CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

DOCUMENTO Nº: ***CRIBAV*-00-01**
Fecha: **28/9/99**
Código SubProyecto: **TAP97-0607-003-02**

TÍTULO DEL DOCUMENTO

DATOS UTILIZADOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE MODELOS LINEALES DE LA DINAMICA VERTICAL DEL BUQUE TF-120

Autores:

Joaquín Aranda
Jesús Manuel De La Cruz
Bonifacio De Andrés
Jose Manuel Díaz
Segundo Esteban
Jose María Girón
Luis Grau
Jose Antonio López
Pablo Ruipérez

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

DOCUMENTO Nº: ***CRIBAV*-00-01**
Fecha: **28/9/99**
Código SubProyecto: **TAP97-0607-003-02**

TÍTULO DEL DOCUMENTO

DATOS UTILIZADOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE MODELOS LINEALES DE LA DINAMICA VERTICAL DEL BUQUE TF-120

Autores:

Joaquín Aranda
Jesús Manuel De La Cruz
Bonifacio De Andrés
Jose Manuel Díaz
Segundo Esteban
Jose María Girón
Luis Grau
Jose Antonio López
Pablo Ruipérez

Grupos: UCM y UNED
Responsables de los Grupos: Jesús Manuel De la Cruz (UCM) y Joaquín Aranda (UNED)
Responsable del Informe: Jesús Manuel De la Cruz (UCM) y Joaquín Aranda (UNED)
SubProyecto: TAP97-0607-003-02
Version: 1

Lista y Filiación de Autores:

Joaquín Aranda (2)
Jesús Manuel De La Cruz (1)
Bonifacio De Andrés (1)
Jose Manuel Díaz (2)
Segundo Esteban (1)
Jose María Girón (1)
Luis Grau (2)
Jose Antonio López (1)
Pablo Ruipérez (2)

(1) Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática. Facultad de Ciencias Físicas. U. Complutense de Madrid

(2) Departamento de Informática y Automática. Facultad de Ciencias. UNED

Lista de distribución:

Jesús Manuel De la Cruz García	jmcruz@eucmax.sim.ucm.es
Jose María Girón Sierra	gironsi@eucmax.sim.ucm.es
Bonifacio De Andres Toro	deandres@eucmax.sim.ucm.es
Jose Antonio López Orozco	jalo@eucmax.sim.ucm.es
Segundo Esteban San Román	segundo@eucmos.sim.ucm.es
Matilde Santos Peña	msantos@eucmax.sim.ucm.es
Joaquín Aranda Almansa	jaranda@dia.uned.es
Pablo Ruipérez García	pruip@dia.uned.es
Luis Grau Fernández	lgrau@dia.uned.es
José Luis Fernández Marrón	jlmarron@dia.uned.es
José Sanchéz Moreno	jsanchez@dia.uned.es
Francisco Jesús Velasco	velasco@teisa.unican.es

Agradecimientos:

Este documento se ha realizado bajo el proyecto de la CICYT: TAP97-0607.

Resumen:

En este documento se presentan todos los datos que sucesivamente se han recibido del CEHIPAR y que tras ser tratados matemáticamente se utilizaron en la identificación y validación de modelos lineales discretos y continuos de la dinámica vertical del buque de alta velocidad TF-120.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN ***1***
2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS SERIES TEMPORALES ***2***
3. SERIES TEMPORALES ENTREGADAS POR EL CEHIPAR EN JULIO-98 ***5***
3.1 NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS DE DATOS **5**
3.1.1 NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS ENTREGADOS POR EL CEHIPAR JULIO-98 5
3.1.2 NOMENCLATURA DE ARCHIVOS.TXT 6
3.1.3 NOMENCLATURA DE ARCHIVOS.MAT 7
3.2 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES **9**
3.2.1 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES OBTENIDAS CON OLEAJE IRREGULAR 9
3.2.2 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES OBTENIDAS CON OLEAJE REGULAR 14
3.3 GRAFICAS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA **37**
3.3.1 COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS DE OLEAJE IRREGULAR 37
3.3.2 ESPECTRO DE LAS SERIES TEMPORALES 38
3.3.3 RESPUESTA EN FRECUENCIA ESTIMADA CON LA FUNCION SPA.M 42
4. SERIES TEMPORALES ENTREGADAS POR EL CEHIPAR EN MARZO-99 ***47***
4.1 NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS DE DATOS **47**
4.1.1 NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS ENTREGADOS POR EL CEHIPAR MARZO-99 47
4.1.2 NOMENCLATURA DE ARCHIVOS.TXT 49
4.1.3 NOMENCLATURA DE ARCHIVOS.MAT 49
4.2 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES **51**
4.2.1 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES OBTENIDAS CON OLEAJE IRREGULAR 51
4.2.2 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES OBTENIDAS CON OLEAJE REGULAR 56
4.3 GRAFICAS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA **79**
4.3.1 RESPUESTA EN FRECUENCIA ESTIMADA CON LA FUNCION SPA.M 79
5. SERIES TEMPORALES CORREGIDAS A PROA ***84***
5.1 NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS DE DATOS **84**
5.1.1 NOMENCLATURA DE ARCHIVOS.MAT 84
5.2 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES **86**
5.2.1 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES OBTENIDAS CON OLEAJE IRREGULAR 86
5.2.2 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES OBTENIDAS CON OLEAJE REGULAR 96
5.3 GRAFICAS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA **138**
5.3.1 RESPUESTA EN FRECUENCIA ESTIMADA CON LA FUNCION SPA.M 138
6. DATOS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA ***143***
6.1 NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS CON LOS DATOS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA **143**
6.1.1 ARCHIVOS DE DATOS CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PROGRAMA DE SIMULACIÓN PRECAL 143
6.1.2 ARCHIVOS MATLAB CON LOS DATOS DE PRECAL CORREGIDOS A PROA 144
6.2 COMPARACION ENTRE DATOS PRECAL Y DATOS OBTENIDOS CON ENSAYOS REGULARES **144**
6.2.1 VELOCIDAD 20 NUDOS 145
6.2.1 VELOCIDAD 30 NUDOS 148
6.2.1 VELOCIDAD 40 NUDOS 151
6.3 DATOS DE PRECAL PARA G_{O2H} Y G_{O2P} TRASLADADOS A PROA **154**
6.4 DATOS DE PRECAL PARA G_{O2fH} Y G_{O2mP} TRASLADADOS A PROA **159**
6.5 DATOS OBTENIDOS DE LOS EXPERIMENTOS DE MARZO-99 PARA G_{O2fH} Y G_{O2mP} **164**
Apéndice A :FRECUENCIA DE ENCUENTRO **170**
Apéndice B :METODO DE AJUSTE A TRES COSENOS **171**

Apéndice C :CORRECCION DE FASES A PROA **173**
Apéndice D :CORRECCION DE SERIES TEMPORALES A PROA **176**
Apéndice E :COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES PRECAL **177**
BIBLIOGRAFIA **178**

1. INTRODUCCION

En este documento se suministra información detallada sobre los distintos datos utilizados durante el proceso de identificación ([3], [4], [5] y [6]) y validación de modelos lineales discretos y continuos de la dinámica vertical del buque de alta velocidad TF-120.

Los datos con los que se ha trabajado son de dos tipos.

- Series temporales de altura de ola, movimiento heave y movimiento pitch obtenidos con ensayos de oleaje regular e irregular por el CEHIPAR [1].
- Datos de magnitud y de fase proporcionados por el programa de simulación PRECAL. [2]

Durante el primer semestre de 1998 el Canal de Experiencias Hidrodinámicas del Pardo (CEHIPAR) realizó en sus instalaciones diferentes ensayos con oleaje regular e irregular aplicado a una maqueta a escala sin actuadores del TF-120. Con estos ensayos se midieron series temporales del oleaje aplicado, de los movimientos de pitch y de heave, así como de las aceleraciones verticales en distintas cuadernas del buque.
Paralelamente a estos ensayos, el CEHIPAR realizó simulaciones por computador con el programa PRECAL, con las que se obtuvieron, valores para las coeficientes de las ecuaciones diferenciales que rigen el sistema ; y valores de magnitud y de fase para los distintos movimientos del buque, así como para las fuerzas totales aplicadas sobre el mismo.

Los resultados de los ensayos [1] y de las simulaciones con PRECAL [2] fueron entregados por el CEHIPAR al grupo de investigación de la UNED el 7 de julio de 1998.

Sin embargo algunos meses más tarde se descubrió que las series temporales de altura de la ola no estaban medidas en el centro de gravedad del buque, que era lo que se deseaba en un principio, sino que estaban medidas a 96.25 metros a proa desde el centro de gravedad del buque. Por este motivo se solicito al CEHIPAR que corrigiesen los datos al centro de gravedad. Hasta marzo de 1999 no se dispuso de las series de altura de la ola corregidos al centro de gravedad.

Tras infructuosos intentos de modelar con los datos experimentales corregidos al centro de gravedad. Se optó por utilizar los datos en el dominio de la frecuencia obtenidos con PRECAL corregidos a proa que son los que ofrecían una mayor fiabilidad ya que estaban más de acuerdo con la física esperada para el sistema. Y para validar se utilizan las primeras series temporales trasladadas a la proa del buque.

En las siguientes secciones se mostrarán distintas tablas, gráficas y cuadros que tienen como objetivo :

- Aclarar la nomenclatura de los archivos donde se tienen almacenados los distintos datos.
- Poner de manifiesto las características más relevantes de los datos.
- Indicar el tratamiento matemático realizado sobre los datos antes de utilizarlos para validar o para identificar.

Se espera con este documento proporcionar una guía de consulta, que facilite toda la información posible sobre los distintos datos utilizados en el proceso de identificación de modelos lineales de la dinámica vertical del buque TF-120.

2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS SERIES TEMPORALES.

El CEHIPAR [1] realizó ensayos con oleaje irregular y regular aplicado a una maqueta a escala del buque TF-120. El factor de escala con respecto al buque real es 1:25. En la Figura 2.1 se muestra un dibujo esquemático de la sección longitudinal del buqueTF-120.

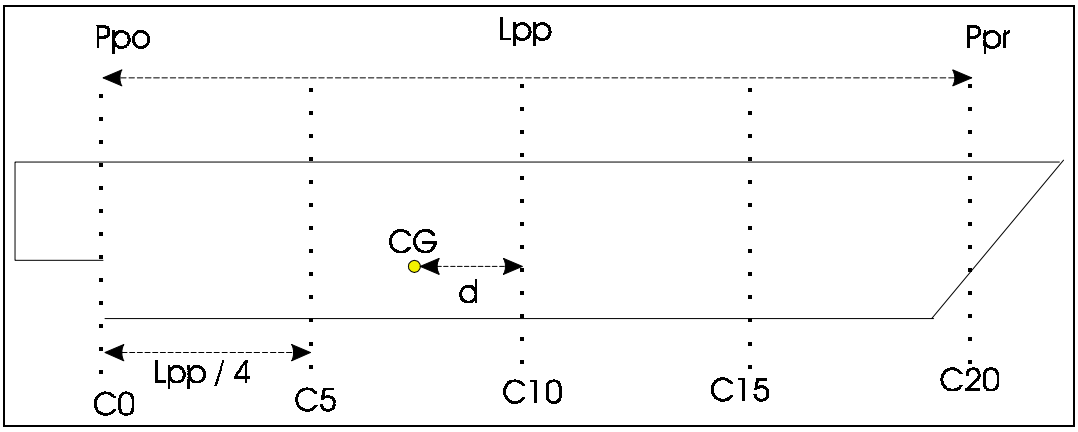


Figura 2.1 :Sección longitudinal del modelo a escala del TF-120

La distancia entre la perpendicular de proa Ppr y la perpendicular de popa Ppo, se denomina distancia entre perpendiculares L_{pp}, y tiene un valor de L_{pp}=110 m.
Las cuadernas del buque de denominan por C0, C5, C10, C15 y C20. La distancia entre dos cuadernas es de 27.5 m.
El centro de gravedad del buque CG se encuentra situado en el punto medio de las cuadernas C5 y C10, es decir a una distancia de 13.75 m.

Los ensayos se llevaron a cabo con mar de proa, la maqueta se desplazaba a la velocidad de 20, 30 o 40 nudos[1].
El oleaje irregular que se utilizo era del tipo JONSWAP que dependía del estado de la mar (Sea State Number SSN) de acuerdo con STANAG 4194 (Standarized Wave and Wind Enviroments and Shipboard Reporting of Sea Conditions). Se trabajo con SSN=4, 5 y 6. En la Tabla 2.1 se muestran las características del oleaje iiregular utilizado por el CEHIPAR.

Tabla 2.1: Características del oleaje irregular utilizado por el CEHIPAR

SSN	Altura significativa (m)	Periodo entre picos(seg)
4	1.90	8.8
5	3.25	9.7
6	4.50	12.4

En la Tabla 2.2 se muestran las características de los ensayos realizados por el CEHIPAR con oleaje regular, a las velocidades de 20, 30 y 40 nudos.

Tabla 2.2:Caracteristicas de las olas regulares ensayadas por el CEHIPAR

[1] 1 nudo =0.51 m/s=1.83 km/h

Numeración del ensayo YY	Pendiente de la ola P	λ/L_{pp}	Altura de la ola (modelo) H_m(m)	Periodo de la ola (modelo) T_m(s)	Altura de la ola (real) H_B(m)	Periodo de la ola (real) T_B(s)
1	50	0.35	0.031	0.993	0.770	4.966
2	50	0.51	0.045	1.199	1.122	5.994
3	50	0.70	0.062	1.405	1.540	7.023
4	50	0.80	0.070	1.502	1.760	7.508
5	50	0.91	0.080	1.601	2.002	8.007
6	50	1.03	0.091	1.704	2.266	8.519
7	50	1.15	0.101	1.800	2.530	9.001
8	50	1.28	0.113	1.899	2.816	9.496
9	50	1.42	0.125	2.000	3.124	10.002
10	50	1.72	0.151	2.202	3.784	11.008
11	50	2.04	0.180	2.398	4.488	11.989
12	50	2.40	0.211	2.601	5.280	13.003
13	50	2.78	0.245	2.799	6.116	13.995
14	50	3.19	0.281	2.998	7.018	14.992
15	50	3.63	0.319	3.198	7.986	15.992
16	40	0.35	0.039	0.993	0.963	4.966
17	40	0.51	0.056	1.199	1.403	5.994
18	40	0.70	0.077	1.405	1.925	7.023
19	40	0.80	0.088	1.502	2.200	7.508
20	40	0.91	0.100	1.601	2.503	8.007
21	40	1.03	0.113	1.704	2.833	8.519
22	40	1.15	0.127	1.800	3.163	9.001
23	40	1.28	0.141	1.899	3.520	9.496
24	40	1.42	0.156	2.000	3.905	10.002
25	40	1.72	0.189	2.202	4.730	11.008
26	40	2.04	0.224	2.398	5.610	11.989
27	40	2.40	0.264	2.601	6.600	13.003
28	40	2.78	0.306	2.799	7.645	13.995
29	40	3.19	0.351	2.998	8.773	14.992
30	40	3.63	0.399	3.198	9.983	15.992
31	30	0.35	0.051	0.993	1.283	4.966
32	30	0.51	0.075	1.199	1.870	5.994
33	30	0.70	0.103	1.405	2.567	7.023
34	30	0.80	0.117	1.502	2.933	7.508
35	30	0.91	0.133	1.601	3.337	8.007
36	30	1.03	0.151	1.704	3.777	8.519
37	30	1.15	0.169	1.800	4.217	9.001
38	30	1.28	0.188	1.899	4.693	9.496
39	30	1.42	0.208	2.000	5.207	10.002
40	30	1.72	0.252	2.202	6.307	11.008
41	30	2.04	0.299	2.398	7.480	11.989
42	30	2.40	0.352	2.601	8.800	13.003
43	30	2.78	0.408	2.799	10.193	13.995
44	30	3.19	0.468	2.998	11.697	14.992
45	30	3.63	0.532	3.198	13.310	15.992

De todos los ensayos regulares, únicamente se utilizaron para identificar desde el ensayo 17 al 30, la razón de esta elección radica en la intención de trabajar con el caso de pendientes intermedias, estos ensayos poseen una pendiente de ola de 40. El ensayo 16 no se utilizó porque presentaba unas extrañas series temporales muy alejadas de la pretendida regularidad. En la Tabla 2.3 se muestran algunas características adicionales de los

ensayos regulares seleccionados para identificar, como el periodo de la ola, su longitud de onda, su frecuencia natural y las frecuencias de encuentro (ver apéndice A) para las velocidades de 20, 30 y 40 nudos.

Tabla 2.3:Caracteristicas adicionales de los ensayos regulares seleccionados.

Ensayo YY	**λ/L_{pp}**	**Periodo de la ola T_B(s)**	**Frecuencia de la ola ω(rad/seg)**	**Longitud de onda de la ola λ(m)**	**Frecuencia de encuentro a 20 nudos**	**Frecuencia de encuentro a 30 nudos**	**Frecuencia de encuentro a 40 nudos**
17	0.51	5.994	1.0482	56.1000	2.1919	2.7637	3.3356
18	0.70	7.023	0.8947	77.0000	1.7277	2.1443	2.5608
19	0.80	7.508	0.8369	88.0000	1.5658	1.9303	2.2947
20	0.91	8.007	0.7847	100.1000	1.4256	1.7461	2.0665
21	1.03	8.519	0.7375	113.3000	1.3037	1.5868	1.8699
22	1.15	9.001	0.6981	126.5000	1.2052	1.4588	1.7124
23	1.28	9.496	0.6617	140.8000	1.1173	1.3452	1.5730
24	1.42	10.002	0.6282	156.2000	1.0389	1.2443	1.4477
25	1.72	11.008	0.5708	189.2000	0.9099	1.0794	1.2490
26	2.04	11.989	0.5241	224.4000	0.8099	0.9529	1.0950
27	2.40	13.003	0.4832	264.0000	0.7262	0.8477	0.9693
28	2.78	13.995	0.4490	305.8000	0.6588	0.7636	0.8685
29	3.19	14.992	0.4191	350.9000	0.6019	0.6933	0.7845
30	3.63	15.992	0.3929	399.3000	0.5536	0.6339	0.7142

Tanto en los ensayos regulares como irregulares para las velocidades de 20, 30 y 40 nudos, se tomaron medidas con una frecuencia de 4 Hz de las magnitudes indicadas en la Tabla 2.4 .

Tabla 2.4 :Magnitudes medidas en los ensayos.

CODIGO	**MAGNITUD**	**UNIDAD**	**SIGNO (positivo cuando ..)**	**INSTRUMENTACION**
OLA	Altura de ola	m	sobre nivel aguas tranquilas	Sensor capacitivo colocado sobre una espada a 96.25 m del CG en proa.
AC0	Aceleración vertical en C0	m/s^2	hacia arriba	Acelerómetro
AC5	Aceleración vertical en C5	m/s^2	hacia arriba	Acelerómetro
AC10	Aceleración vertical en C10	m/s^2	hacia arriba	Acelerómetro
AC15	Aceleración vertical en C15	m/s^2	hacia arriba	Acelerómetro
AC20	Aceleración vertical en C20	m/s^2	hacia arriba	Acelerómetro
RESISTEN	Resistencia añadida	kN	contra el avance	Galga extensiométrica
HEAVE	Movimiento vertical en el CG	m	hacia arriba	LVDT
PITCH	Cabeceo	º	se hunde la proa	Potenciómetro angular

3. SERIES TEMPORALES ENTREGADAS POR CEHIPAR EN JULIO-98.

En el mes de julio de 1998, CEHIPAR entregó los resultados [1] de los ensayos realizados con una maqueta a escala, sin actuadores, del buque TF-120 con oleaje regular e irregular. Se suponía que la altura de ola estaba corregida al centro de gravedad del buque.

3.1 NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS DE DATOS.

3.1.1 NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS ENTREGADOS POR CEHIPAR EN JULIO-98.

Se distingue entre series temporales medidas utilizando oleaje regular y series temporales medidas utilizando oleaje irregular.

- ENSAYOS REALIZADOS CON OLEAJE IRREGULAR :

La nomenclatura seguida por CEHIPAR para nombrar los archivos de resultados, es la siguiente :

V[XX]IrrEst[Y][E]

donde :
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[Y] hace referencia al estado de la mar 4, 5 o 6.
[E] que indica la carrera a o la carrera b.

Por ejemplo el archivo V20IrrEst5b corresponde al ensayo con oleaje irregular con estado de la mar 5 y velocidad 20 nudos , para la carrera b.

Se dispone de un total de 18 archivos, que resultan de realizar ensayos a distintos estados de la mar y velocidad del buque. Hay 9 para la carrera a y 9 para la carrera b.

- ENSAYOS REALIZADOS CON OLEAJE REGULAR :

La nomenclatura seguida para nombrar los archivos de resultados, es la siguiente :

TF[XX][YY]a

donde :
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[YY] hace referencia al número de ensayo (ver Tabla 2.2)

Por ejemplo el archivo TF2012a corresponde al ensayo número 12 realizado a 20 nudos.

Se dispone de :
43 archivos para velocidad 20 nudos.
44 archivos para velocidad 30 nudos.
42 archivos para velocidad 40 nudos.

Estos archivos de nombre **TF[XX][YY]a** y **V[XX]IrrEst[Y][E]** se encuentran en formato ASCII y todos los datos de las series temporales medidas se encuentran ya a escala real y vienen listados en una sola columna con el formato mostrado en el Cuadro 3.1

Cuadro 3.1 : Formato interno de los archivos TF[XX][YY]a y V[XX]IrrEst[Y][E]

TITULO (CABECERA)
ESCALA
DENSIDAD
VELOCIDAD
RUMBO (DIRECCIÓN DEL OLEAJE CON RESPECTO AL BUQUE 180º= PROA)
FRECUENCIA DE MUESTREO
NÚMEROS DE PUNTOS DE CADA CANAL
TIPO DE OLEAJE (0 =REGULAR 1 =IRREGULAR)
ALTURA DE LA OLA
PERIODO DE LA OLA
GAMMA (DISTINTO DE CERO PARA OLAS IRREGULARES)
SIGMA A (DISTINTO DE CERO PARA OLAS IRREGULARES)
SIGMA B (DISTINTA DE CERO PARA OLAS REGULARES)
NÚMERO DE CANALES
NOMBRE DEL CANAL 1
UNIDAD DEL CANAL 1
.....
SERIE TEMPORAL DEL CANAL 1
.....
NOMBRE DEL CANAL 2
UNIDAD DEL CANAL 2
.....
SERIE TEMPORAL DEL CANAL 2
.....
.....
.....
.....
.....

3.1.2 NOMENCLATURA DE ARCHIVOS .TXT

Como ya se ha explicado en la sección anterior, los archivos entregados por el CEHIPAR contenían en una sola columna todas las series temporales medidas, aparte de llevar una cabecera de información. Esto supone un problema a la hora de trabajar con los datos utilizando el programa MATLAB, por eso se generaron unos archivos también en ASCII, en cada uno de los cuales únicamente aparecía una sería temporal. Indicar que esto únicamente se realizó para las series temporales de altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch que eran con las que se iba a llevar a cabo la identificación. No se generaron archivos.txt para las aceleraciones ya que en principio no se iba ha identificar con ellas. La nomenclatura de estos archivos es:

- ENSAYOS OBTENIDOS CON OLEAJE IRREGULAR

[M][XX][Y][E].txt

donde :
[M] hace referencia a la magnitud medida: O altura de olas, P movimiento de pitch y H movimiento de heave.
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[Y] hace referencia al estado de la mar 4, 5 o 6.
[E] que indica la carrera a o la carrera b.

Por ejemplo el archivo O204a.txt corresponde a la serie temporal de la altura de olas medida para velocidad 20 nudos, estado de la mar 4 y carrera a.

- ENSAYOS OBTENIDOS CON OLEAJE REGULAR :

[M][XX][YY]a.txt

donde :
[M] hace referencia a la magnitud medida: O altura de olas, P movimiento de pitch y H movimiento de heave.
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[YY] hace referencia al número de ensayo (ver Tabla 2.2)

Por ejemplo el archivo H2012a.txt corresponde a la serie temporal de movimiento de heave medido para velocidad 20 nudos y número de ensayo 12.

3.1.3 NOMENCLATURA DE ARCHIVOS .MAT

Una vez que ya se tenían cada una de las series temporales en distintos archivos .txt, se procedió a almacenarlas en formato del programa MATLAB, es decir archivos de datos con extensión .mat.
Se generaron archivos con la siguiente nomenclatura :

- ENSAYOS OBTENIDOS CON OLEAJE IRREGULAR.

I[XX][Y][E].mat

Dentro de cada uno de estos archivos I[XX][Y][E].mat había almacenadas tres variables :
altura de olas o[XX][Y][E]
movimiento de pitch p[XX][Y][E]
movimiento de heave h[XX][Y][E]

donde :
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[Y] hace referencia al estado de la mar 4, 5 o 6.
[E] que indica la carrera a o la carrera b.

