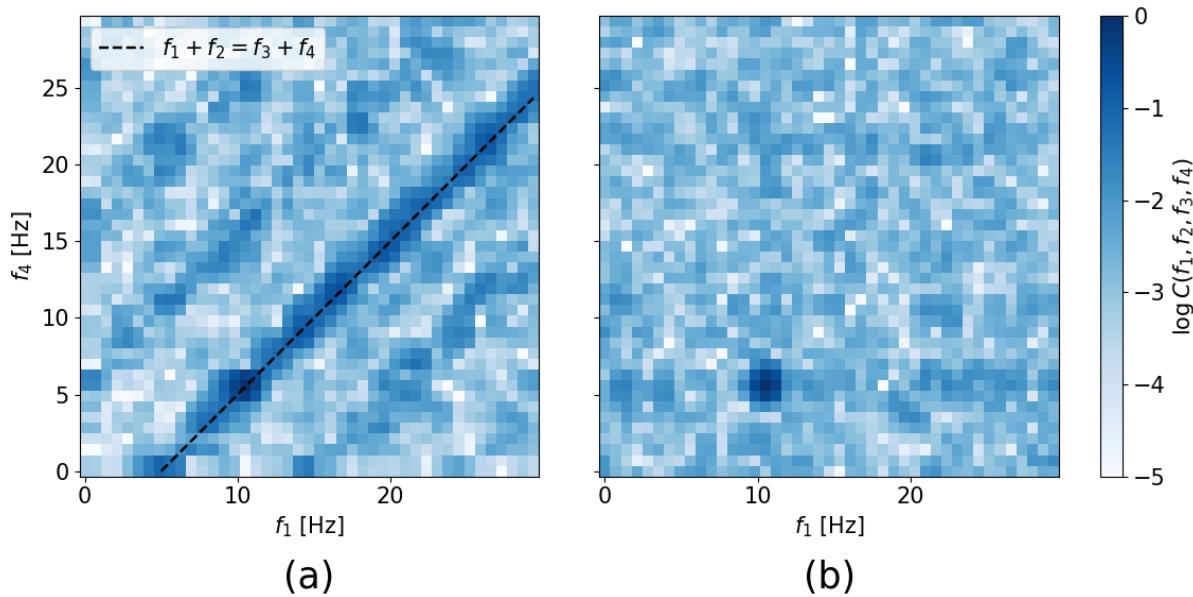


Figura 4.14

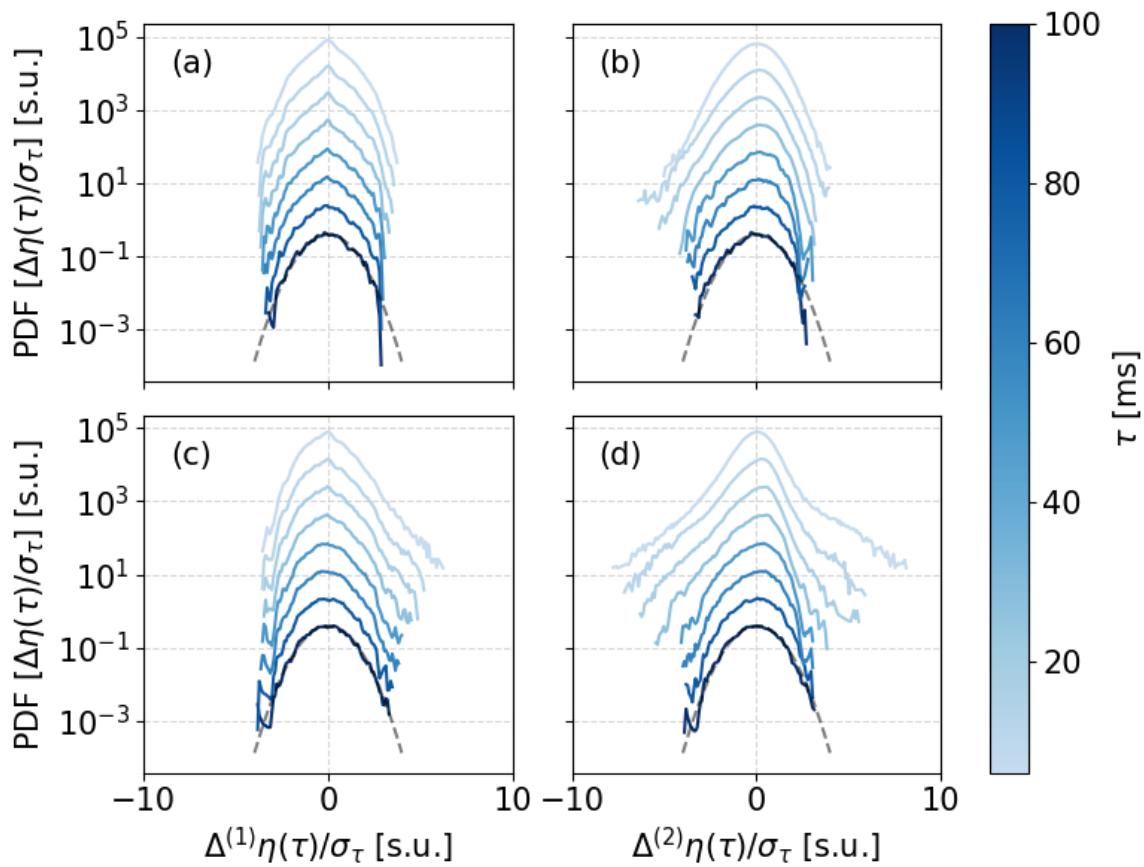


Figura 4.15

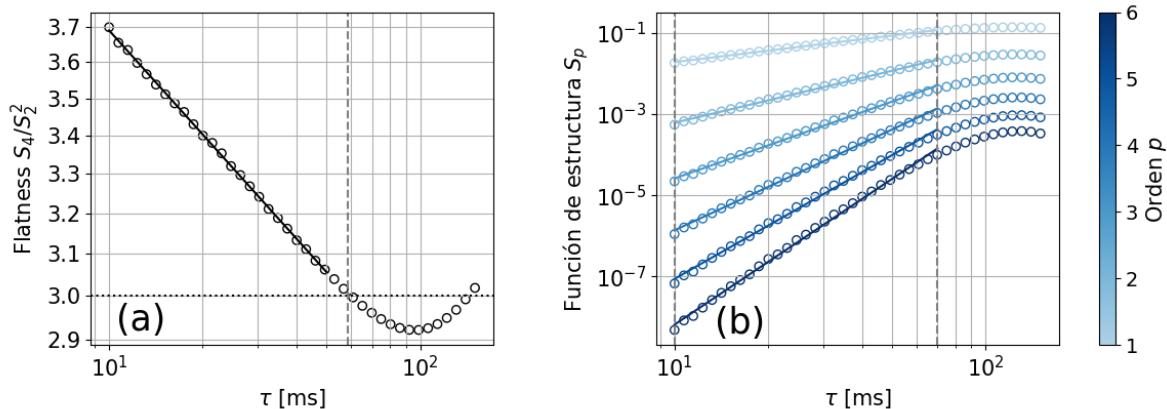


Figura 4.16

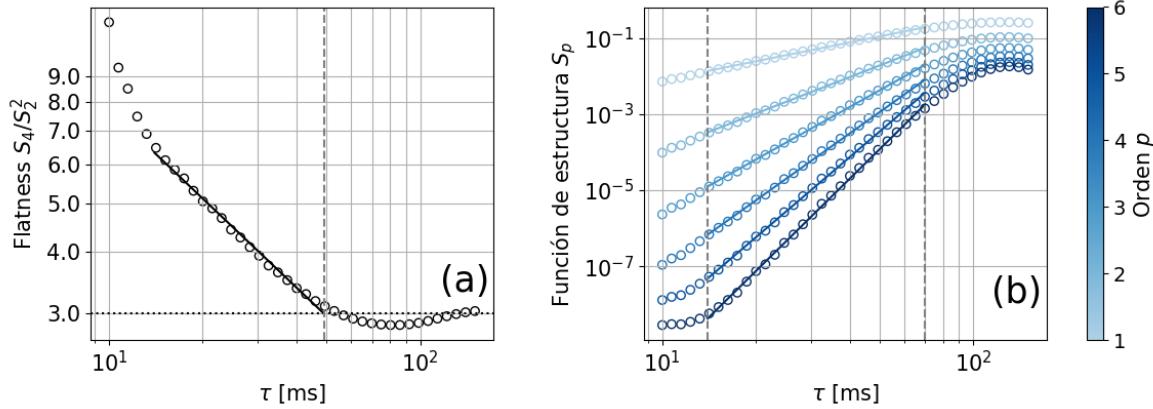


Figura 4.17

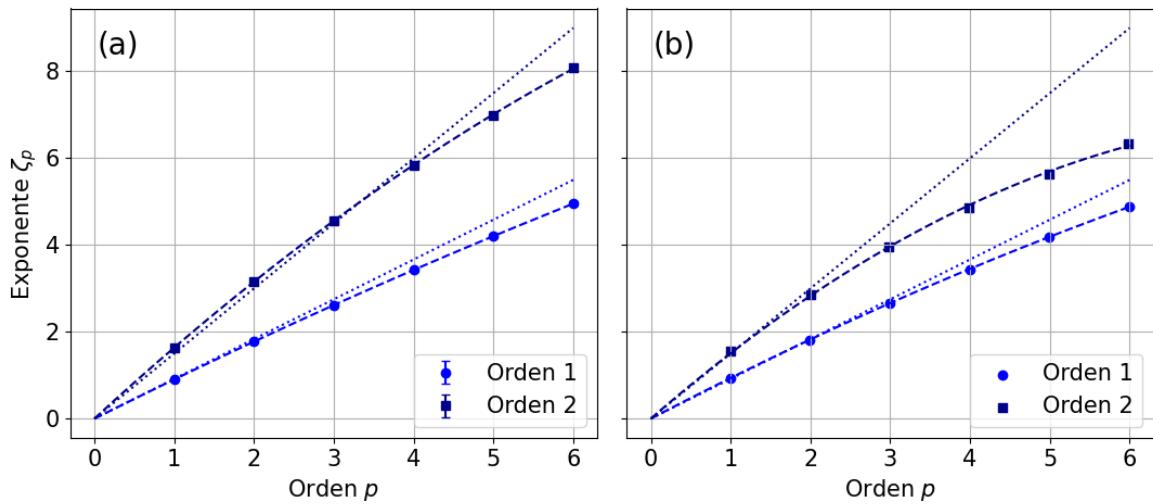


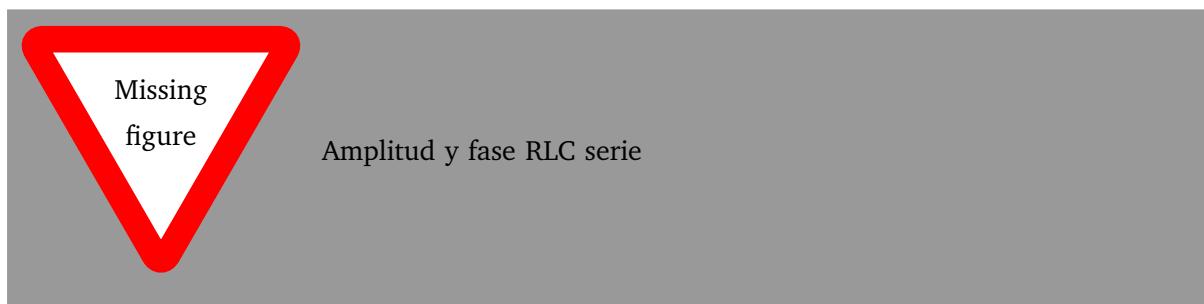
Figura 4.18

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

APÉNDICE A

PUESTA A PRUEBA DE LA DAQ + LOCK-IN DIGITAL



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gordillo Zavaleta. *Non-Propagating Hydrodynamic Solitons in a Quasi-One Dimensional Free Surface Subject to Vertical Vibrations*. Doctoral Thesis, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Física, Santiago de Chile, Chile, 2012.

Tesis disponible bajo Licencia Creative Commons, Atribución – No Comercial – Compartir Igual
(by-nc-sa) 2.5 Argentina

Buenos Aires, 2026