Por ejemplo, I204a.mat es el archivo Matlab que contiene las variables o204a, p204a y h204a para velocidad 20 nudos ,estado de la mar 4 y carrera a.

Indicar que en el archivo de datos MATLAB **mode_sin_tend .mat** se encuentran las series temporales tanto de altura de olas ,movimiento de pitch y movimiento de heave, para velocidades 20, 30 y 40 y estado de la mar 4, 5 y 6, para las carreras a y b, medidas con oleaje irregular con las medias y tendencias eliminadas, ya que se les aplico la función **dtrend.m** perteneciente a la toolbox IDENT. Dentro de este archivo la nomenclatura de las variables es :

[M][XX][Y][E]d

donde
[M] hace referencia a la magnitud medida P movimiento de pitch y H movimiento de heave.
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[Y] hace referencia al estado de la mar 4, 5 o 6.
[E] que indica la carrera a o la carrera b.
La d al final del nombre denota que las medias y tendencias han sido eliminadas

Estas variables tienen dos columnas cada una, [salida, entrada] la salida es el movimiento de pitch o el de heave y la entrada es la altura de olas.

- ENSAYOS OBTENIDOS CON OLEAJE REGULAR

TF[XX][YY].mat

Dentro de cada uno de estos archivos TF[XX][YY].mat había almacenadas tres series temporales :
altura de olas o[XX][YY]a
movimiento de pitch p[XX][YY]a
movimiento de heave h[XX][YY]a

donde :
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real , es decir, 20, 30 o 40 nudos.
[YY] hace referencia al número de ensayo (ver Tabla 2.2)

Por ejemplo, TF3001a.mat es el archivo Matlab que contiene las variables o3001a, p3001a y h3001a para velocidad 30 nudos y número 01 de ensayo regular.

Indicar que en el archivo de datos MATLAB **dat_olreg_sinten.mat** se encuentran las series temporales tanto de altura de olas ,movimiento de pitch y movimiento de heave, para velocidades 20, 30 y 40 y números de ensayo los que se muestran en la Tabla 2.2, medidas con oleaje regular con las medias y tendencias eliminadas, ya que se les aplico la función **dtrend.m** perteneciente a la toolbox IDENT. Las variables con las tendencias eliminadas se denotan con una d al final de su nombre. Dentro de este archivo la nomenclatura de las variables es :

o[M][XX][YY]d

donde
[M] hace referencia a la magnitud medida P movimiento de pitch y H movimiento de heave.
[YY] hace referencia al número de ensayo (ver Tabla 2.2)
La d al final del nombre denota que las medias y tendencias han sido eliminadas

Estas variables tienen dos columnas cada una, [salida, entrada] la salida es el movimiento de pitch o el de heave y la entrada es la altura de olas.

3.2 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES.

3.2.1 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES OBTENIDAS CON OLEAJE IRREGULAR

En las Figuras 3.1 a 3.9 se muestran las series temporales de altura de ola, movimiento heave y movimiento pitch obtenidas en los ensayos con oleaje irregular a las velocidades de 20, 30 y 40 nudos y estado de la mar 4, 5 y 6,

para la carrera a). Indicar que las series temporales que se muestran, son las que se encuentran en el fichero **mode_sin_tend.mat,** que tienen ya las tendencias y las medias eliminadas.

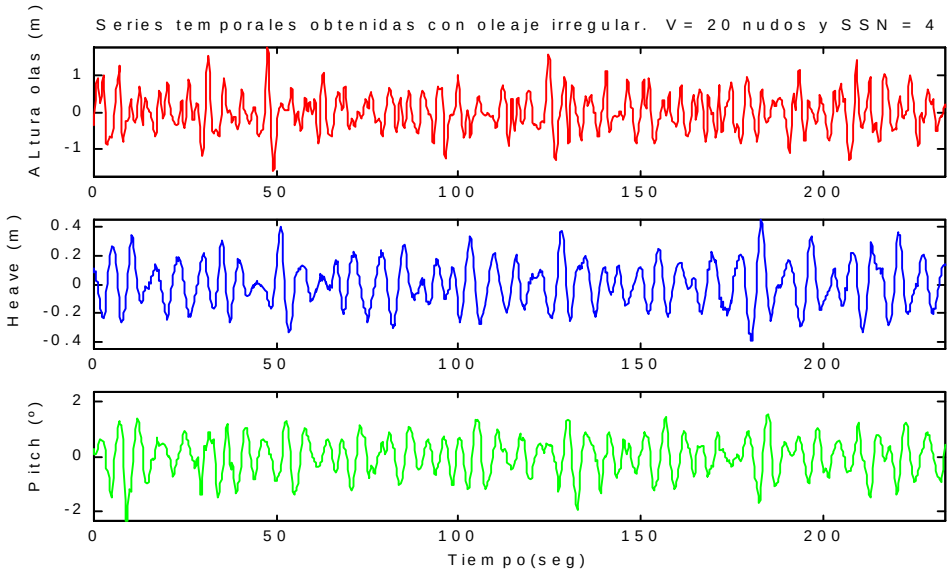


Figura 3.1 : Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 20 nudos y estado de la mar 4.

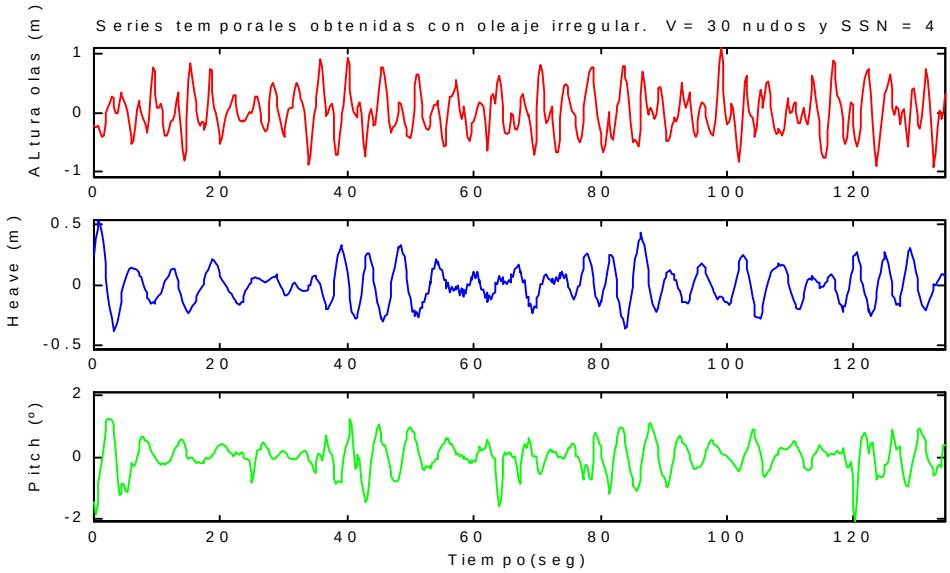


Figura 3.2 : Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 30 nudos y estado de la mar 4.

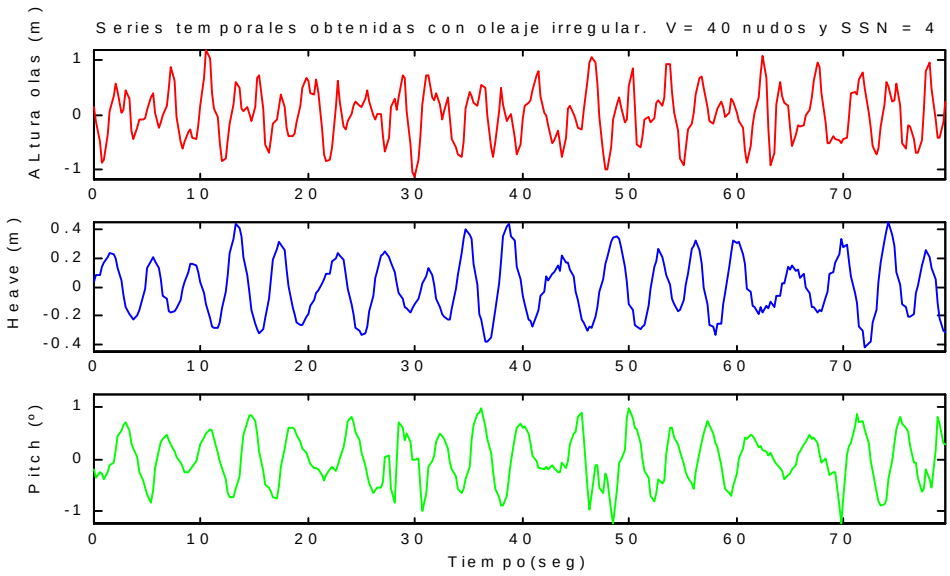


Figura 3.3 : Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 40 nudos y estado de la mar 4.

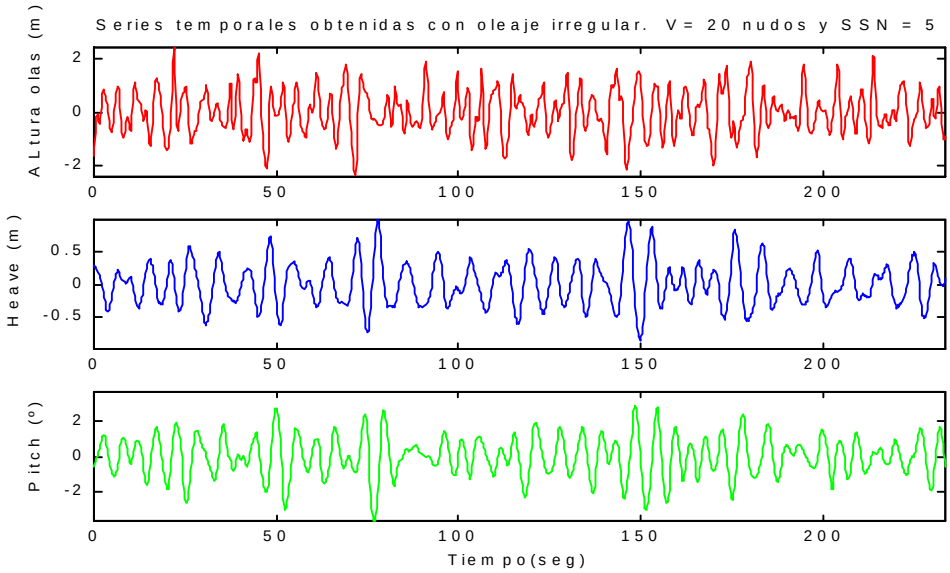


Figura 3.4 : Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 20 nudos y estado de la mar 5.

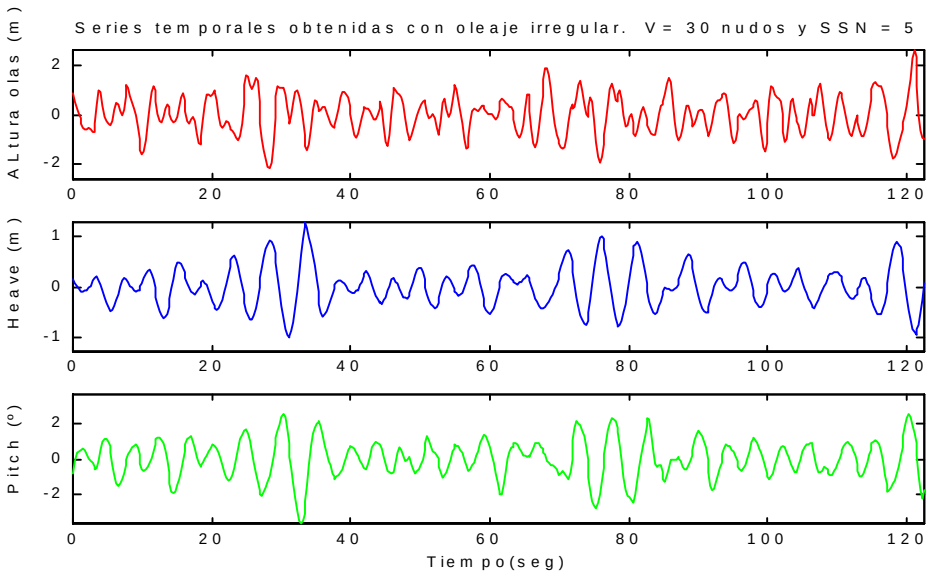


Figura 3.5 : Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 30 nudos y estado de la mar 5.

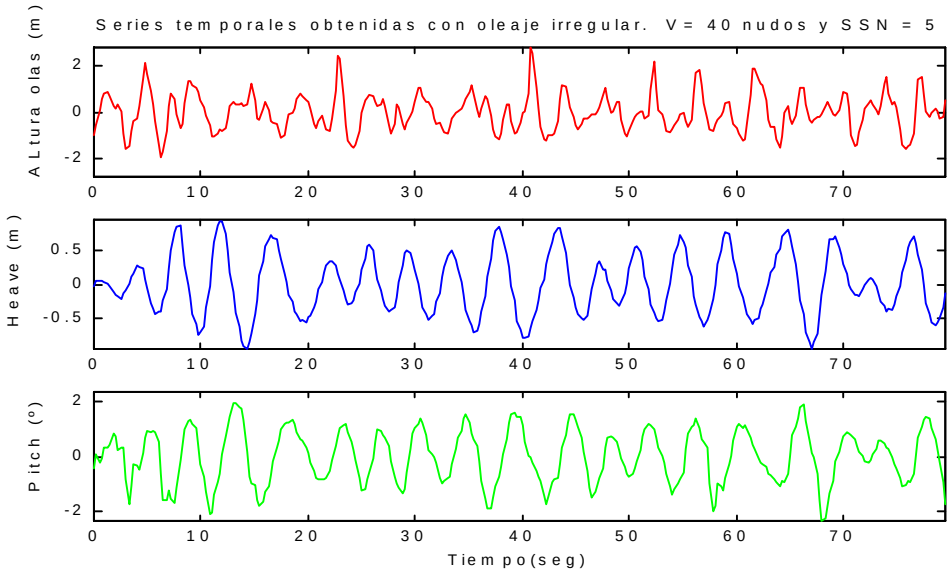


Figura 3.6 : Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 40 nudos y estado de la mar 5.

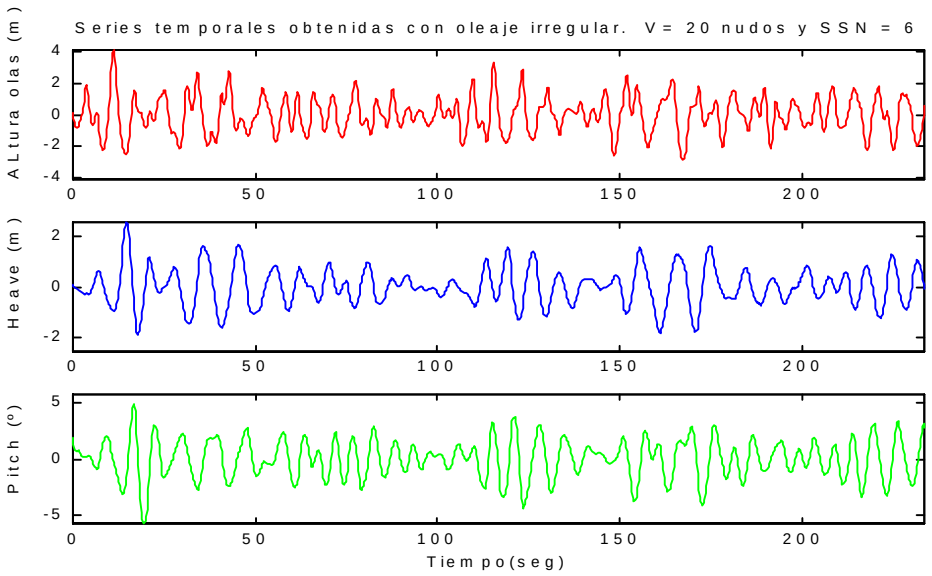


Figura 3.7 : Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 20 nudos y estado de la mar 6.

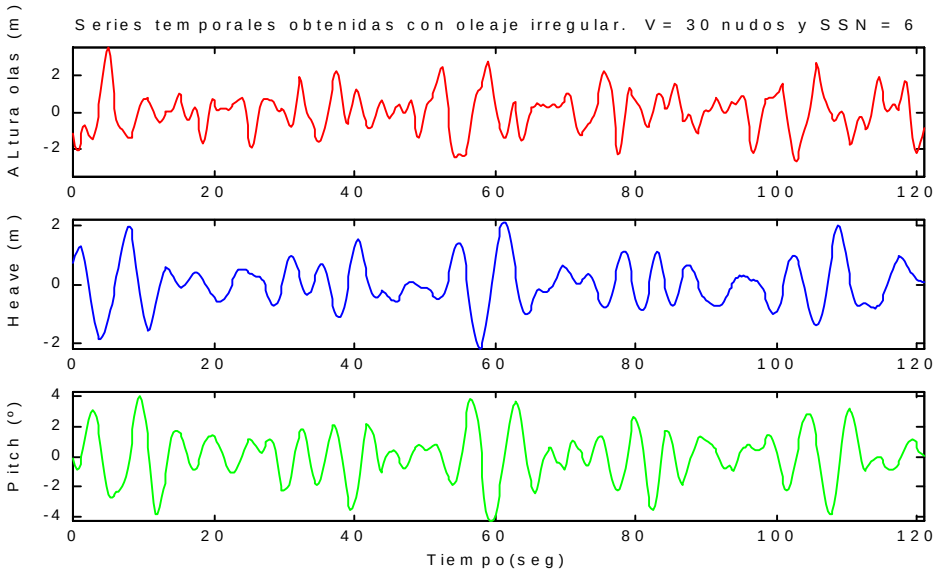


Figura 3.8 : Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 30 nudos y estado de la mar 6.

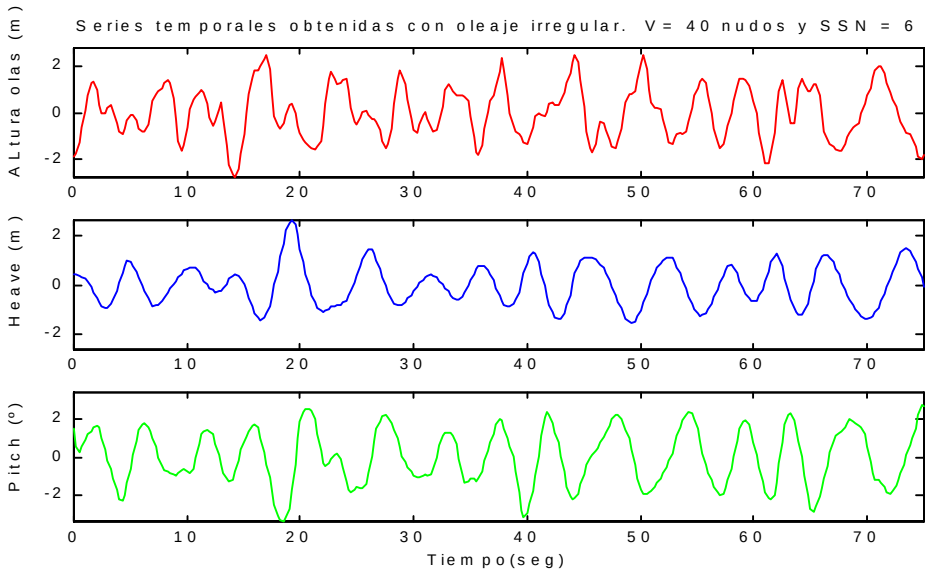


Figura 3.9 : Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 40 nudos y estado de la mar 6.

3.2.1 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES OBTENIDAS CON OLEAJE REGULAR

Las series temporales de altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch obtenidas con oleaje regular, se pueden utilizar o bien en el proceso de validación de modelos ya obtenidos, o bien para obtener puntos de amplitud y de fase a diferentes frecuencias para la posterior identificación de modelos en el dominio de la frecuencia.

En el caso de utilizar las series temporales obtenidas con oleaje regular para obtener puntos de amplitud y de fase a diferentes frecuencias, surge un problema, las series temporales no se componen de un único armónico a pesar de denominarse por el adjetivo "regulares", sino que poseen, al menos, tres armónicos. Una buena solución a este problema es ajustar la serie temporal con una señal compuesta de tres cosenos y aproximar la serie temporal por una señal coseno con la amplitud y la fase del armónico principal. El mecanismo de ajuste a tres cosenos se explica en el apéndice B.

En las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3 se muestran la amplitud y la fase del armónico principal de las series temporales, obtenidas tras realizar el ajuste a una señal suma de tres cosenos.

Tabla 3.1 : Amplitud y fase del armónico principal para V=20 nudos

	Altura de las olas			**Pitch**			**Heave**		
Ensayo	**A(m)**	**ϕ(º)**	**e2m[1]**	**A(º)**	**ϕ(º)**	**e2m**	**A(m)**	**ϕ(º)**	**e2m**
17	0.805	305.37	0.2004	0.119	82.71	0.0085	0.047	192.25	0.0014
18	1.091	341.79	0.1042	0.483	142.4	0.0390	0.157	334.07	0.0041
19	1.231	19.75	0.2571	1.119	224.77	0.2465	0.278	33.35	0.0190
20	1.402	11.82	0.3948	1.916	265.46	0.7166	0.463	57.67	0.0463
21	1.581	8.32	0.0538	2.717	-51.24	0.1516	0.635	86.48	0.0148
22	1.805	348.99	0.2060	3.419	-32.73	0.7744	0.790	93.78	0.0462
23	1.991	322.13	0.2957	3.934	336.45	1.1039	0.967	90.65	0.0653
24	2.044	285.83	0.2429	3.939	-30.14	0.9104	1.107	71.64	0.0795
25	2.525	356.32	0.4701	4.395	84.67	1.4460	1.754	175.33	0.2516
26	3.022	364.62	0.3431	4.653	126.44	0.7348	2.448	213.81	0.2172
27	3.527	30.56	0.4307	4.762	176.63	0.7906	3.111	261.91	0.3333
28	4.022	0.29	1.2143	4.833	167.56	1.6511	3.697	252.61	0.9784
29	4.711	-11.44	2.7210	4.923	165.37	3.1307	4.393	249.83	2.5704
30	5.144	362	6.5972	4.851	189.61	6.6648	4.942	273.23	6.9345

[1] Error cuadrático medio $e2m = \frac{1}{N}\vec{E}^T \cdot \vec{E}$ donde N es el número de muestras y $\vec{E}$ es el vector error obtenido como la diferencia entre la señal medida y la señal estimada.

Tabla 3.2 : Amplitud y fase del armónico principal para V=30 nudos.

	Altura de las olas			Pitch			Heave		
Ensayo	**A(m)**	**ϕ(º)**	**e2m**	**A(º)**	**ϕ(º)**	**e2m**	**A(m)**	**ϕ(º)**	**e2m**
17	0.689	31.475	0.0358	0.050	165.23	0.0005	0.0235	259.364	0.0006
18	0.956	1.971	0.0186	0.228	126.78	0.0015	0.0562	318.035	0.0006
19	1.139	3.902	0.1199	0.644	176.2940	0.0406	0.161	323.485	0.0034
20	1.277	348.822	0.1417	1.239	205.959	0.1467	0.388	-12.605	0.0155
21	1.483	339.071	0.0199	2.012	240.545	0.1025	0.751	20.226	0.0091
22	1.698	356.558	0.1303	2.768	-63.923	0.5212	1.135	73.755	0.0600
23	1.923	349.774	0.1529	3.480	-35.959	0.4987	1.514	101.408	0.0913
24	2.141	2.274	0.1577	4.061	10.385	0.6085	1.719	144.913	0.1054
25	2.544	28.867	0.1681	4.629	90.336	1.1146	1.898	211.223	0.1228
26	2.954	351.479	0.1223	4.705	94.4	0.5566	2.310	201.657	0.0723
27	3.506	337.940	0.5363	4.793	106.515	1.1856	2.964	208.563	0.4037
28	4.068	352.097	1.0676	4.869	138.974	2.4789	3.631	240.511	0.7852
29	4.708	2.925	2.4210	4.9613	166.178	2.6341	4.377	264.534	2.0639
30	5.233	334.795	4.0601	4.956	151.361	3.9023	5.044	248.435	3.7982

Tabla 3 : Amplitud y fase del armónico principal para V=40 nudos.

	Altura de las olas			Pitch			Heave		
Ensayo	**A(m)**	**ϕ(º)**	**e2m**	**A(º)**	**ϕ(º)**	**e2m**	**A(m)**	**ϕ(º)**	**e2m**
17	0.712	-17.649	0.0679	0.069	157.477	0.0016	0.017	275.651	0.0006
18	1.012	1.823	0.0628	0.067	134.118	0.0071	0.031	62.962	0.0024
19	1.180	-28.54	0.1414	0.309	151.416	0.0139	0.035	253.318	0.0020
20	1.291	341.271	0.1087	0.734	208.136	0.0452	0.197	313.569	0.0055
21	1.494	299.807	0.0569	1.339	200.91	0.0849	0.53	310.982	0.0158
22	1.699	321.606	0.1468	2.014	260.882	0.2399	0.961	11.015	0.0621
23	1.879	-17.301	0.1872	2.682	314.071	0.4594	1.453	65.408	0.1596
24	1.820	349.738	0.0734	2.972	359.053	0.1974	1.651	117.995	0.0514
25	2.186	14.537	0.1215	3.786	76.142	0.3556	2.169	192.341	0.1136
26	3.108	343.23	0.0867	4.716	82.561	0.3332	2.804	192.346	0.0938
27	3.637	7.094	0.1875	4.915	139.235	0.3370	3.233	239.782	0.1595
28	4.221	-10.148	0.3248	4.996	142.136	0.4317	3.831	236.278	0.3535
29	4.928	-9.494	0.9927	5.093	159.303	1.0894	4.593	250.193	1.2155
30	5.307	2.372	2.6558	4.928	185.164	1.9248	4.910	-84.298	2.4894

En las Figuras 3.10 a 3.51 se muestran la comparación entre las series temporales de altura de olas, movimiento de pitch y movimiento de heave obtenidas con oleaje regular y las señales coseno a con las que han sido aproximadas tomando la amplitud y la fase del armónico principal correspondiente. Indicar que las series aquí mostradas son las almacenadas en el archivo **dat_olreg_sinten.mat** que recuérdese tienen ya las tendencias y las medias eliminadas. Además para una mejor visualización solamente se muestran los primeros 40 segundos de cada serie.

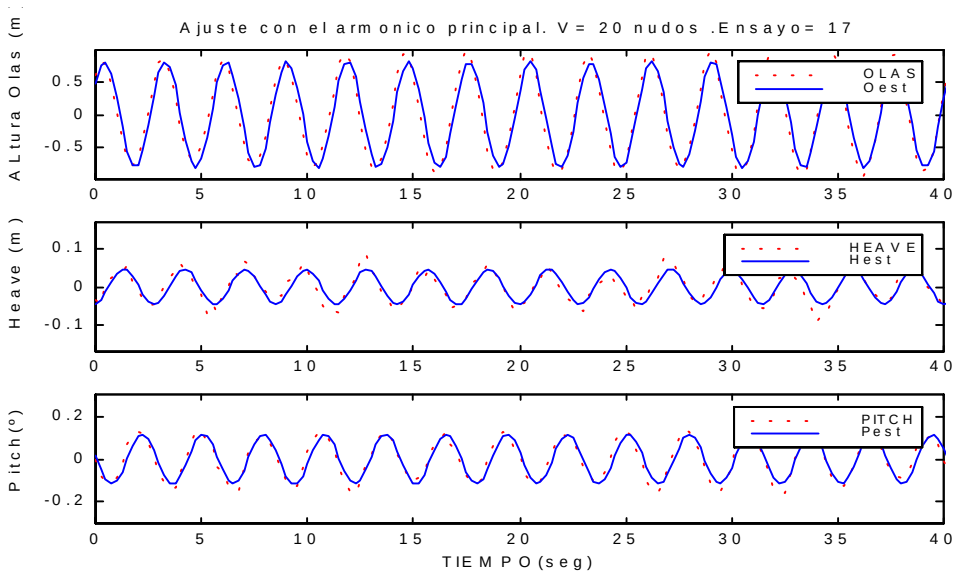


Figura 3.10 : Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 17.

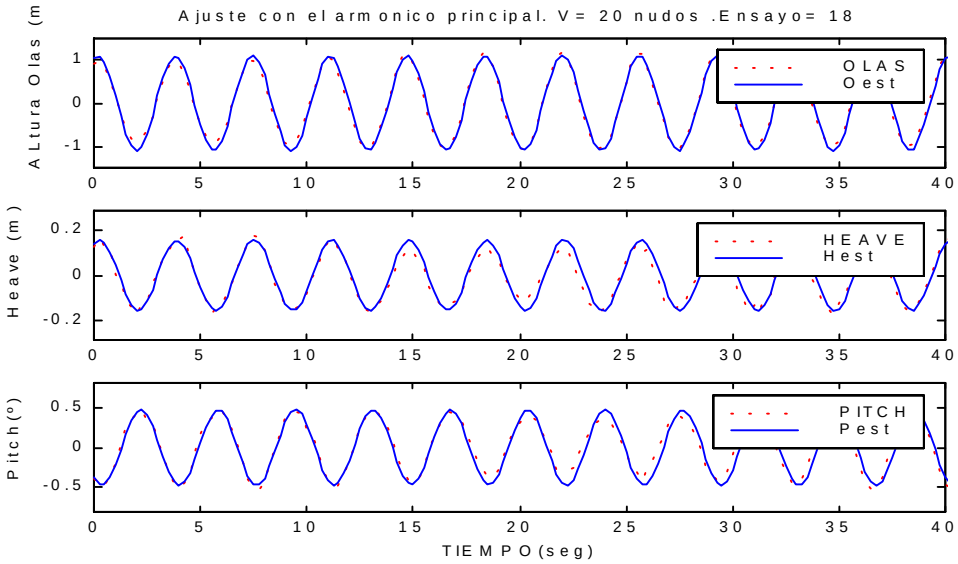


Figura 3.11: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 18.

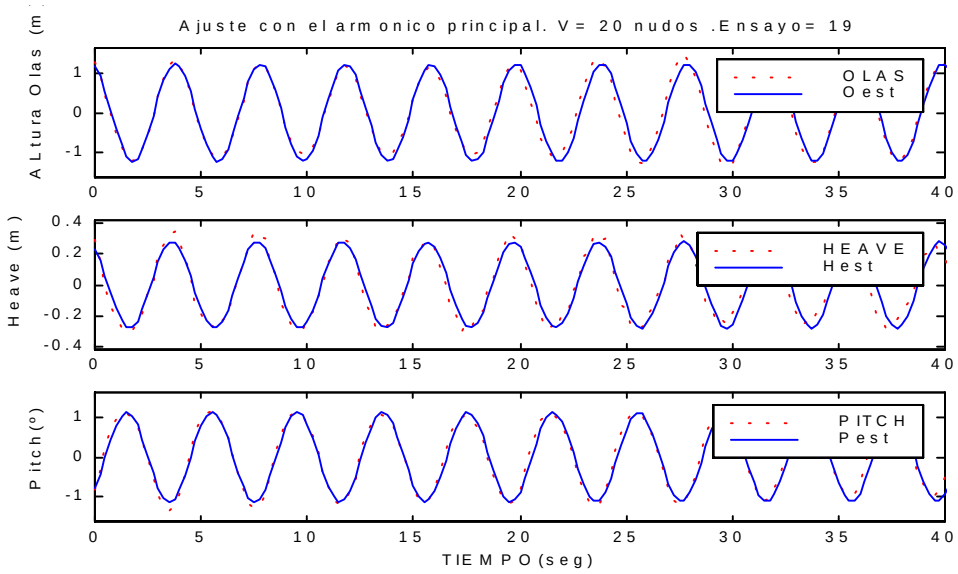


Figura 3.12: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 19.

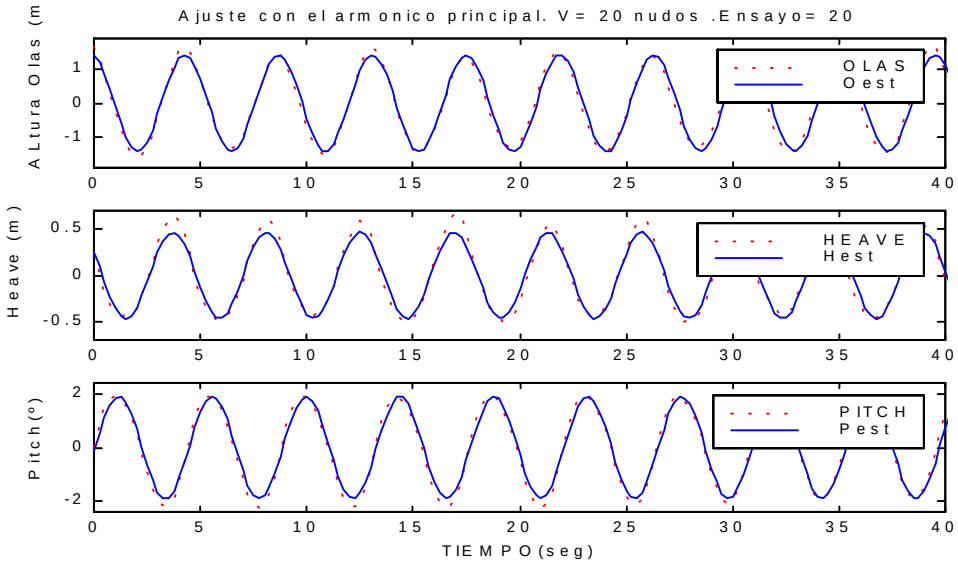


Figura 3.13: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 20.

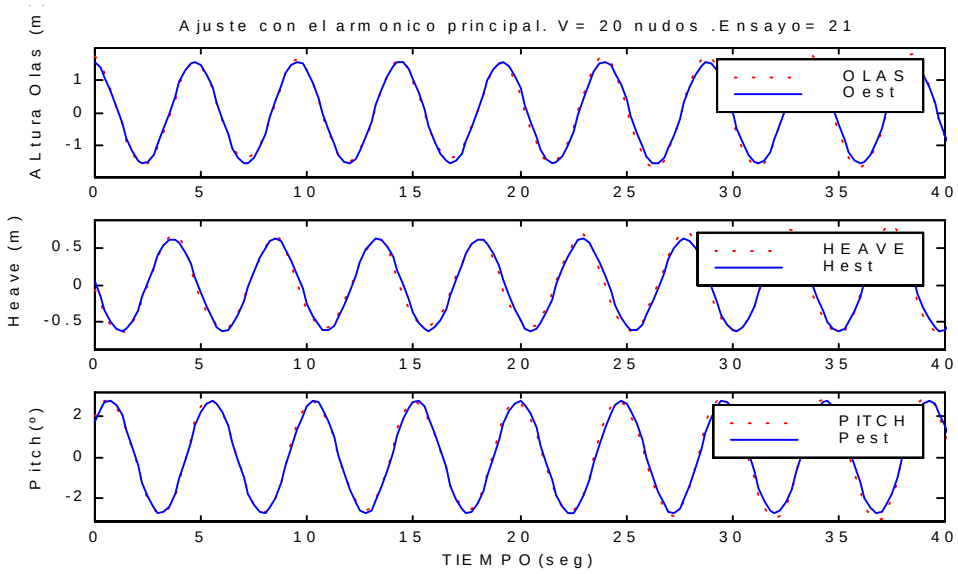


Figura 3.14: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 21.

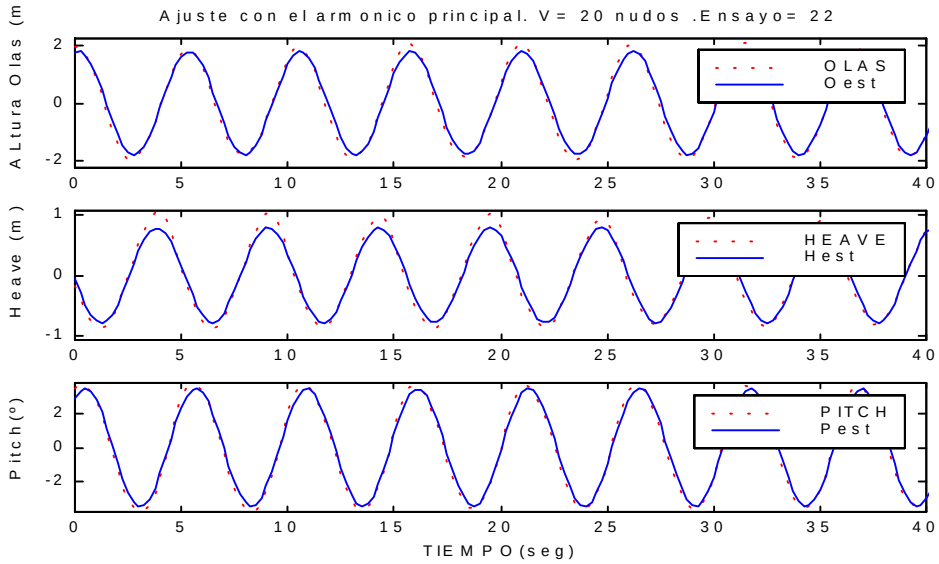


Figura 3.15: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 22.

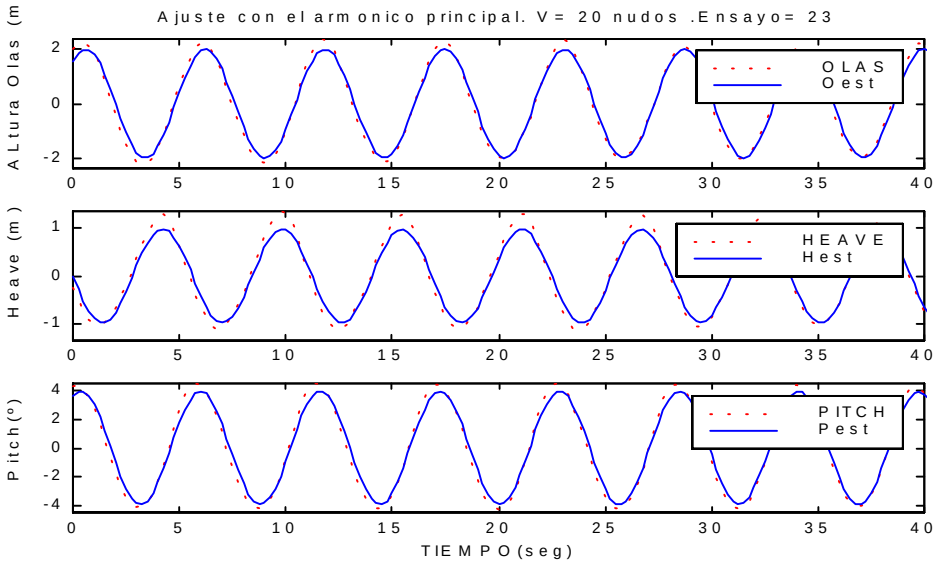


Figura 3.16: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 23.

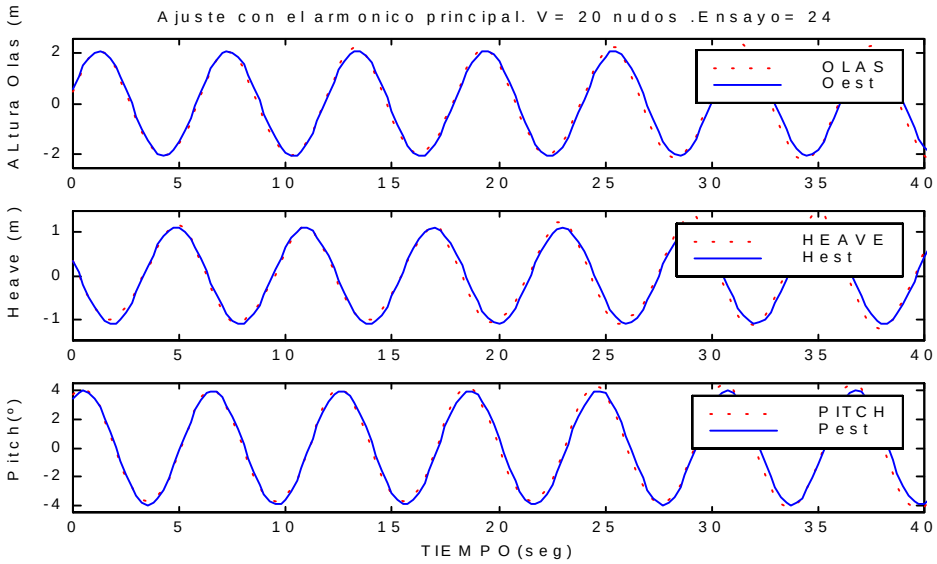


Figura 3.17: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 24.

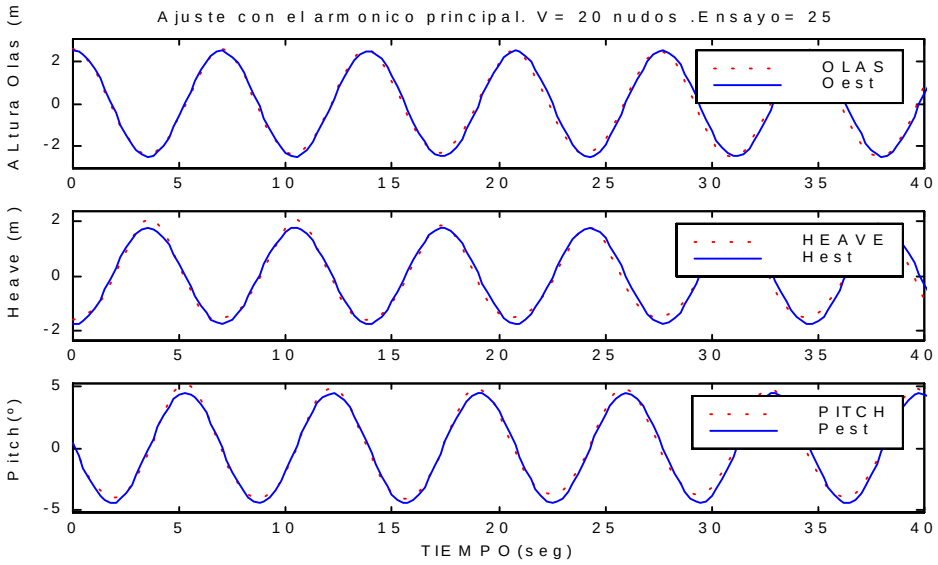


Figura 3.18: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 25.

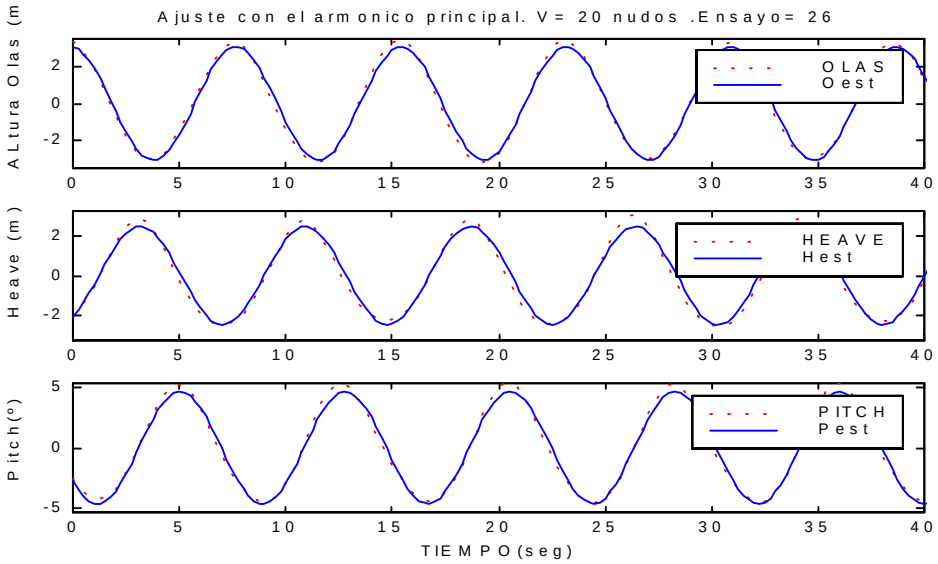


Figura 3.19: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 26.

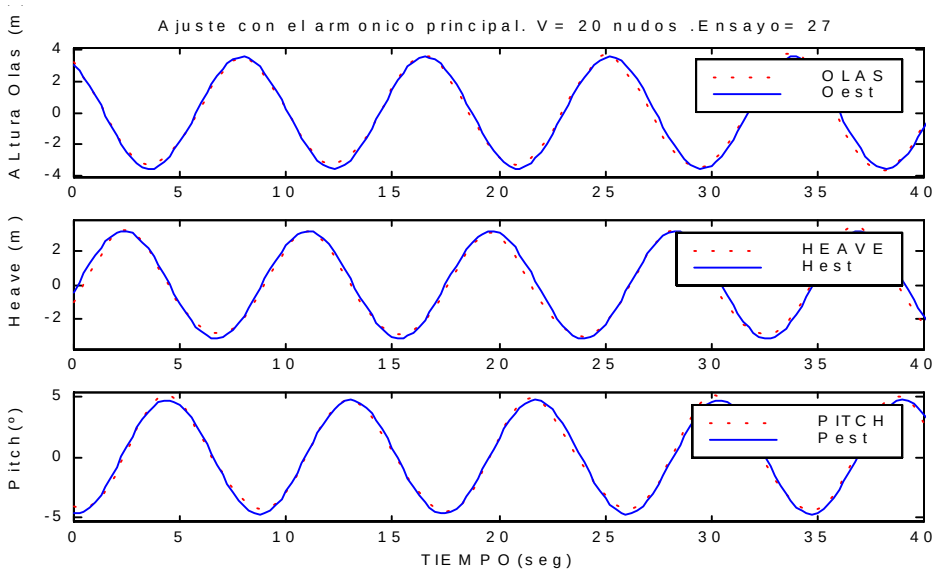


Figura 3.20: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 27.

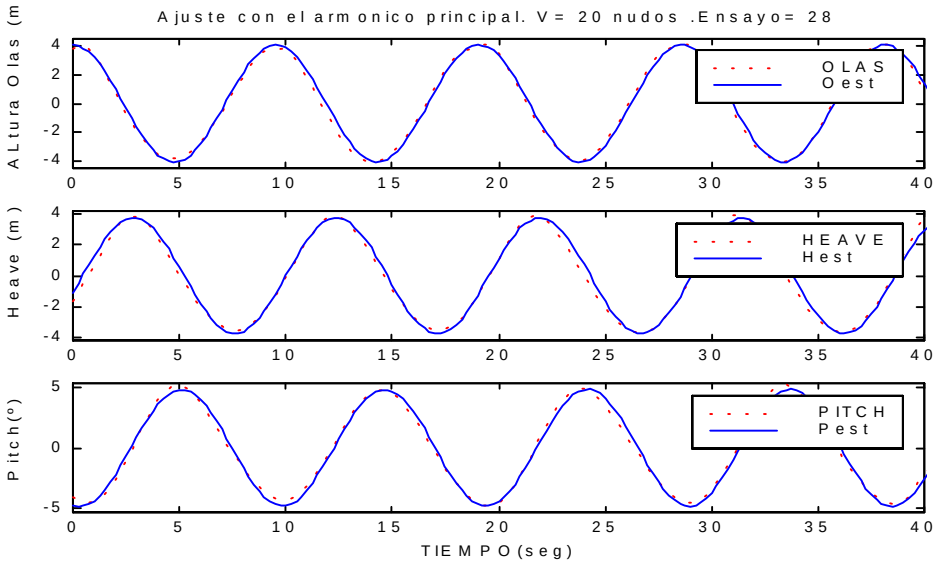


Figura 3.21: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 28.

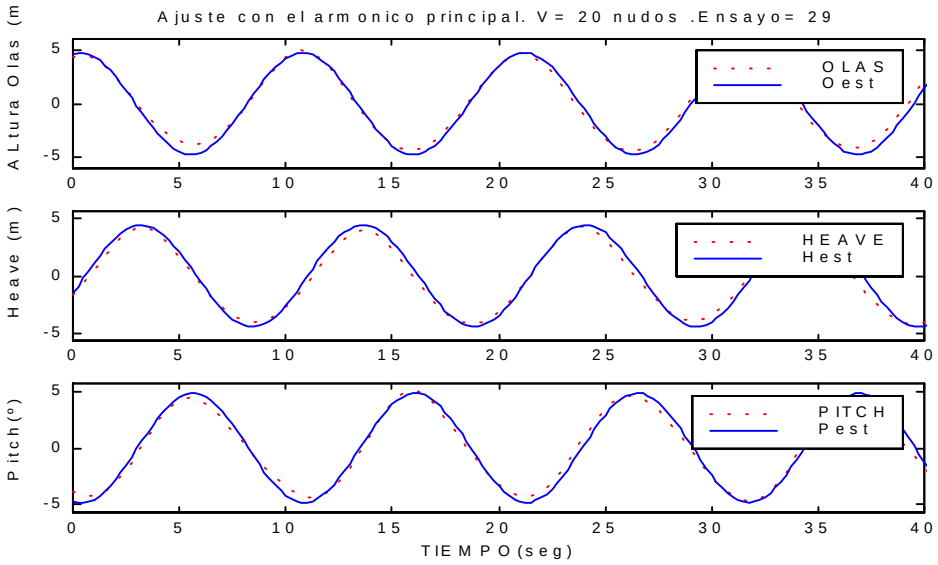


Figura 3.22: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 29.

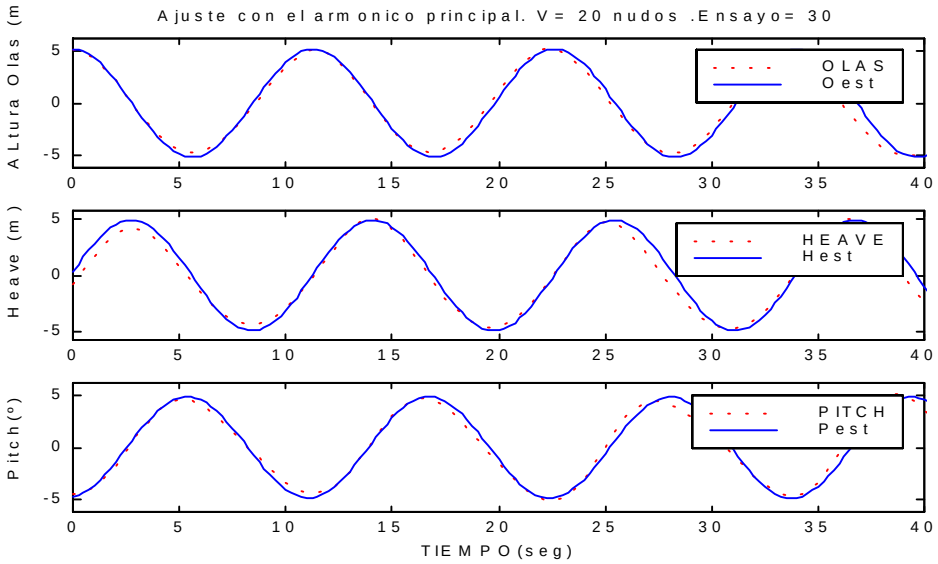


Figura 3.23: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 30.

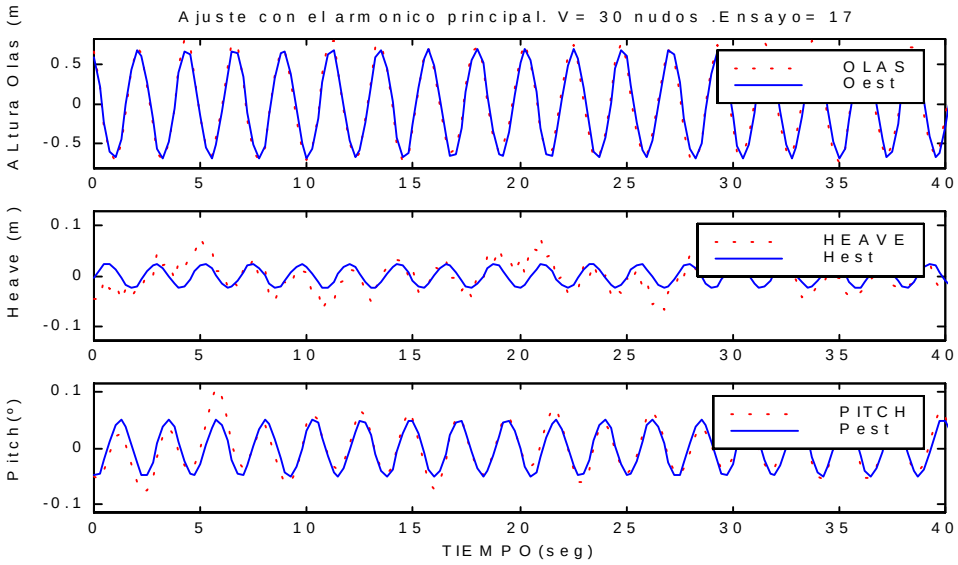


Figura 3.24: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 17.

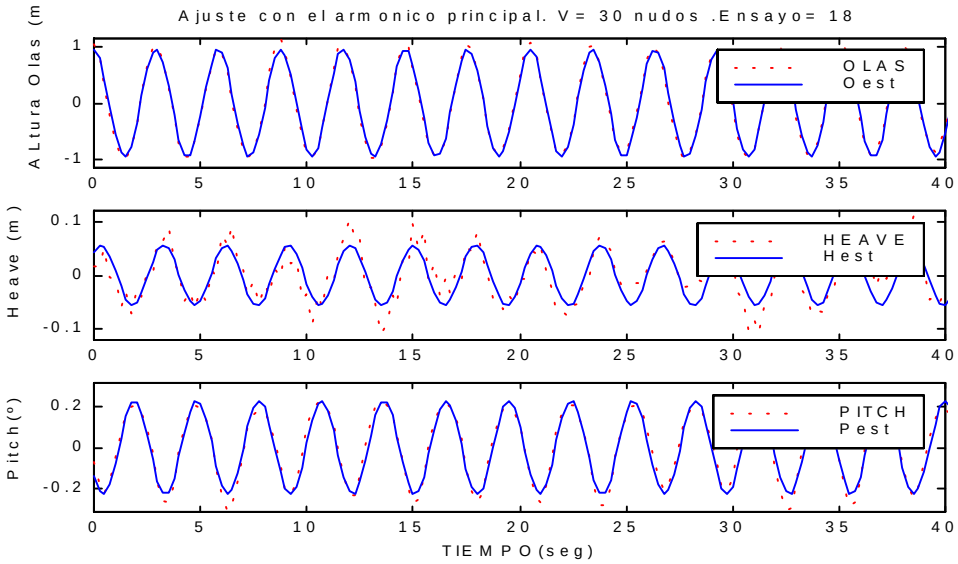


Figura 3.25: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 18.

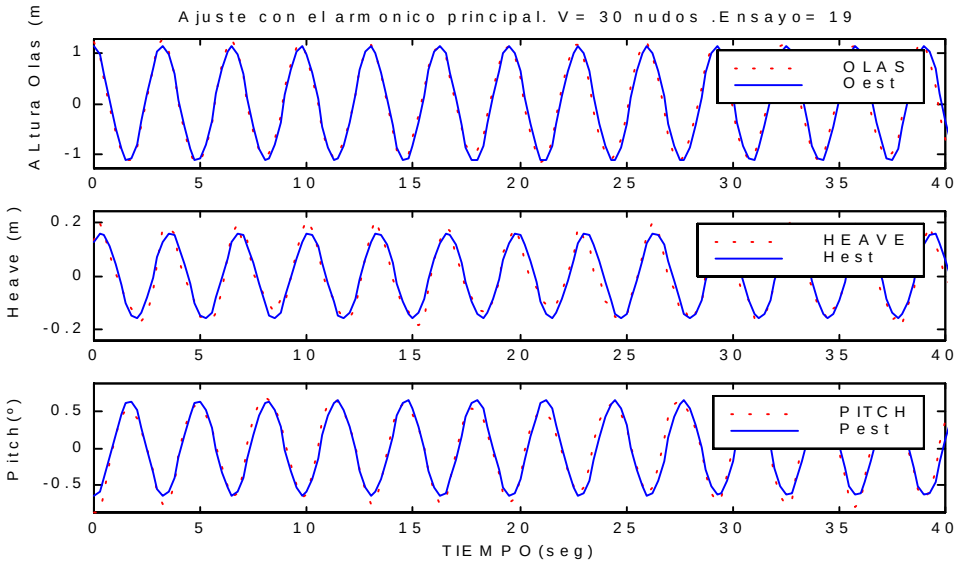


Figura 3.26: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 19.

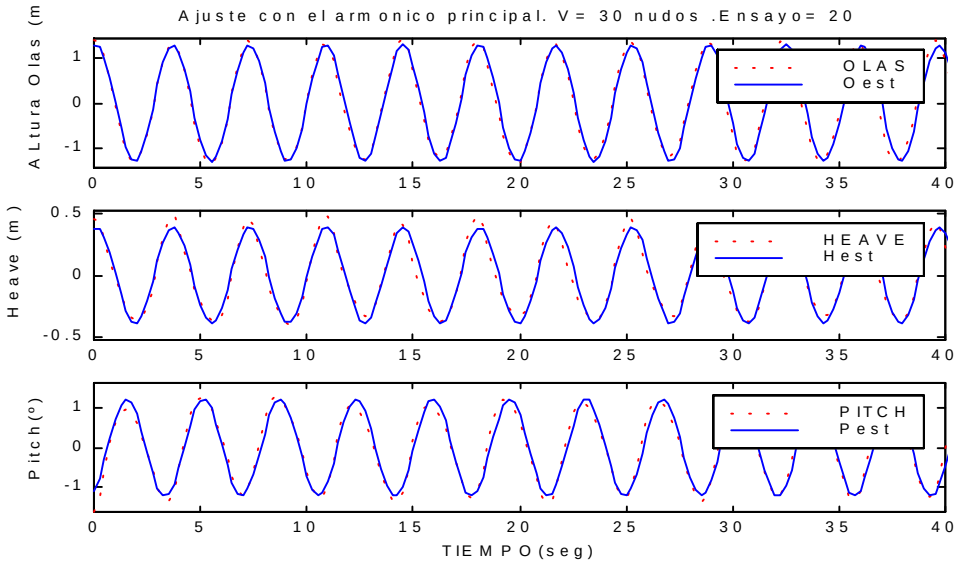


Figura 3.27: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 20.

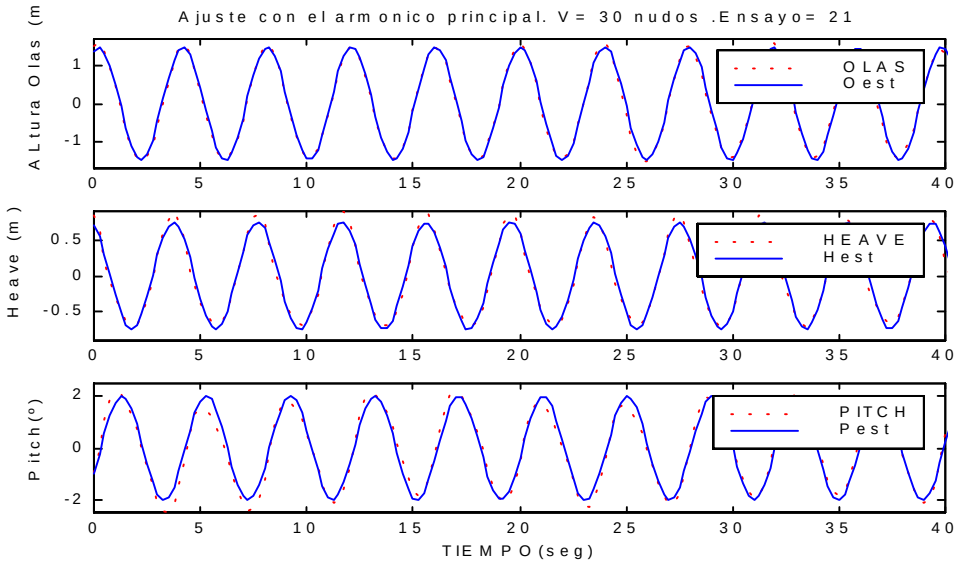


Figura 3.28: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 21.

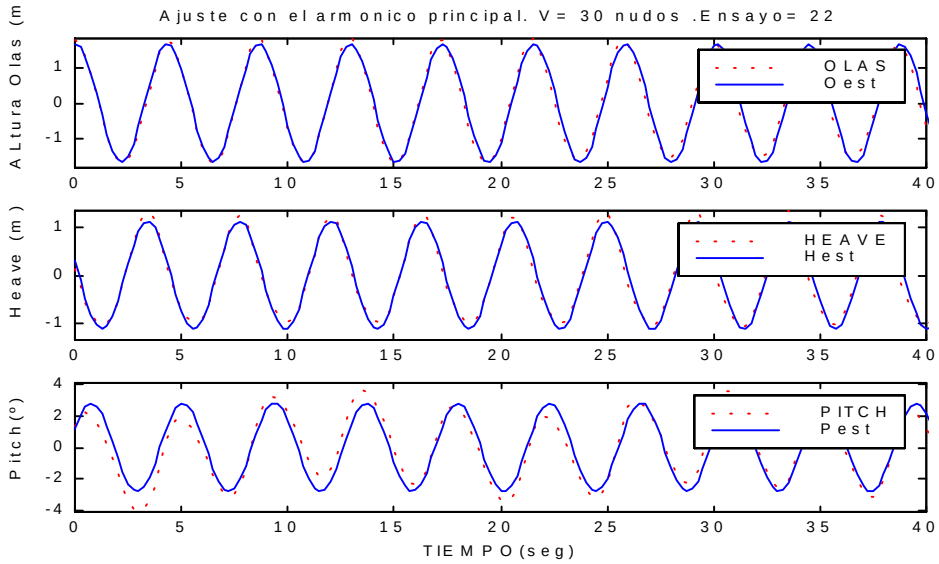


Figura 3.29 : Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 22.

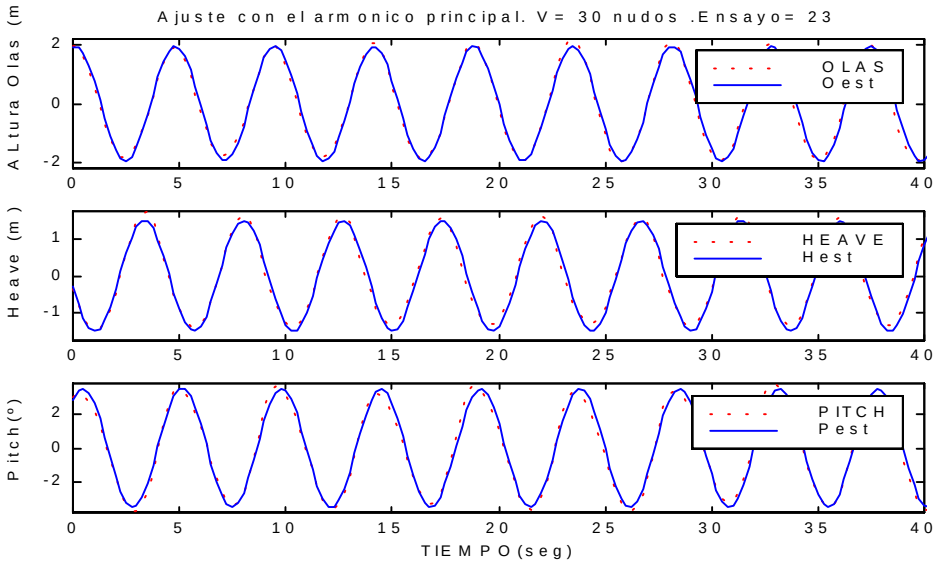


Figura 3.30 : Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 23.

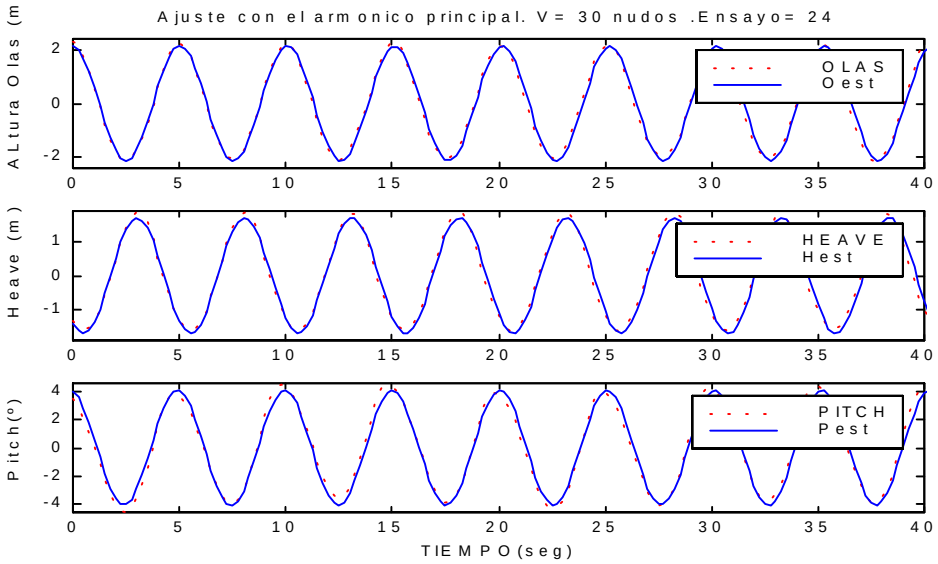


Figura 3.31: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 24.

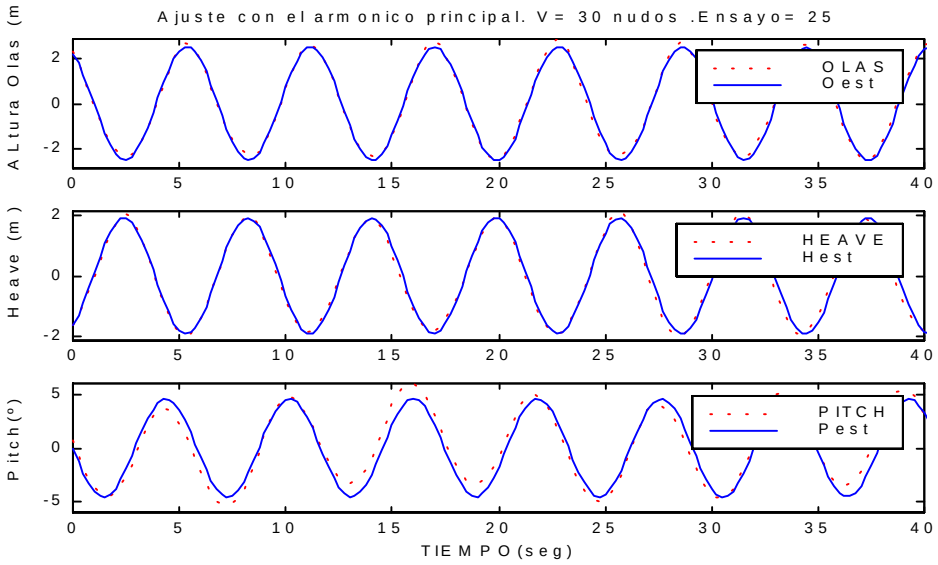


Figura 3.32: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 25.

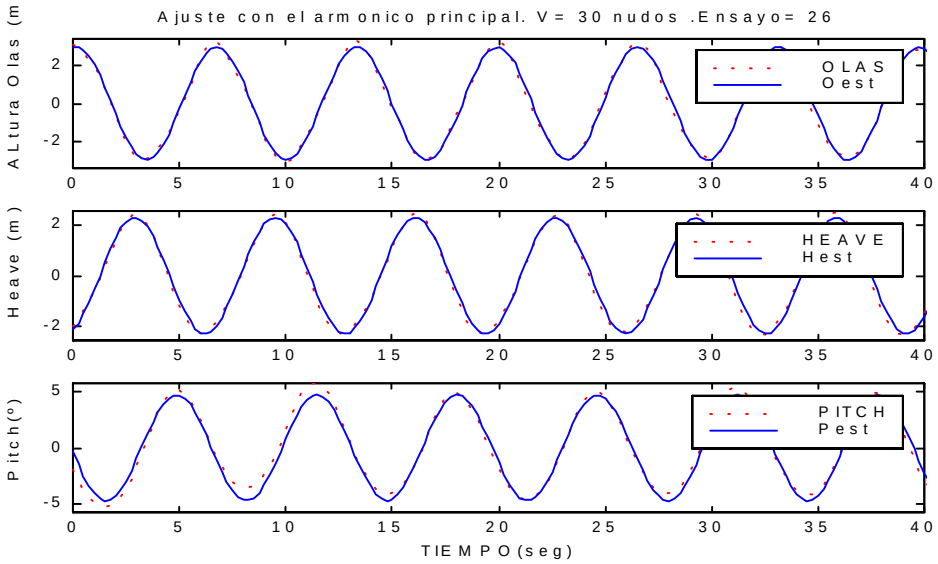


Figura 3.33: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 26.

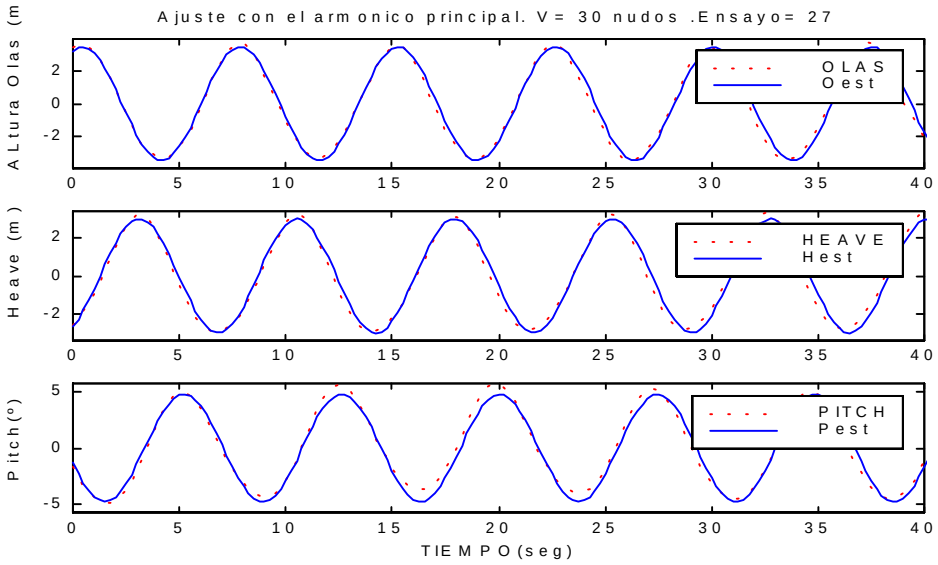


Figura 3.34: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 27.

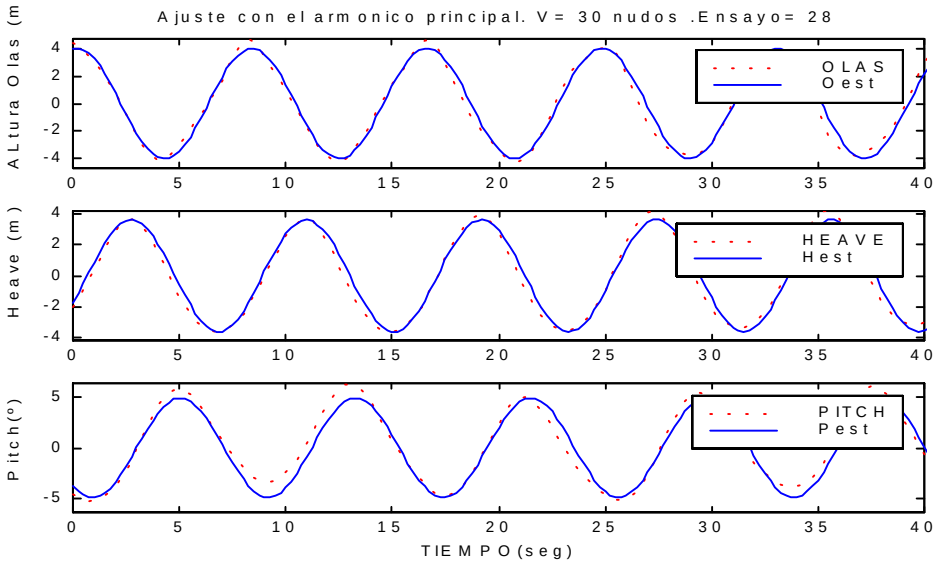


Figura 3.35: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 28.

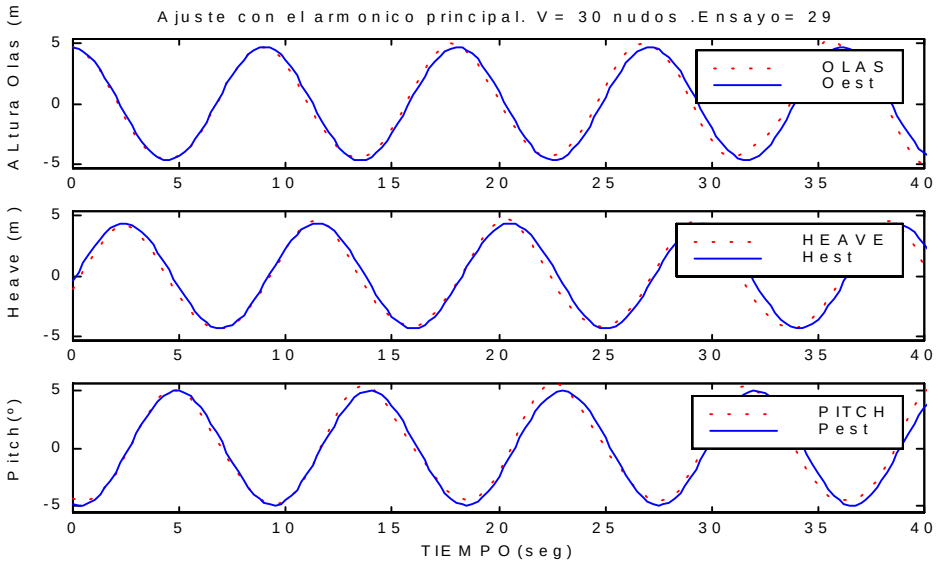


Figura 3.36: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 29.

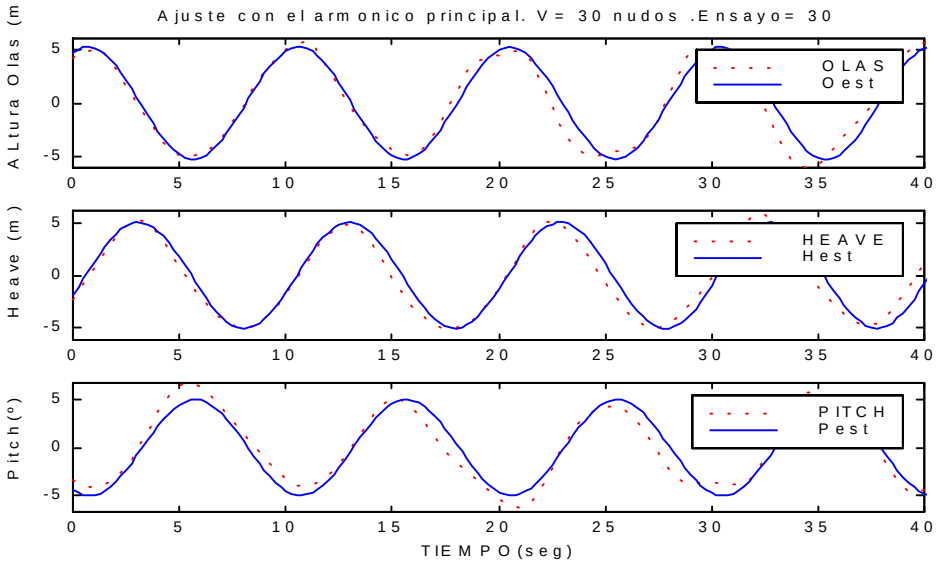


Figura 3.37: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 30.

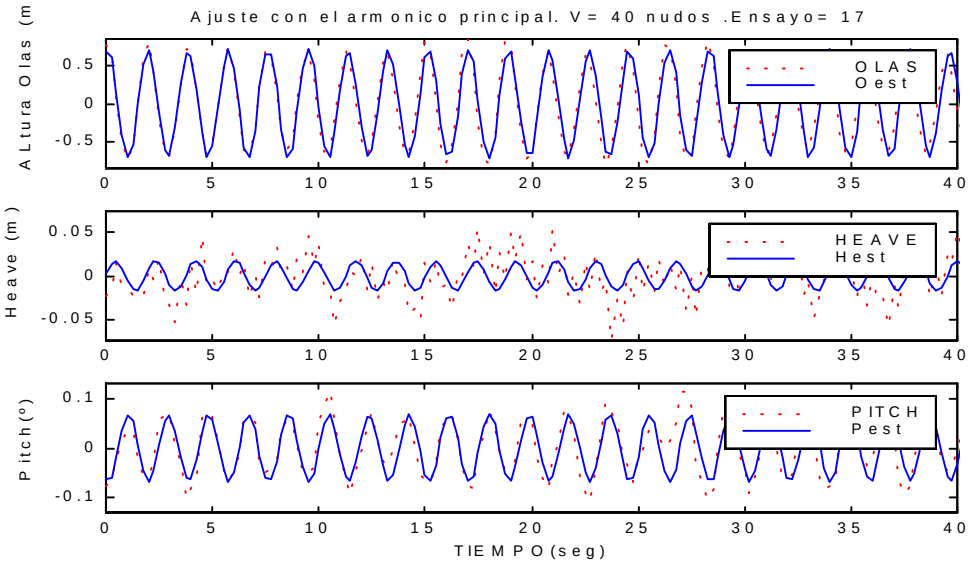


Figura 3.38: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 17.

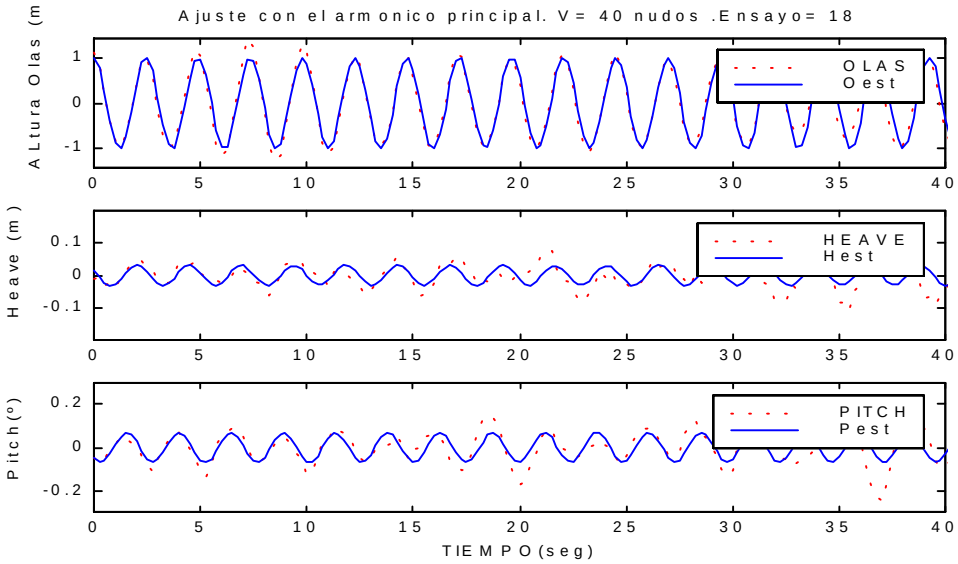


Figura 3.39: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 18.

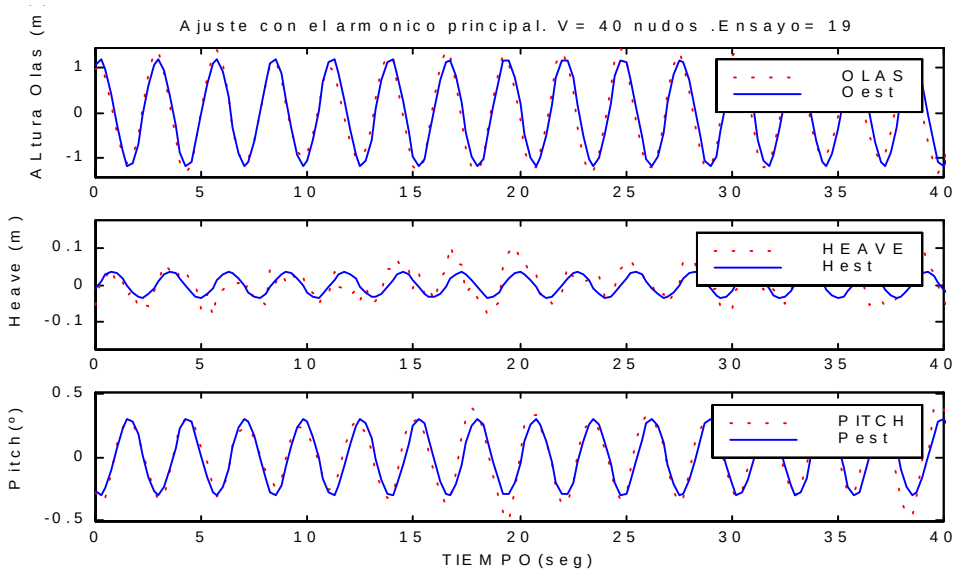


Figura 3.40: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 19.

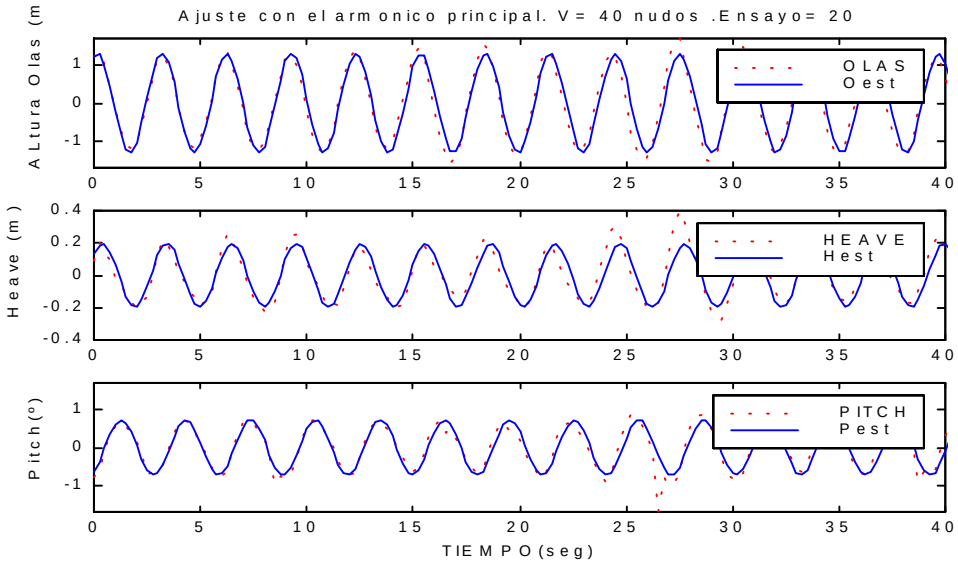


Figura 3.41: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 20.

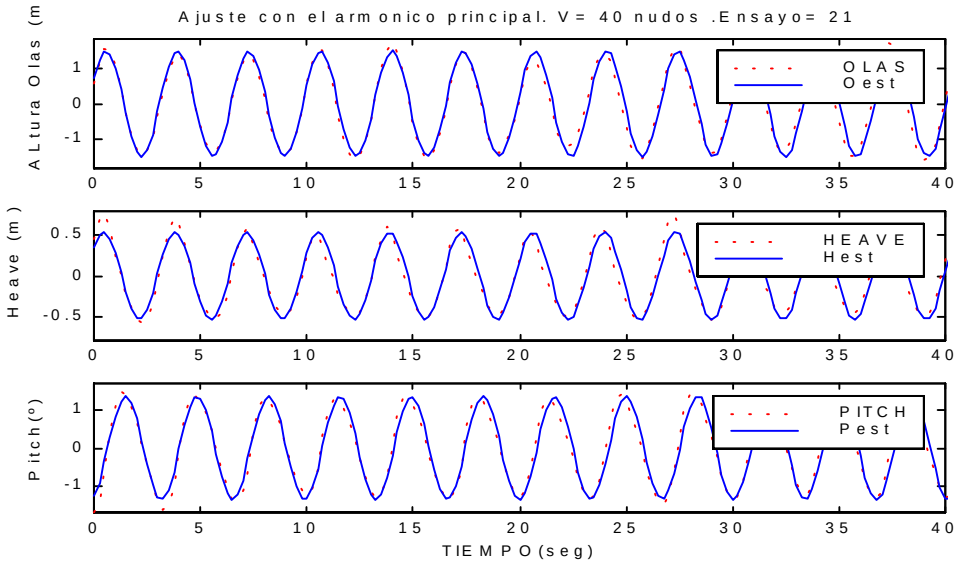


Figura 3.42: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 21.

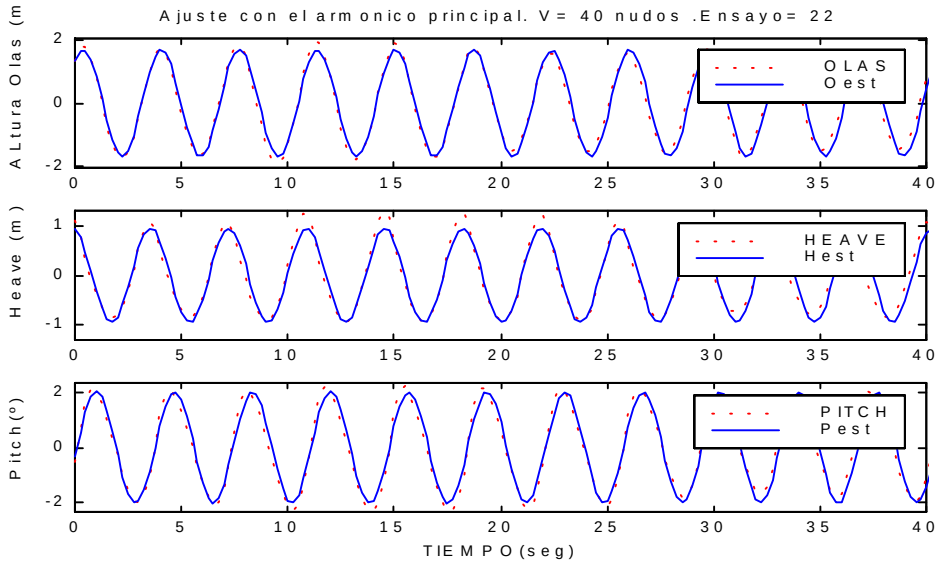


Figura 3.43: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 22.

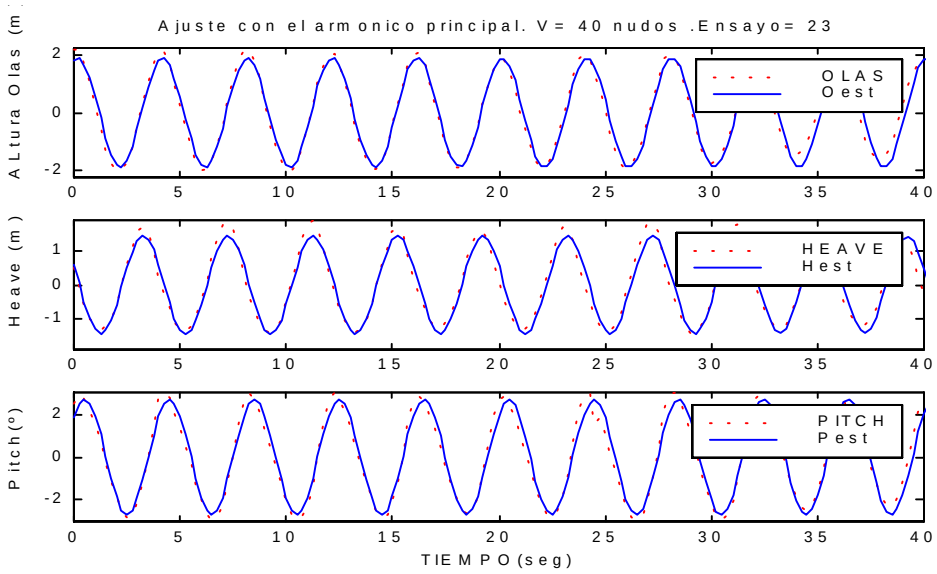


Figura 3.44: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 23.

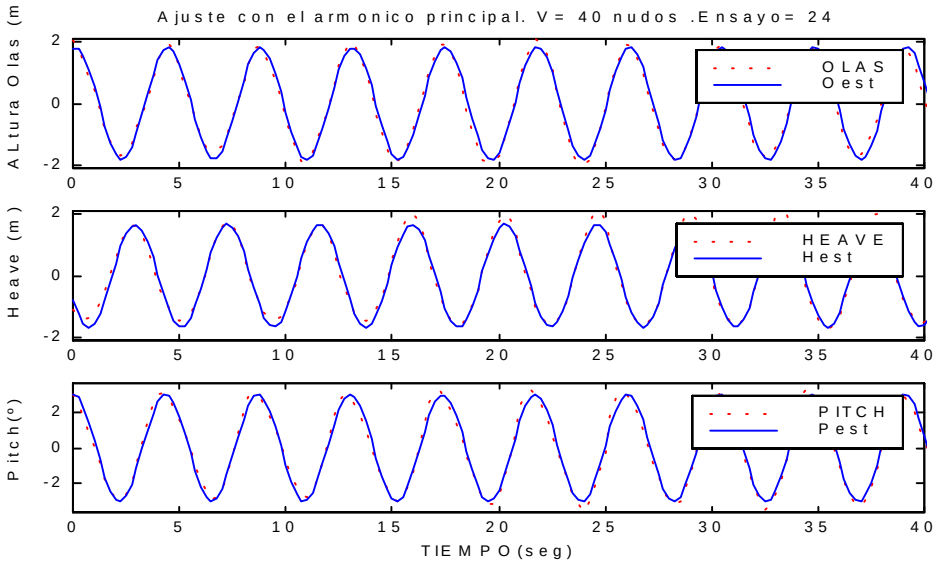


Figura 3.45: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 24.

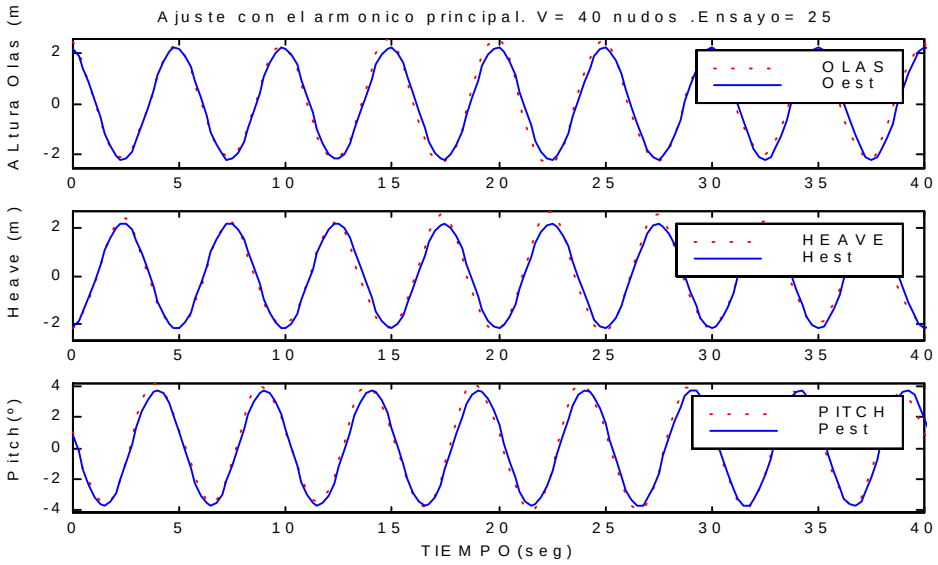


Figura 3.46: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 25.

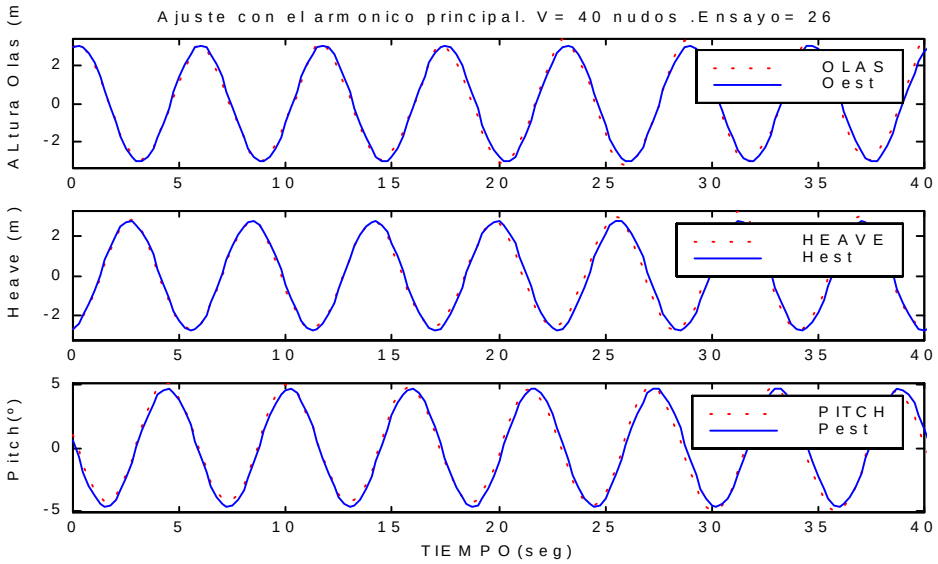


Figura 3.47: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 26.

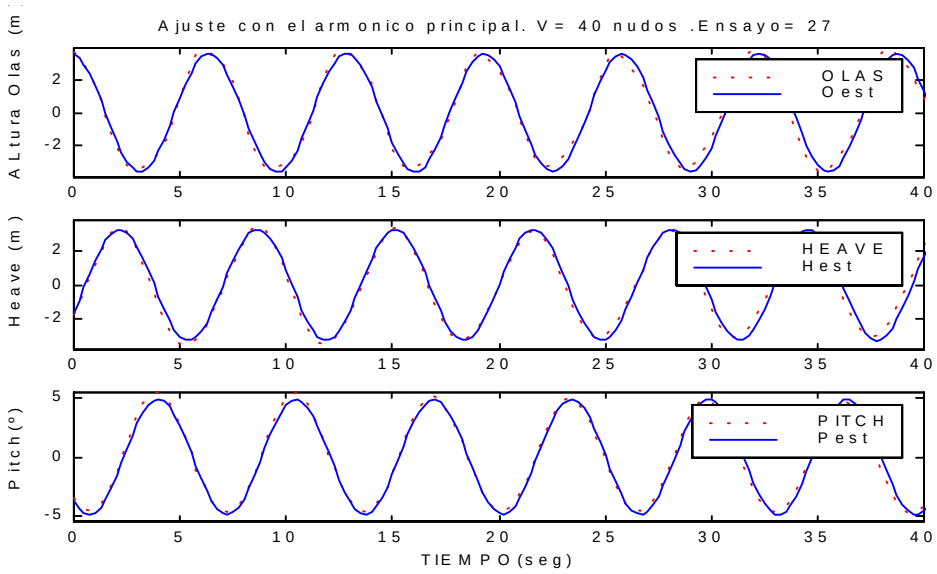


Figura 3.48: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 27.

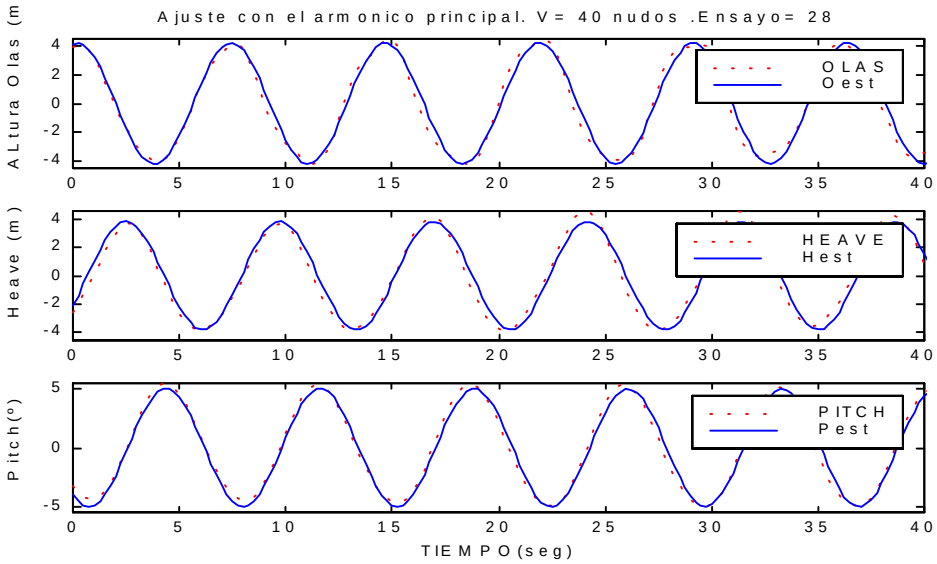


Figura 3.49: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 28.

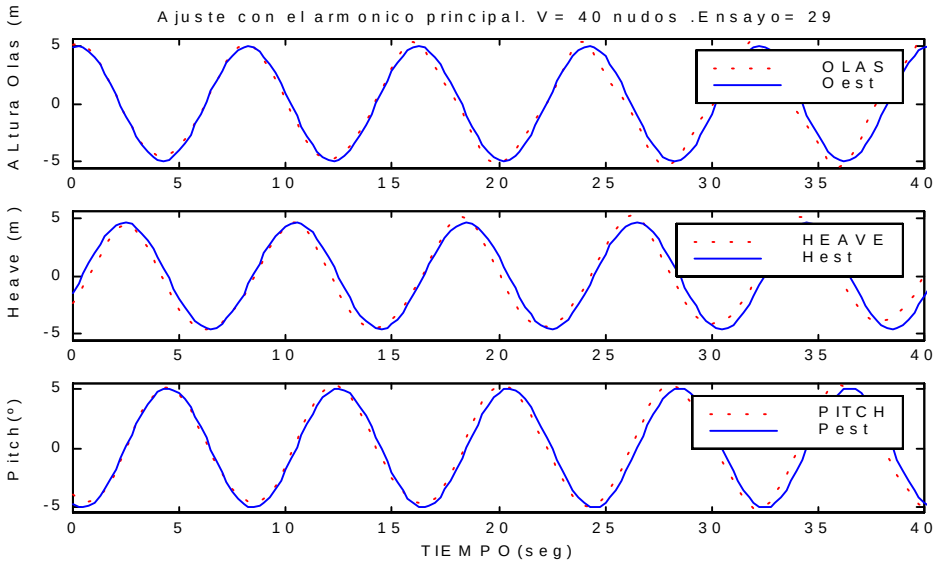


Figura 3.50: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 29.

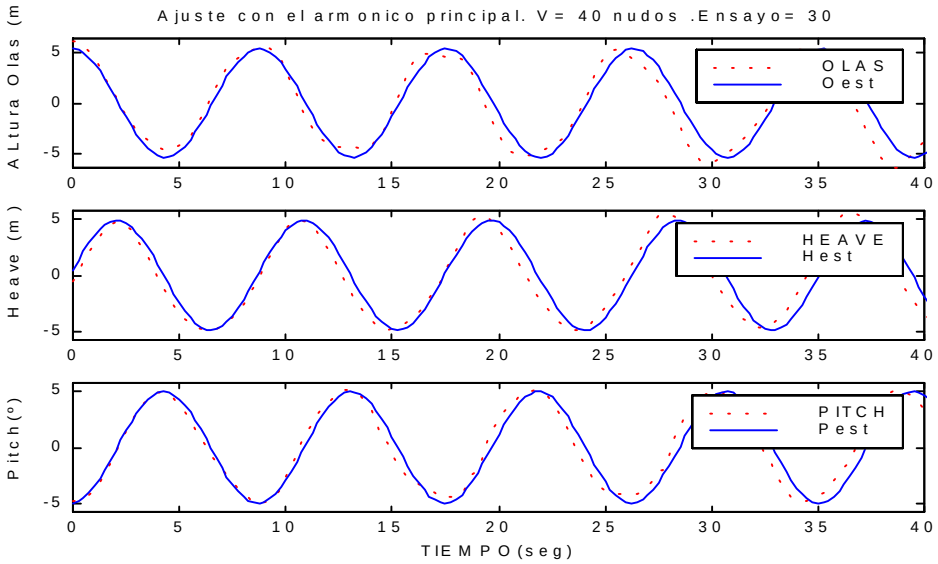


Figura 3.51: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 30.

3.3 GRAFICAS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.

Las gráficas que se muestran en esta sección son obtenidas utilizando las series temporales de altura de ola, movimiento heave y movimiento pitch obtenidas con oleaje irregular con las medias y tendencias eliminadas, que se encuentran almacenadas en el archivo **mode_sin_tend.mat.**

3.3.1 COMPARACION DE LOS ESPECTROS DE OLEAJE IRREGULAR.

En la Figura 3.52 y 3.53 se muestra el espectro del oleaje irregular para un mismo valor de estado de la mar y distintas velocidades y un mismo valor de la velocidad y distintos estados de la mar.

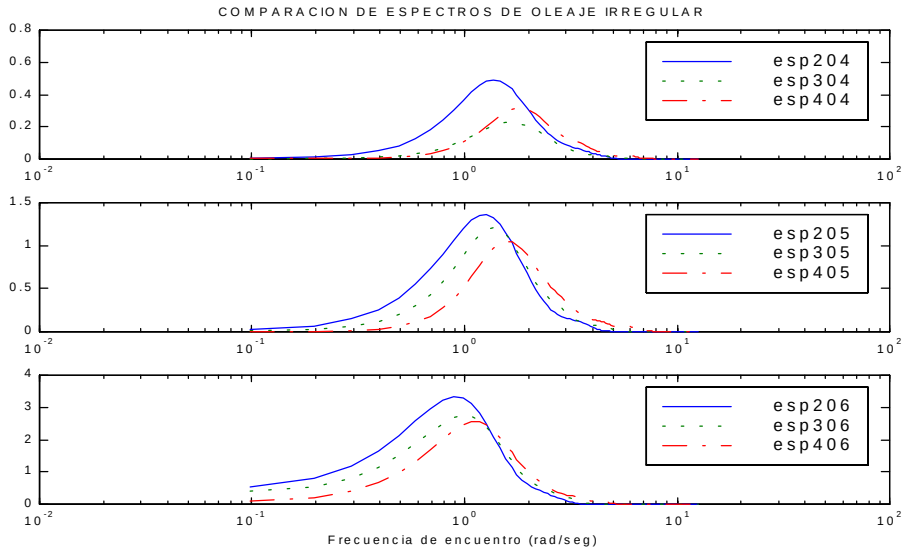


Figura 3.52: Espectro del oleaje irregular para un mismo valor de estado de la mar y velocidades 20, 30 y 40 nudos.

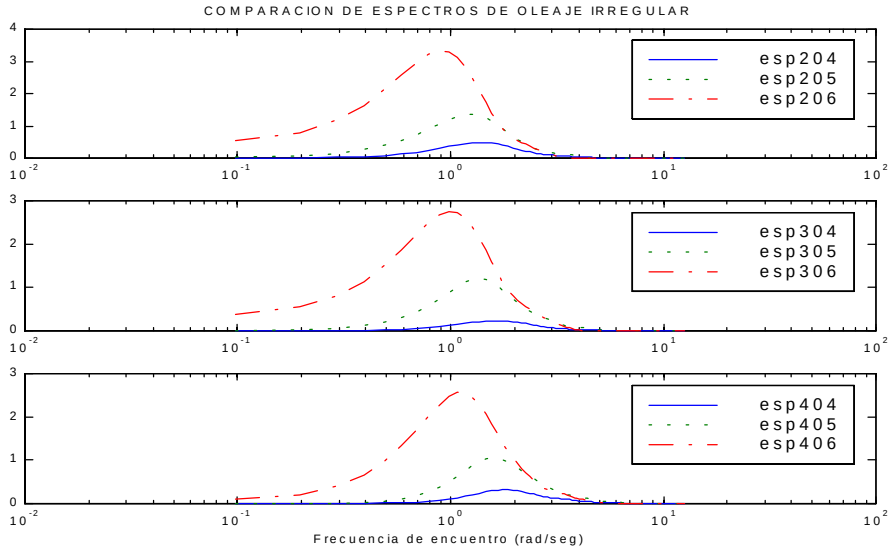


Figura 3.53: Espectro del oleaje irregular para un mismo valor de la velocidad y estados de la mar 4, 5 y 6.

3.3.2 ESPECTRO DE LAS SERIES TEMPORALES

En las Figuras 3.54 a 3.62 se muestran los espectros de las series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para los distintos ensayos realizados con oleaje irregular.

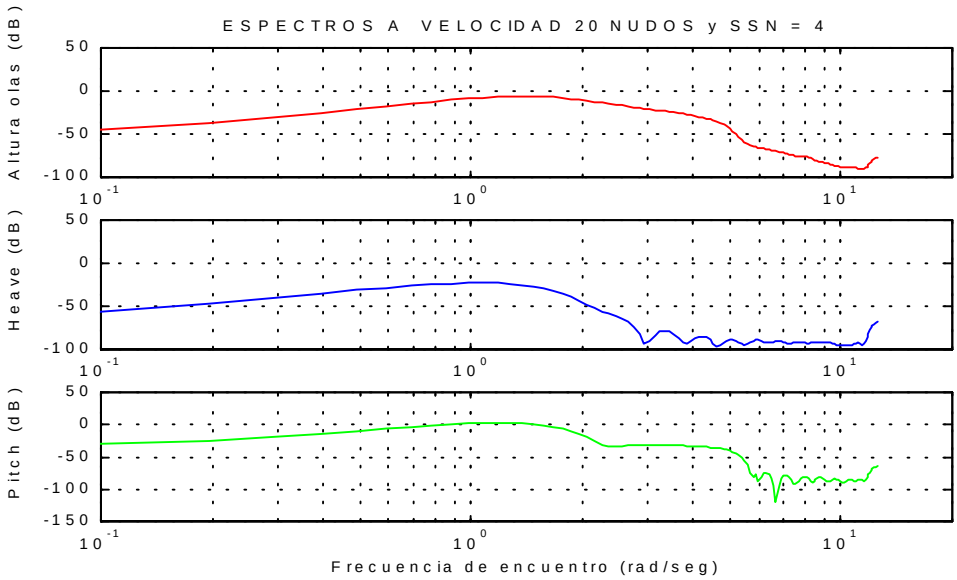


Figura 3.54: Espectros de las series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 20 nudos y estado de la mar 4.

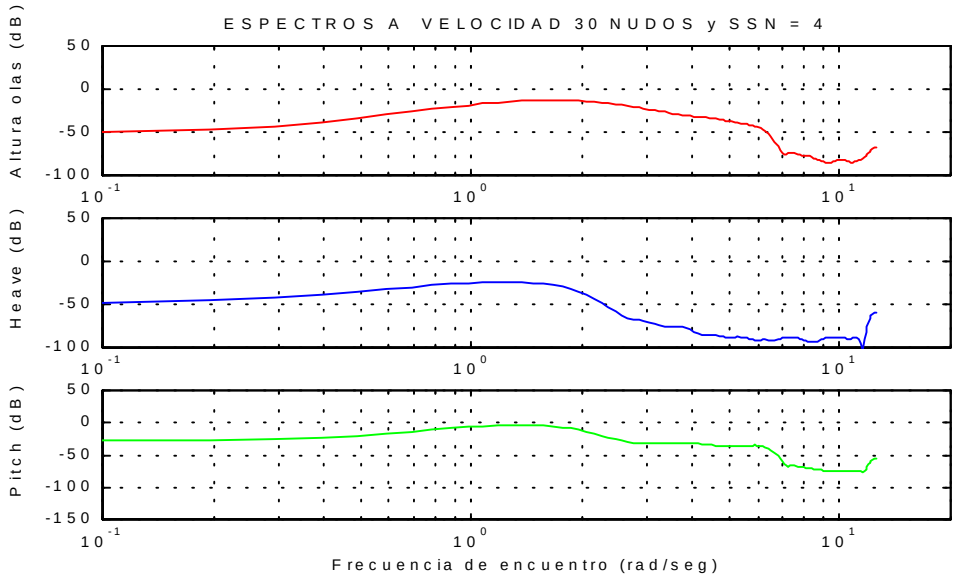


Figura 3.55: Espectros de las series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 30 nudos y estado de la mar 4.

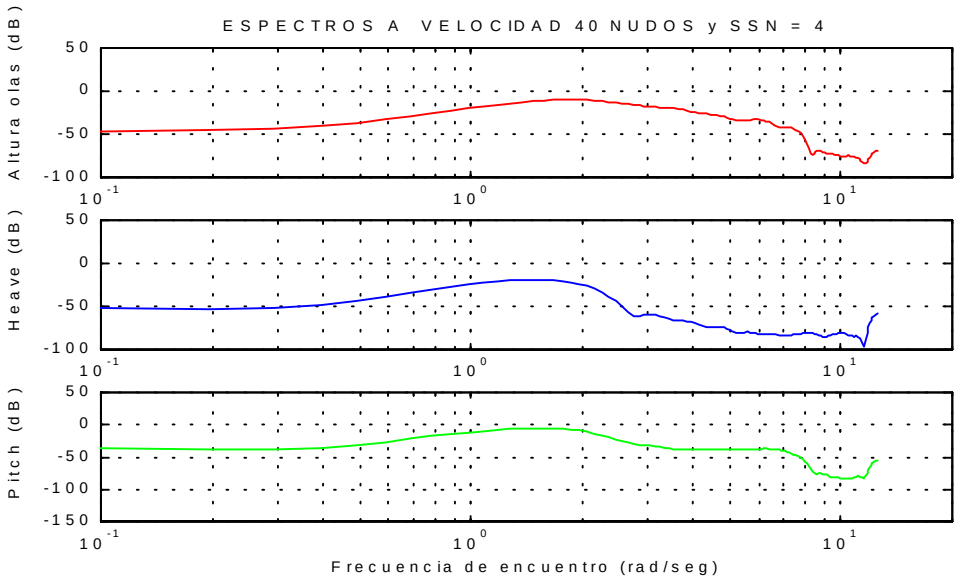


Figura 3.56: Espectros de las series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 40 nudos y estado de la mar 4.

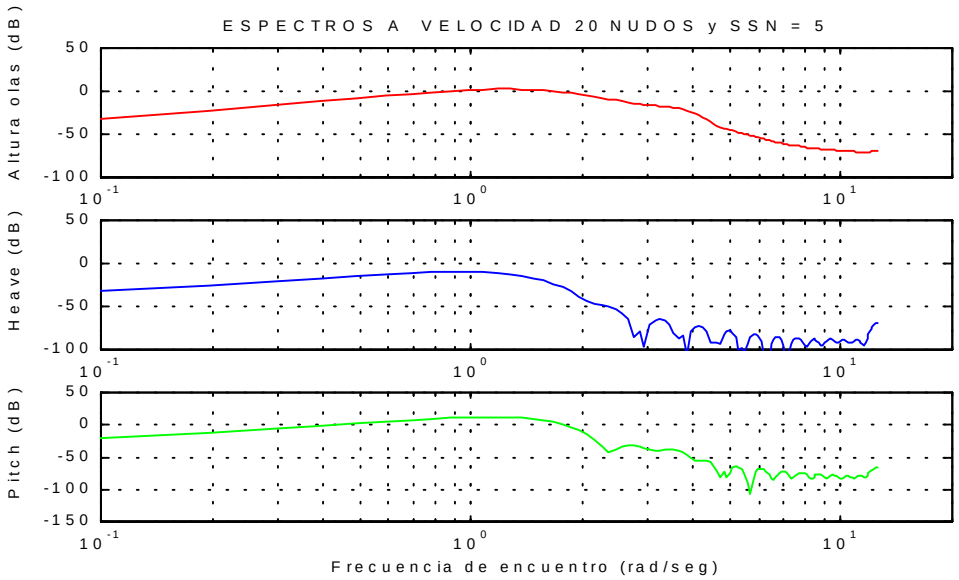


Figura 3.57: Espectros de las series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 20 nudos y estado de la mar 5.

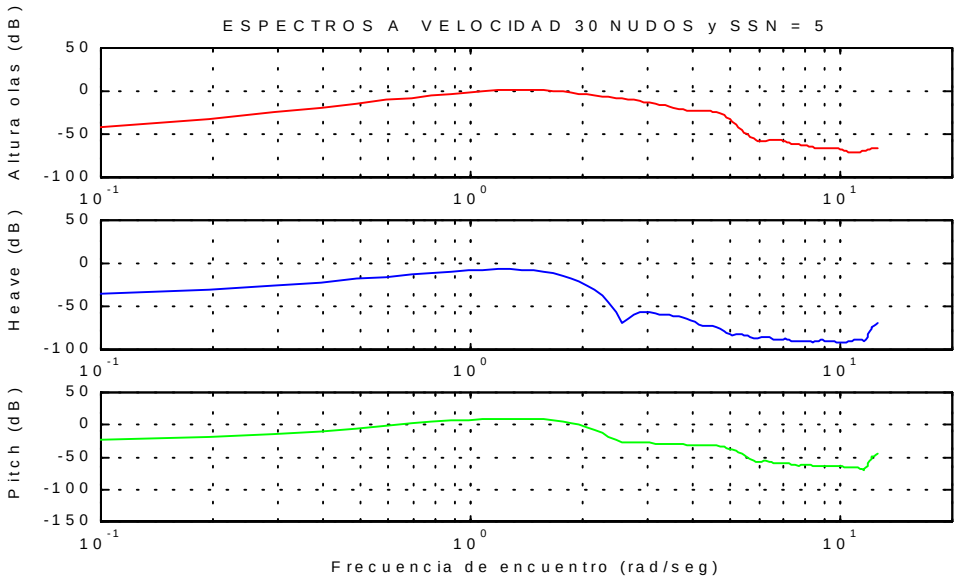


Figura 3.58: Espectros de las series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 30 nudos y estado de la mar 5.

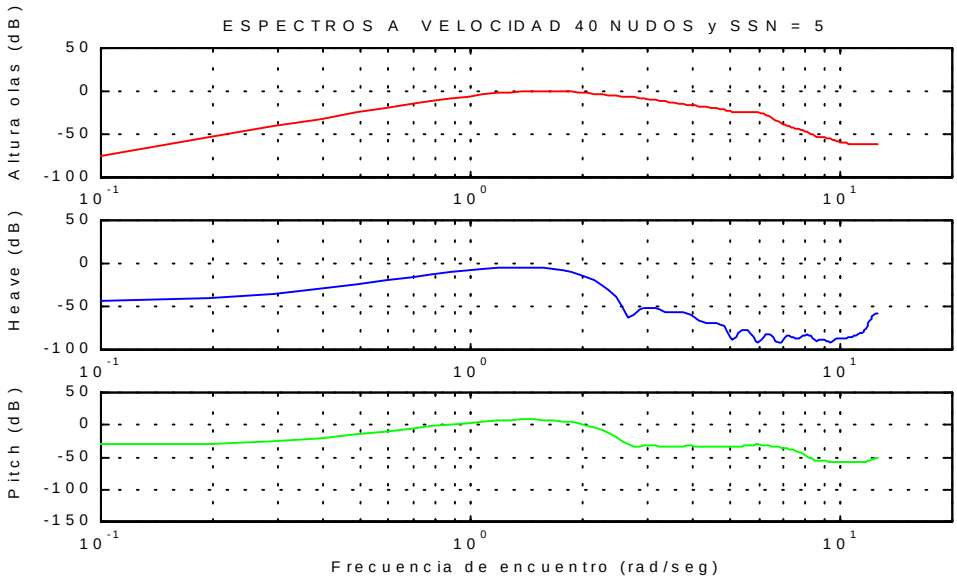


Figura 3.59: Espectros de las series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 40 nudos y estado de la mar 5.

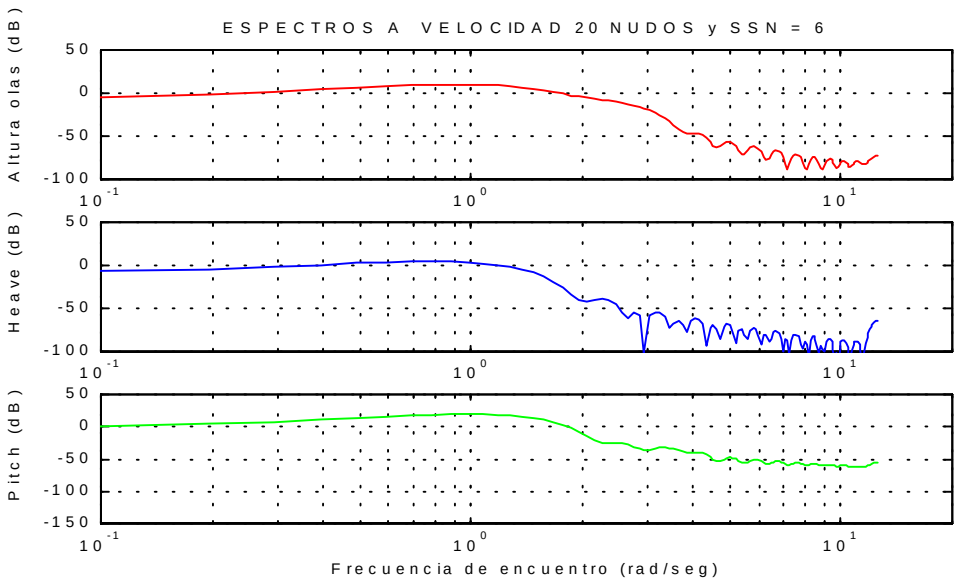


Figura 3.60: Espectros de las series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 20 nudos y estado de la mar 6.

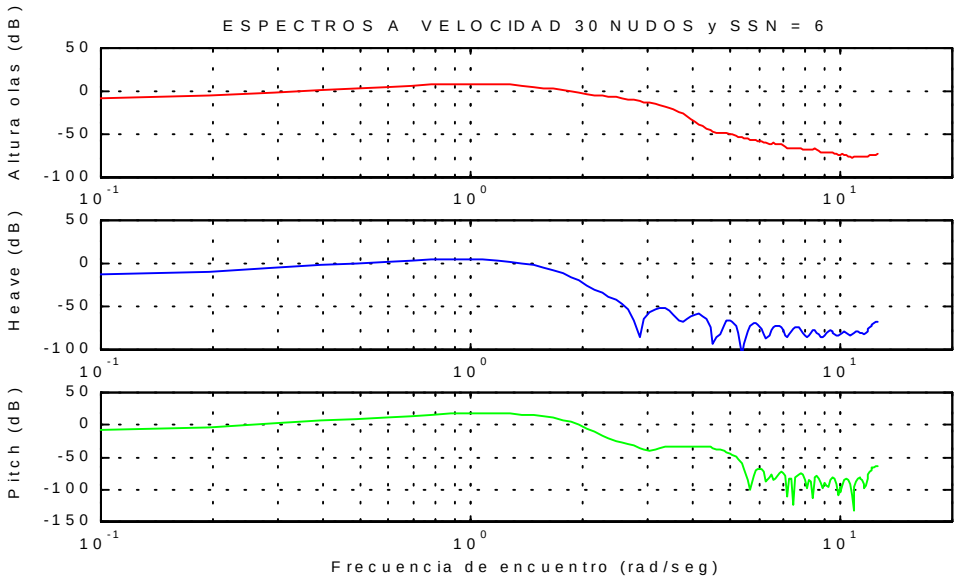


Figura 3.61: Espectros de las series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 30 nudos y estado de la mar 6.

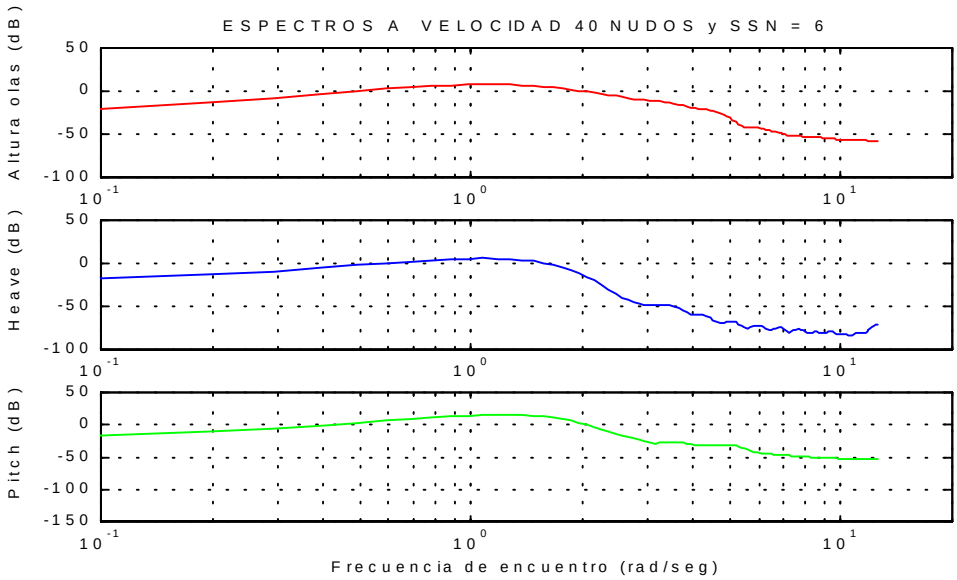
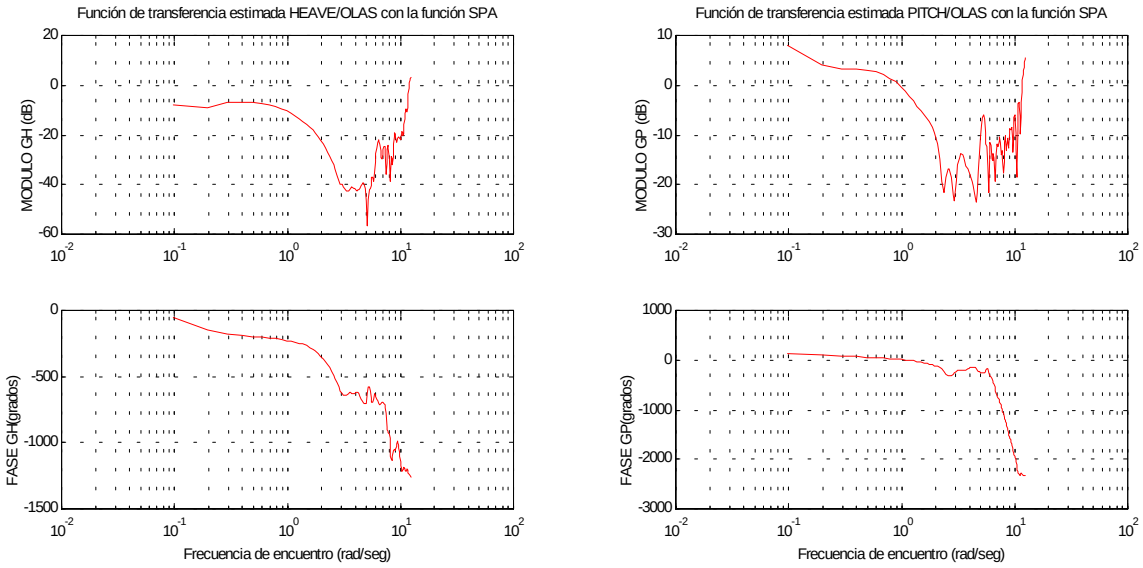


Figura 3.62: Espectros de las series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 40 nudos y estado de la mar 6.

3.3.3 RESPUESTA EN FRECUENCIA ESTIMADA CON LA FUNCION SPA

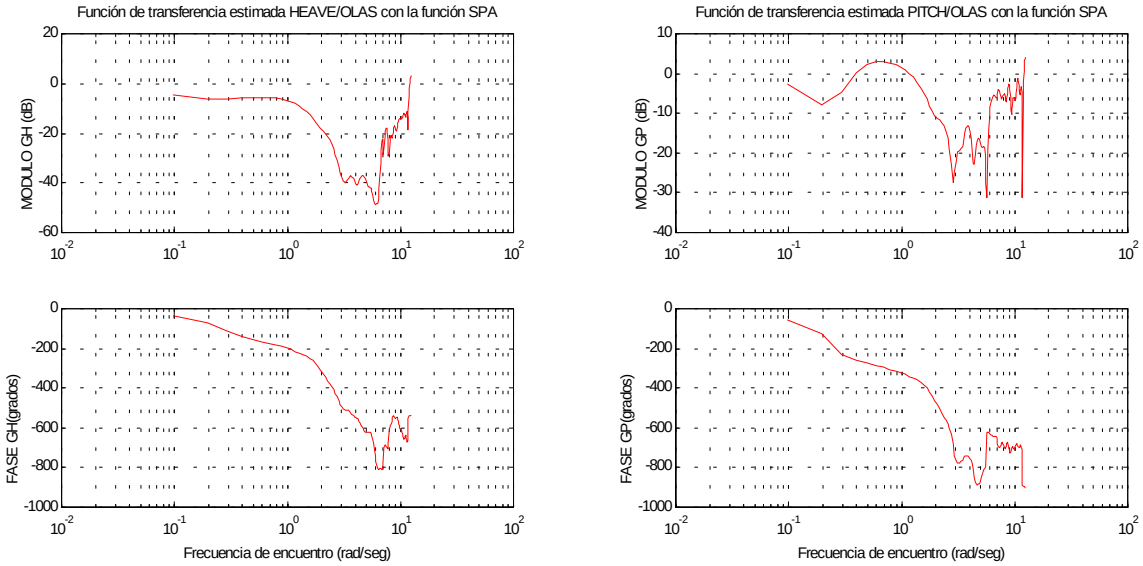
En las Figuras 3.63 a 3.71 se muestra el diagrama de Bode estimado con la función **spa.m** de IDENT a partir de :

a) Entrada : serie temporal de altura de olas. Salida : serie temporal movimiento heave
b) Entrada : serie temporal de altura de olas. Salida : serie temporal movimiento pitch



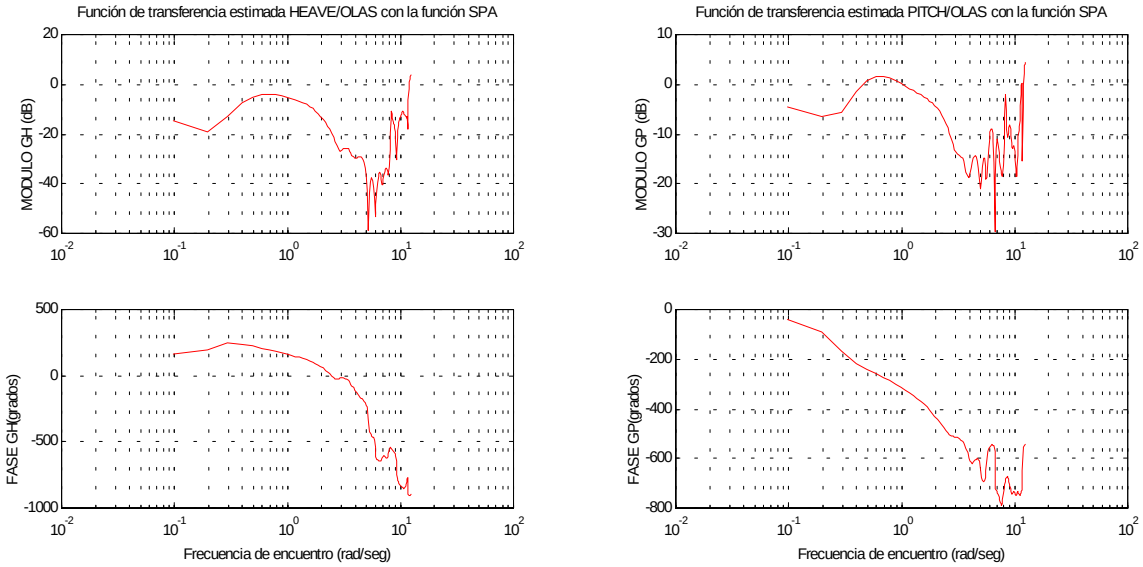
(a) (b)

Figura 3.63: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 20 nudos y SSN=4. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.



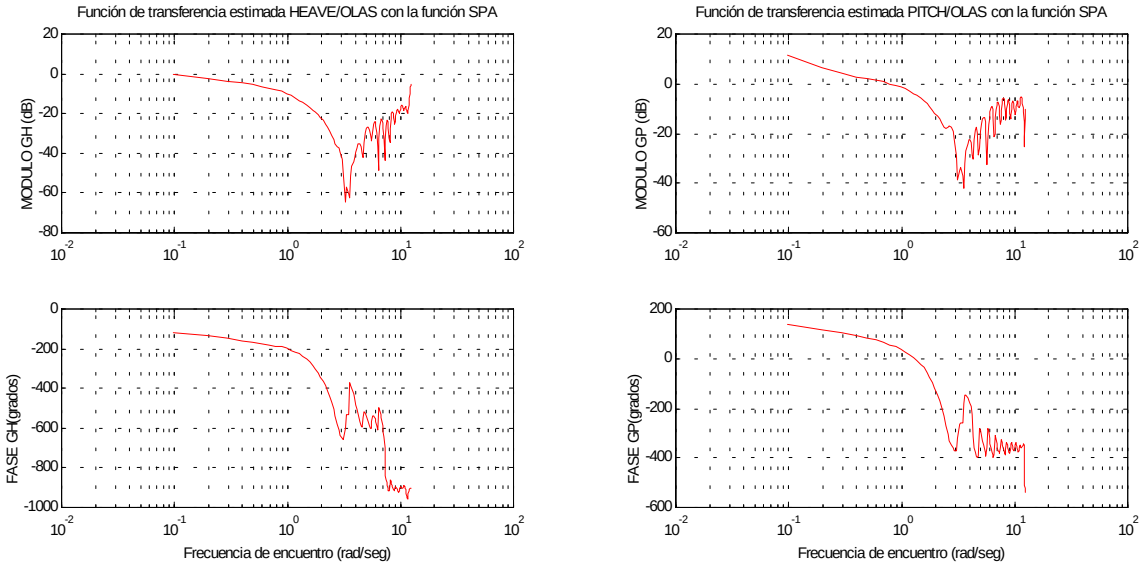
(a) (b)

Figura 3.64: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 30 nudos y SSN=4. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.



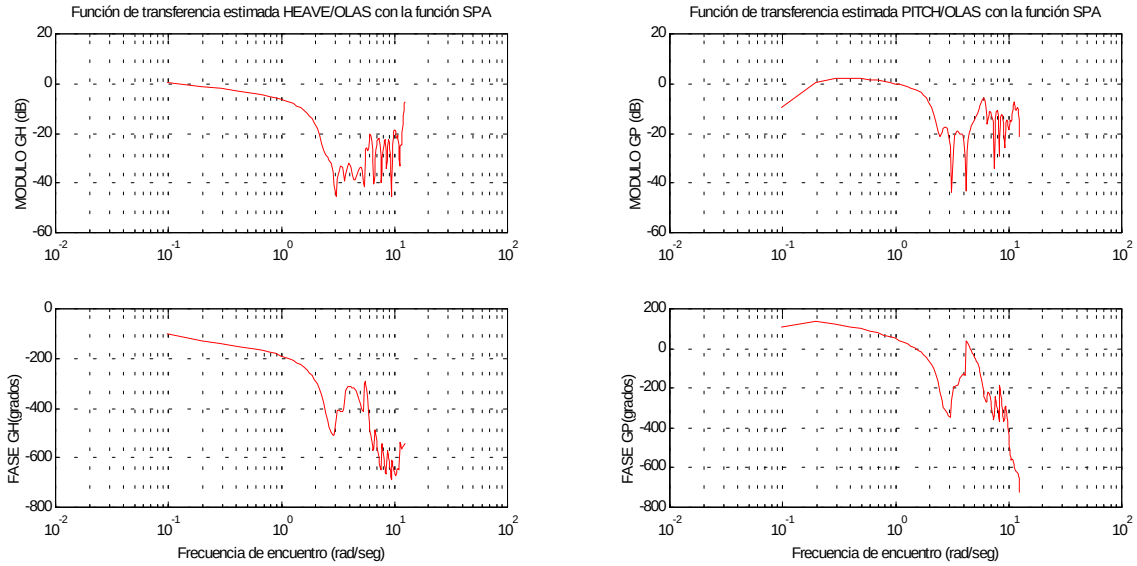
(a) (b)

Figura 3.65: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 40 nudos y SSN=4. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.



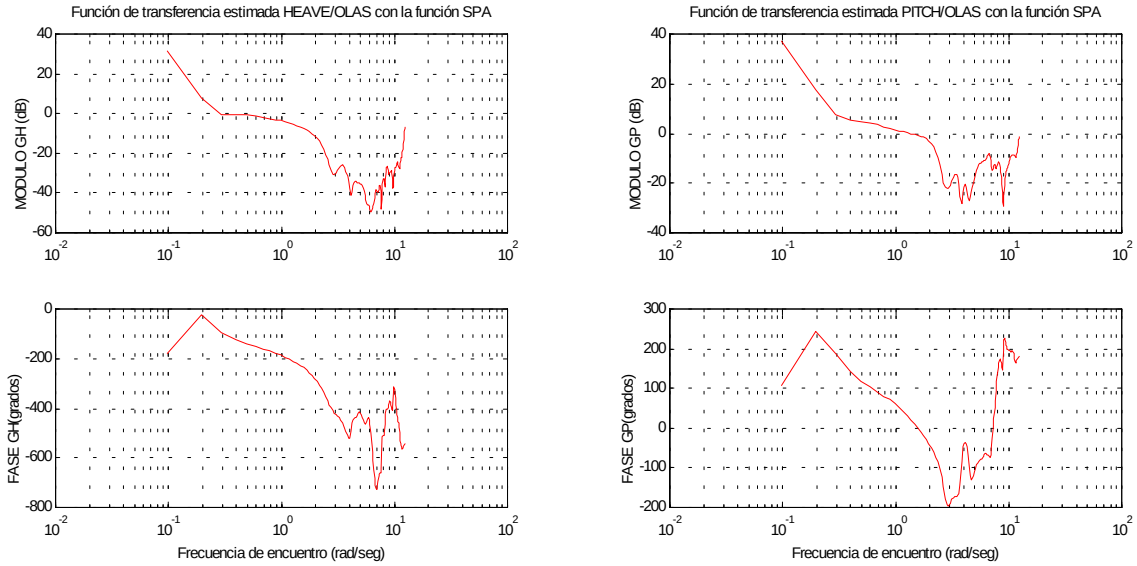
(a) (b)

Figura 3.66: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 20 nudos y SSN=5. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.



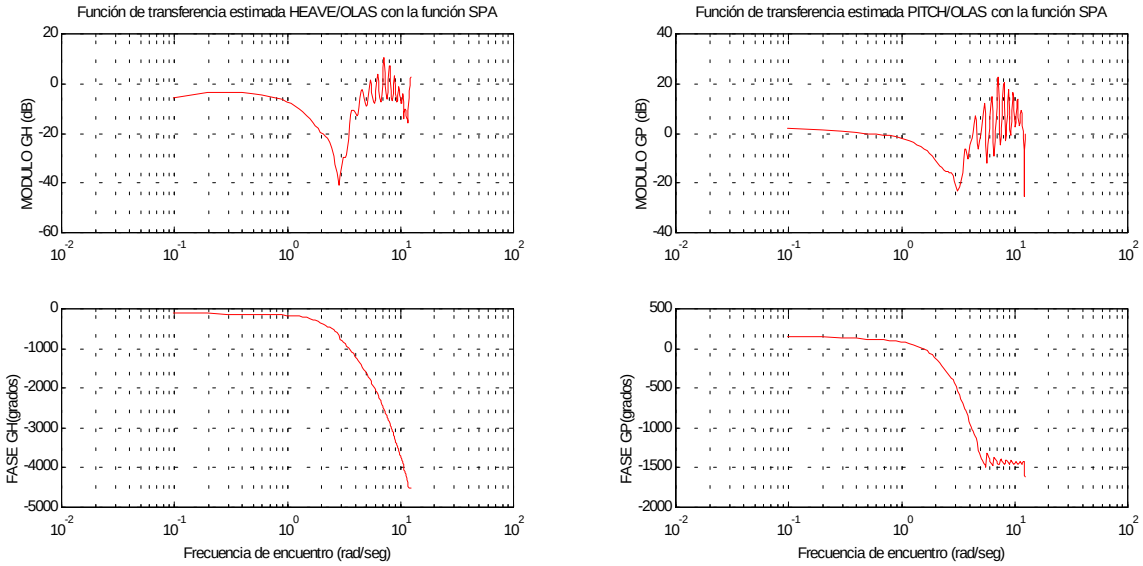
(a) (b)

Figura 3.67: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 30 nudos y SSN=5. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.



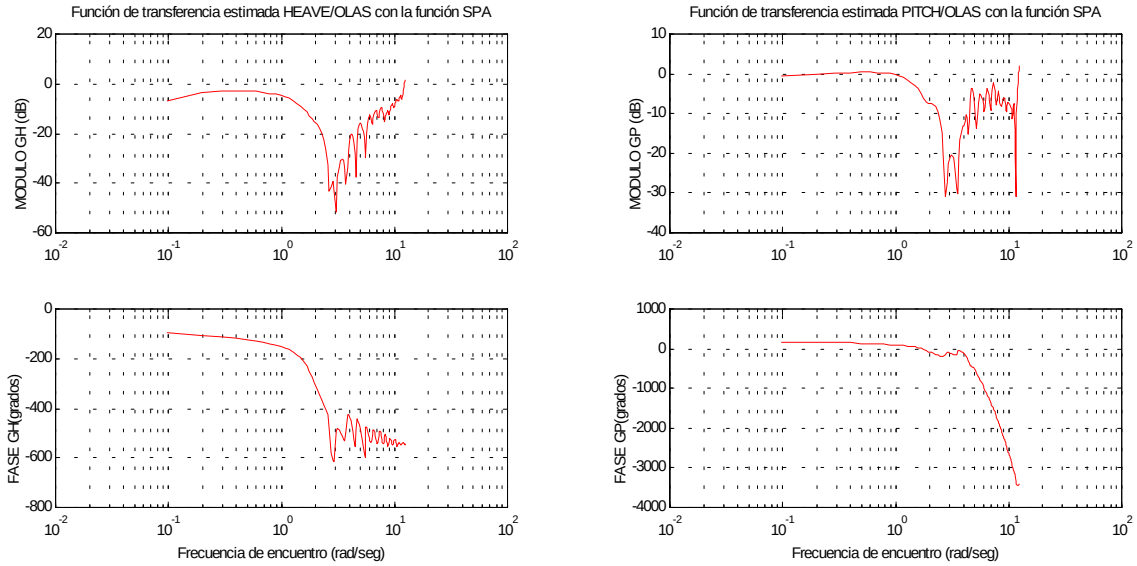
(a) (b)

Figura 3.68: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 40 nudos y SSN=5. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.



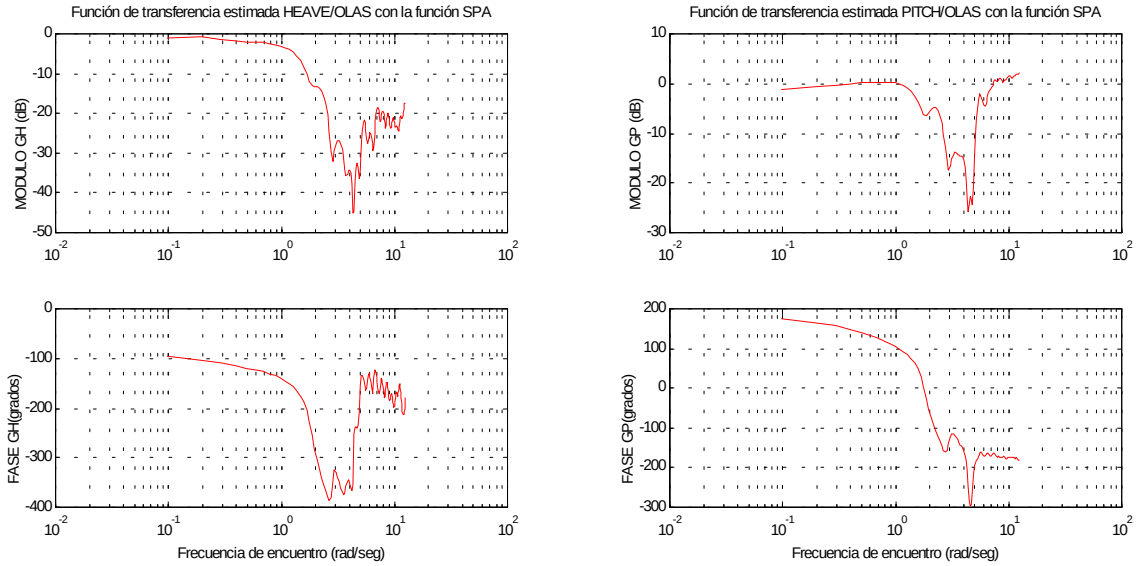
(a) (b)

Figura 3.69: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 20 nudos y SSN=6. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.



(a) (b)

Figura 3.70: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 30 nudos y SSN=6. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.



(a) (b)

Figura 3.71: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 40 nudos y SSN=6. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

4. SERIES TEMPORALES ENTREGADAS POR CEHIPAR EN MARZO-99.

Al realizar los distintos ensayos, la magnitud altura de ola fue medida con un sensor situado en la punta de una espada colocada en la proa de la maqueta a escala, a una distancia del centro de gravedad de 3.85 metros que a escala real equivalen a 96.25 metros. Las series que CEHIPAR entregó en julio de 1998 debían de tener las series temporales de altura corregidas al centro de gravedad del buque, sin embargo la observación de las series temporales de altura de olas y movimiento heave, por ejemplo en la Figura 3.23, pone de manifiesto la existencia de un desfase entre ambas, que no debería existir si la serie de altura de olas estuviese corregida al centro de gravedad del buque. Por este motivo CEHIPAR entregó otras series temporales en marzo de 1999, ahora ya sí con las series de altura de olas corregidas al centro de gravedad del buque.

4.1 NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS DE DATOS

4.1.1 NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS ENTREGADOS POR CEHIPAR EN MARZO-99.

Se distingue entre series temporales medidas utilizando oleaje regular y series temporales medidas utilizando oleaje regular.

- ENSAYOS REALIZADOS CON OLEAJE IRREGULAR :

La nomenclatura seguida por CEHIPAR para nombrar los archivos de resultados, es la siguiente :

TV[XX]IrrEst[Y][E].txt

donde :
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[Y] hace referencia al estado de la mar 4, 5 o 6.
[E] que indica la carrera a o la carrera b.

Por ejemplo el archivo TV20IrrEst5b.txt corresponde al ensayo con oleaje irregular con estado de la mar 5 y velocidad 20 nudos , para la carrera b.

Se dispone de un total de 18 archivos, que resultan de realizar ensayos a distintos estados de la mar y velocidad del buque. Hay 9 para la carrera a y 9 para la carrera b.

- ENSAYOS REALIZADOS CON OLEAJE REGULAR :

La nomenclatura seguida para nombrar los archivos de resultados, es la siguiente :

TF[XX][YY]a.txt

donde :
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[YY] hace referencia al número de ensayo (ver Tabla 2.2)
Por ejemplo el archivo TF2012.txt corresponde al ensayo número 12 realizado a 20 nudos.
Se dispone de :
42 archivos para velocidad 20 nudos.
41 archivos para velocidad 30 nudos.
41 archivos para velocidad 40 nudos.

Estos archivos de nombre **TF[XX][YY]a.txt** y **TV[XX]IrrEst[Y][E].txt** se encuentran en formato ASCII y todos los datos de las series temporales medidas se encuentran ya a escala real y vienen listados en una sola columna. Con el formato mostrado en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1: Formato interno de los archivos TF[XX][YY]a.txt y TV[XX]IrrEst[Y][E].txt

TITULO (CABECERA)
ESCALA
DENSIDAD
VELOCIDAD
RUMBO (DIRECCIÓN DEL OLEAJE CON RESPECTO AL BUQUE, 180 = PROA)
FRECUENCIA DE MUESTREO
NUMERO DE PUNTOS DE CADA CANAL
TIPO DE OLEAJE (0=REGULAR, 2=IRREGULAR)
ALTURA DE LA OLA
PERIODO DE LA OLA
GAMMA (DISTINTO DE CERO PARA OLAS IRREGULARES)
SIGMA A (DISTINTO DE CERO PARA OLAS IRREGULARES)
SIGMA B (DISTINTO DE CERO PARA OLAS IRREGULARES)
NUMERO DE CANALES
NUMERO DE CANAL
NOMBRE DEL CANAL 1
UNIDAD DEL CANAL 1 (Símbolo)
UNIDAD DEL CANAL 1 (Dimensión)
GANANCIA DEL CANAL 1
GRADO DEL CANAL 1
FACTOR AUX. CANAL 1 (Grado 0)
FACTOR AUX. CANAL 1 (Grado 1)
NUMERO DE CANAL
NOMBRE DEL CANAL 2
UNIDAD DEL CANAL 2 (Símbolo)
UNIDAD DEL CANAL 2 (Dimensión)
GANANCIA DEL CANAL 2
GRADO DEL CANAL 2
FACTOR AUX. CANAL 2 (Grado 0)
FACTOR AUX. CANAL 2 (Grado 1)
.....
.....RESTO DE.....
.....CABECERAS DE.....
.....CANALES.....
.....
NUMERO DE CANAL (11)
NOMBRE DEL CANAL (WAVE)
UNIDAD DEL CANAL 11 (m)
UNIDAD DEL CANAL 11 (Derivado)
GANANCIA DEL CANAL 11
GRADO DEL CANAL 11
FACTOR AUX. CANAL 2 (Grado 0)
SERIE TEMPORAL DEL CANAL 1
SERIE TEMPORAL DEL CANAL 2
.....
.....RESTO DE.....
.....SERIES TEMPORALES.....
.....CANALES.....
.....

4.1.2 NOMENCLATURA DE ARCHIVOS .TXT

Como ya se ha explicado en la sección anterior, los archivos entregados por el CEHIPAR contenían en una sola columna todas las series temporales medidas, aparte de llevar una cabecera de información. Esto supone un problema a la hora de trabajar con los datos utilizando el programa MATLAB, por eso se generaron como paso previo unos archivos .txt también en ASCII. Indicar que esto únicamente se realizó para las series de altura de ola, movimiento heave y movimiento pitch, no se generaron archivos.txt para las aceleraciones ya que en principio no se iba a identificar con ellas. La nomenclatura de estos archivos es :

- ENSAYOS OBTENIDOS CON OLEAJE IRREGULAR.

I[XX][Y][E].txt

donde :
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[Y] hace referencia al estado de la mar 4, 5 o 6.
[E] que indica la carrera a o la carrera b.

Por ejemplo el archivo I204a.txt contiene en una sola columna las series temporales de, movimiento heave, movimiento de pitch y altura de olas medida para velocidad 20 nudos, estado de la mar 4 y carrera a.

- ENSAYOS OBTENIDOS CON OLEAJE REGULAR

r[XX][YY].txt

donde :
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[YY] hace referencia al número de ensayo (ver Tabla 2.2)
Por ejemplo el archivo r2012.txt contiene una sola columna la serie temporal de movimiento de heave, del movimiento de pitch y de la altura de la ola medido para velocidad 20 nudos y número de ensayo 12.

4.1.3 NOMENCLATURA DE ARCHIVOS.MAT

Una vez que ya se tenían cada una de las series temporales en distintos archivos .txt , se procedió a almacenarlas en formato del programa MATLAB, es decir archivos de datos con extensión .mat.
Se generaron archivos con la siguiente nomenclatura :

- ENSAYOS OBTENIDOS CON OLEAJE IRREGULAR.

I[XX][Y][E].mat

Dentro de cada uno de estos archivos I[XX][Y][E].mat había almacenadas tres :
altura de olas o[XX][Y][E]
movimiento de pitch p[XX][Y][E]
movimiento de heave h[XX][Y][E]

donde :
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[Y] hace referencia al estado de la mar 4, 5 o 6.
[E] que indica la carrera a o la carrera b.

Por ejemplo, I204a.mat es el archivo Matlab que contiene las variables o204a, p204a y h204a.

Indicar que en el archivo de datos MATLAB **variables_sin_tend .mat** se encuentran las series temporales tanto de altura de olas, movimiento de pitch y movimiento de heave, para velocidades 20, 30 y 40 y estado de la mar 4, 5 y 6, para las carreras a y b, medidas con oleaje irregular con las medias y tendencias eliminadas, ya que se les aplicó la función **dtrend.m** perteneciente a la toolbox IDENT. Dentro de este archivo la nomenclatura de las variables es :

[M][XX][Y][E]d

donde
[M] hace referencia a la magnitud medida P movimiento de pitch y H movimiento de heave.
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[Y] hace referencia al estado de la mar 4, 5 o 6.
[E] que indica la carrera a o la carrera b.
La d al final del nombre denota que las medias y tendencias han sido eliminadas

Estas variables tienen dos columnas cada una [salida, entrada] la salida es el movimiento de pitch o el de heave y la entrada es la altura de olas.

- ENSAYOS OBTENIDOS CON OLEAJE REGULAR

r[XX][YY].mat

Dentro de cada uno de estos archivos r[XX][YY].mat había almacenadas tres series temporales :
altura de olas o[XX][YY]a
movimiento de pitch p[XX][YY]a
movimiento de heave h[XX][YY]a

donde :
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[YY] hace referencia al número de ensayo (ver Tabla 2.2)

Por ejemplo, tf3001a.mat es el archivo Matlab que contiene las variables o3001a, p3001a y h3001a para velocidad 30 nudos y ensayo 1.

Indicar que en el archivo de datos MATLAB **datsimreg.mat** se encuentran las series temporales tanto de altura de olas ,movimiento de heave y movimiento de pitch, para velocidades 20, 30 y 40 y números de ensayo los que se muestran en la Tabla 2.2, medidas con oleaje regular con las medias y tendencias eliminadas, ya que se les aplico la función **dtrend.m** perteneciente a la toolbox IDENT. .Dentro de este archivo la nomenclatura de las variables es :

o[M][XX][YY]d

donde
[M] hace referencia a la magnitud medida P movimiento de pitch y H movimiento de heave.
[YY] hace referencia al número de ensayo (ver Tabla 2.2)
La d al final del nombre denota que las medias y tendencias han sido eliminadas

Estas variables tienen dos columnas cada una, [salida, entrada] la salida es el movimiento de pitch o el de heave y la entrada es la altura de olas.

4.2 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES

4.2.1 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES OBTENIDAS CON OLEAJE IRREGULAR.

En las Figuras 4.1 a 4.9 se muestran las series temporales de altura de ola, movimiento heave y movimiento pitch obtenidas en los ensayos con oleaje irregular a las velocidades de 20, 30 y 40 nudos y estado de la mar 4, 5 y 6, para la carrera a). Indicar que las series temporales que se muestran, son las que se encuentran en el fichero **variables_sin_tend.mat**, que tienen ya las tendencias y las medias eliminadas. Además con respecto a las Figuras 3.1 a 3.9 se observará que la única serie distinta es la de altura de ola, ya que ahora si esta corregida al centro de gravedad del buque.

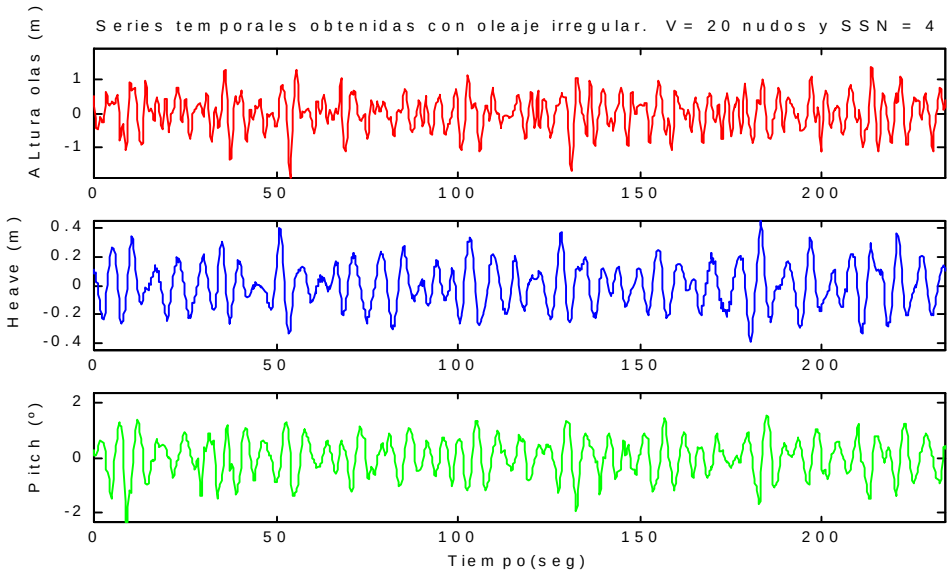


Figura 4.1: Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 20 nudos y estado de la mar 4.

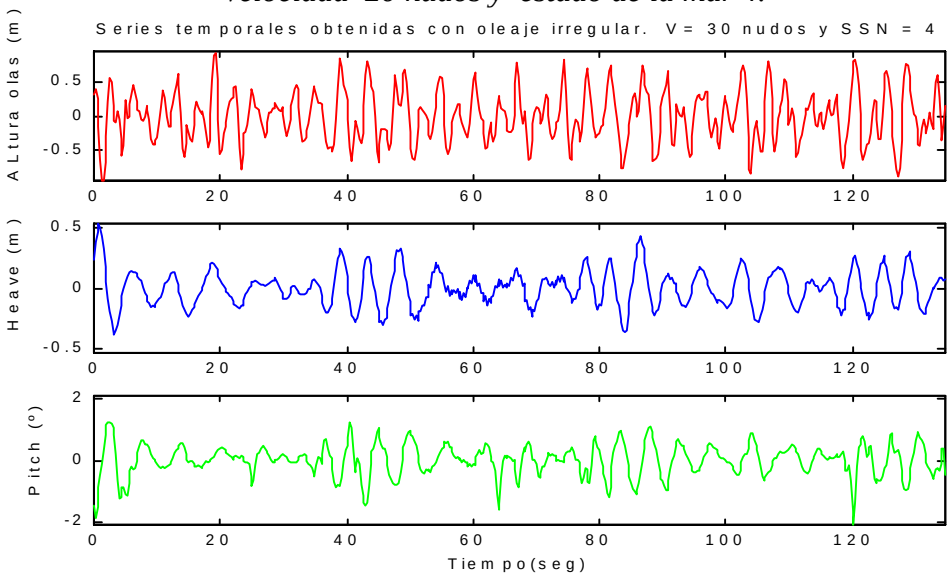


Figura 4.2 : Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 30 nudos y estado de la mar 4.

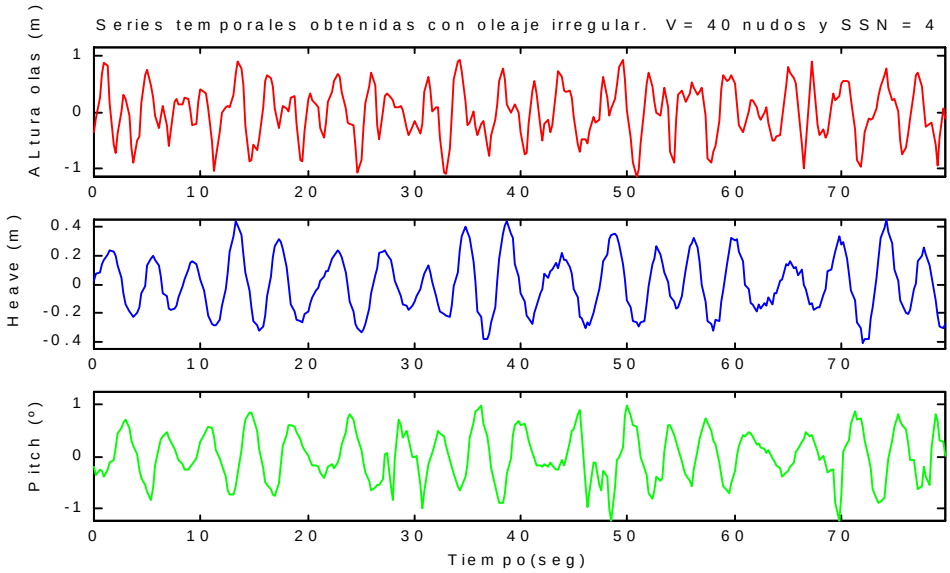


Figura 4.3: Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 40 nudos y estado de la mar 4.

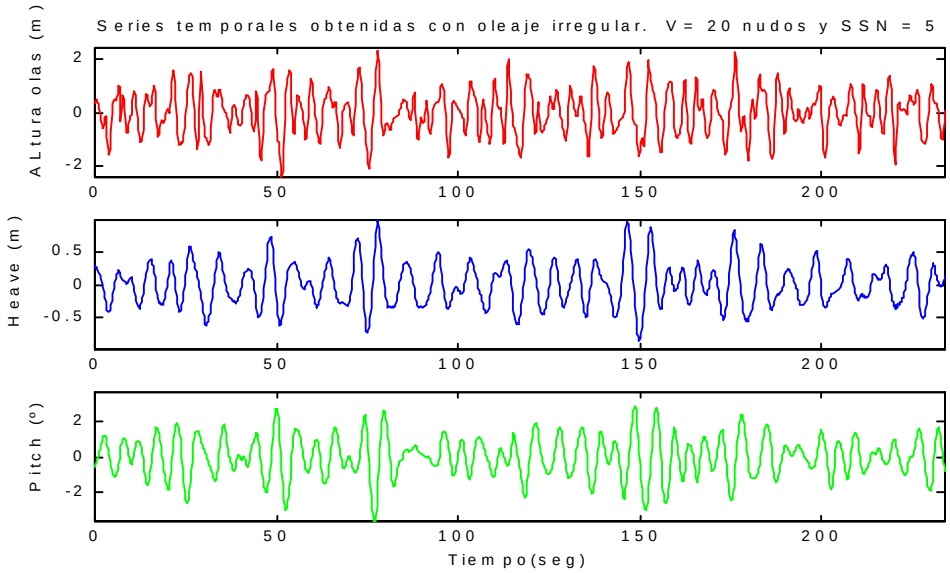


Figura 4.4: Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 20 nudos y estado de la mar 5.

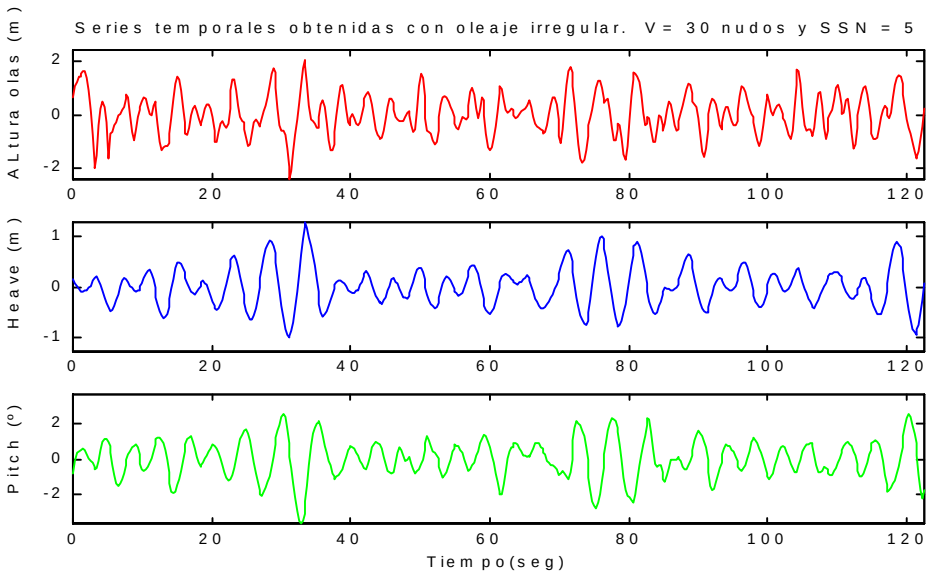


Figura 4.5: Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 30 nudos y estado de la mar 5.

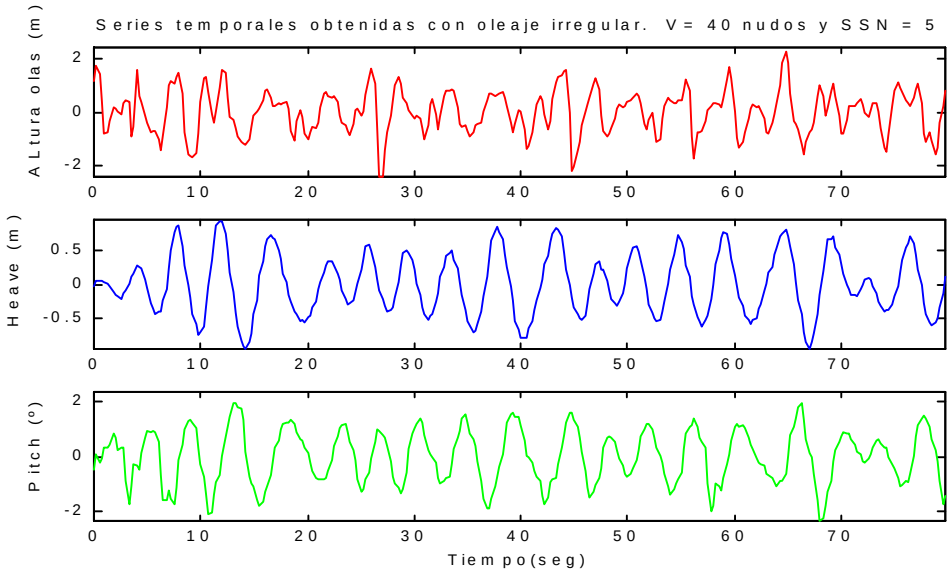


Figura 4.6: Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 40 nudos y estado de la mar 5.

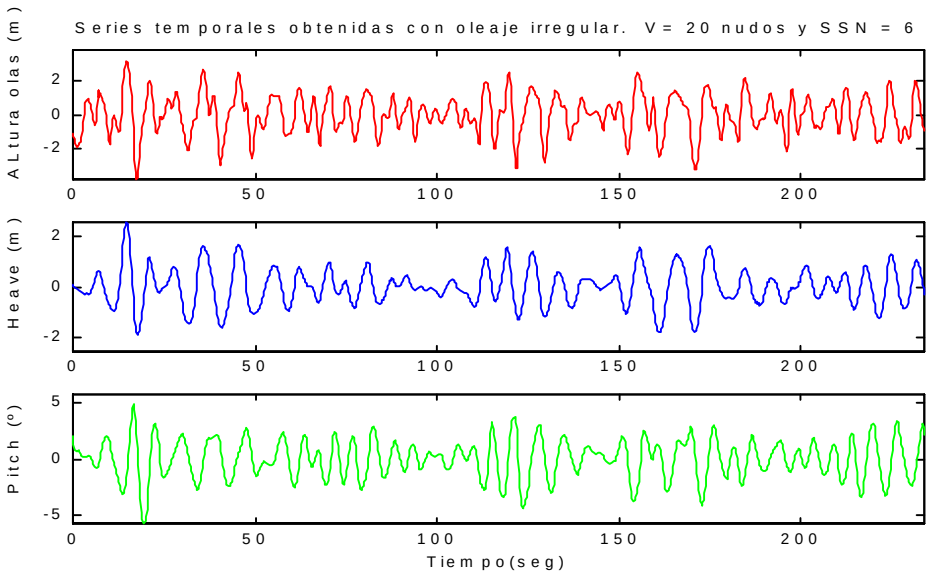


Figura 4.7: Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 20 nudos y estado de la mar 6.

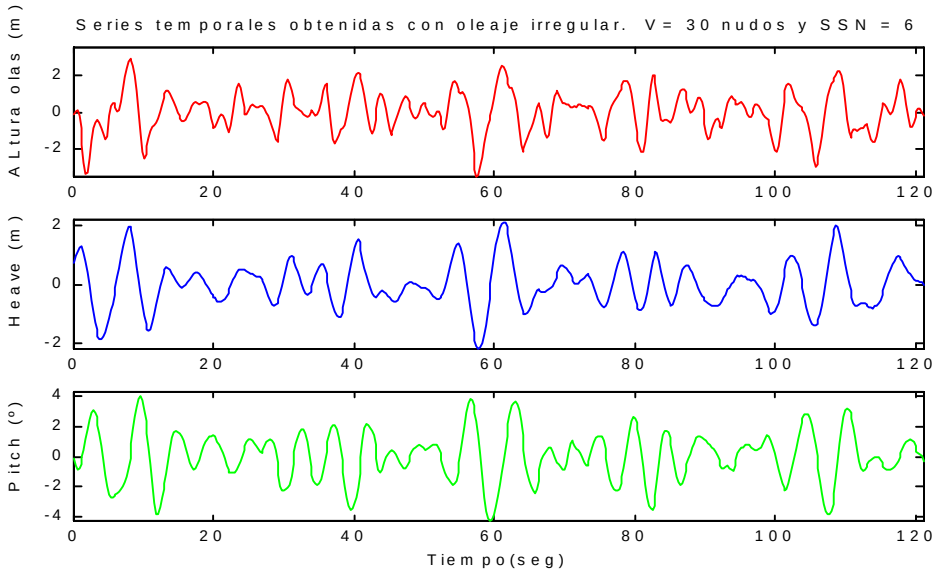


Figura 4.8: Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 30 nudos y estado de la mar 6.

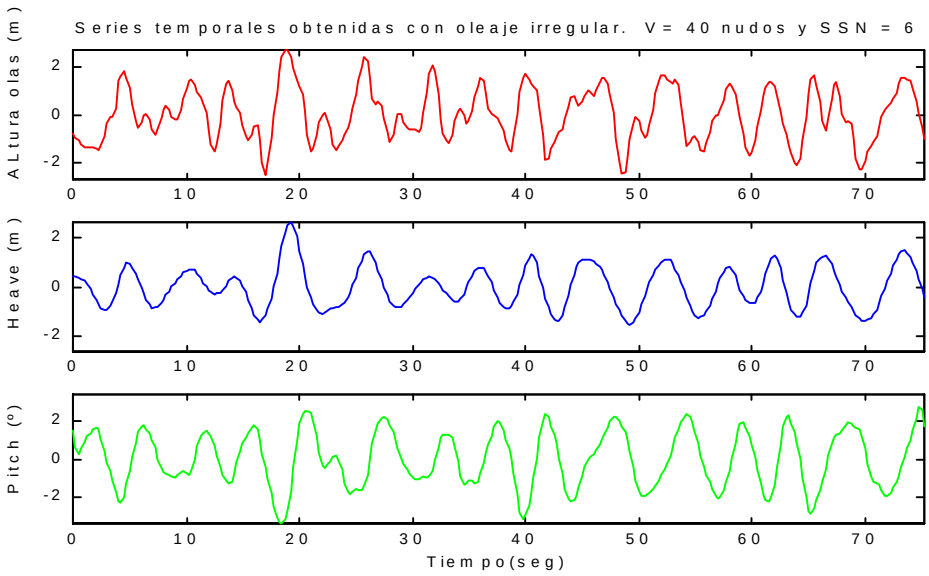


Figura 4.9: Series temporales altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 40 nudos y estado de la mar 6.

4.2.2 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES OBTENIDAS CON OLEAJE REGULAR.

Las series temporales de altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch obtenidas con oleaje regular, se pueden utilizar o bien en el proceso de validación de modelos ya obtenidos, o bien para obtener puntos de amplitud y de fase a diferentes frecuencias para la posterior identificación de modelos en el dominio de la frecuencia.

En el caso de utilizar las series temporales obtenidas con oleaje regular para obtener puntos de amplitud y de fase a diferentes frecuencias, surge un problema, las series temporales no se componen de un único armónico a pesar de denominarse por el adjetivo "regulares", sino que poseen, al menos, tres armónicos. Una buena solución a este problema es ajustar la serie temporal con una señal compuesta de tres cosenos y aproximar la serie temporal por una señal coseno con la amplitud y la fase del armónico principal. El mecanismo de ajuste a tres cosenos se explica en el apéndice B.

En las Tablas 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran la amplitud y la fase del armónico principal de las series temporales, obtenidas tras realizar el ajuste a una señal suma de tres cosenos.

Tabla 4.1: Amplitud y fase del armónico principal para V=20 nudos

	Altura de las olas			**Pitch**			**Heave**		
Ensayo	**A(m)**	**ϕ(º)**	**e2m[1]**	**A(º)**	**ϕ(º)**	**e2m**	**A(m)**	**ϕ(º)**	**e2m**
17	0.788	80.307	0.1662	0.119	82.71	0.0085	0.047	192.25	0.0014
18	1.070	277.368	0.0898	0.483	142.4	0.0390	0.157	334.07	0.0041
19	1.230	0.602	0.6486	1.119	224.77	0.2465	0.278	33.35	0.0190
20	1.404	41.513	0.3472	1.916	265.46	0.7166	0.463	57.67	0.0463
21	1.582	76.933	0.0512	2.717	-51.24	0.1516	0.635	86.48	0.0148
22	1.803	84.924	0.2290	3.419	-32.73	0.7744	0.790	93.78	0.0462
23	1.963	91.553	0.2595	3.934	336.45	1.1039	0.967	90.65	0.0653
24	1.973	76.063	0.3286	3.939	-30.14	0.9104	1.107	71.64	0.0795
25	2.523	182.132	0.4174	4.395	84.67	1.4460	1.754	175.33	0.2516
26	3.020	218.650	0.2738	4.653	126.44	0.7348	2.448	213.81	0.2172
27	3.525	264.579	0.5027	4.762	176.63	0.7906	3.111	261.91	0.3333
28	4.020	253.826	1.0183	4.833	167.56	1.6511	3.697	252.61	0.9784
29	4.714	257.763	2.2932	4.923	165.37	3.1307	4.393	249.83	2.5704
30	5.160	279.680	6.2811	4.851	189.61	6.6648	4.942	273.23	6.9345

[1] Error cuadrático medio $e2m = \frac{1}{N}\vec{E}^T \cdot \vec{E}$ donde N es el número de muestras y $\vec{E}$ es el vector error obtenido como la diferencia entre la señal medida y la señal estimada.

Tabla 4.2: Amplitud y fase del armónico principal para V=30 nudos.

	Altura de las olas			Pitch			Heave		
Ensayo	**A(m)**	**ϕ(º)**	**e2m**	**A(º)**	**ϕ(º)**	**e2m**	**A(m)**	**ϕ(º)**	**e2m**
17	0.6813	167.085	0.0258	0.050	165.23	0.0005	0.0235	259.364	0.0006
18	0.9527	-63.789	0.0136	0.228	126.78	0.0015	0.0562	318.035	0.0006
19	1.1361	-10.169	0.0977	0.644	176.2940	0.0406	0.161	323.485	0.0034
20	1.2622	24.254	0.0983	1.239	205.959	0.1467	0.388	-12.605	0.0155
21	1.4791	51.059	0.0172	2.012	240.545	0.1025	0.751	20.226	0.0091
22	1.6931	98.975	0.0924	2.768	-63.923	0.5212	1.135	73.755	0.0600
23	1.9057	119.772	0.1205	3.480	-35.959	0.4987	1.514	101.408	0.0913
24	2.1388	151.827	0.1279	4.061	10.385	0.6085	1.719	144.913	0.1054
25	2.5359	207.930	0.3062	4.629	90.336	1.1146	1.898	211.223	0.1228
26	2.9506	206.218	0.0896	4.705	94.4	0.5566	2.310	201.657	0.0723
27	3.4858	217.865	0.3751	4.793	106.515	1.1856	2.964	208.563	0.4037
28	4.0610	245.204	0.8594	4.869	138.974	2.4789	3.631	240.511	0.7852
29	4.6995	268.836	2.2131	4.9613	166.178	2.6341	4.377	264.534	2.0639
30	5.2170	276.234	1.3178	4.956	151.361	3.9023	5.044	248.435	3.7982

Tabla 4.3: Amplitud y fase del armónico principal para V=40 nudos.

	Altura de las olas			Pitch			Heave		
Ensayo	**A(m)**	**ϕ(º)**	**e2m**	**A(º)**	**ϕ(º)**	**e2m**	**A(m)**	**ϕ(º)**	**e2m**
17	0.658	125.495	0.0591	0.069	157.477	0.0016	0.017	275.651	0.0006
18	1.002	299.415	0.0479	0.067	134.118	0.0071	0.031	62.962	0.0024
19	1.134	328.410	0.0999	0.309	151.416	0.0139	0.035	253.318	0.0020
20	1.246	28.440	0.0846	0.734	208.136	0.0452	0.197	313.569	0.0055
21	1.443	21.246	0.0956	1.339	200.91	0.0849	0.53	310.982	0.0158
22	1.637	72.151	0.1680	2.014	260.882	0.2399	0.961	11.015	0.0621
23	1.861	113.764	0.5186	2.682	314.071	0.4594	1.453	65.408	0.1596
24	1.806	145.573	0.0547	2.972	359.053	0.1974	1.651	117.995	0.0514
25	2.188	201.770	0.3440	3.786	76.142	0.3556	2.169	192.341	0.1136
26	3.063	208.0534	0.2475	4.716	82.561	0.3332	2.804	192.346	0.0938
27	3.618	242.061	0.1960	4.915	139.235	0.3370	3.233	239.782	0.1595
28	4.194	243.659	0.2954	4.996	142.136	0.4317	3.831	236.278	0.3535
29	4.891	262.8392	0.8893	5.093	159.303	1.0894	4.593	250.193	1.2155
30	5.302	282.899	2.1047	4.928	185.164	1.9248	4.910	-84.298	2.4894

En las Figuras 4.10 a 4.51 se muestran la comparación entre las series temporales de altura de olas, movimiento de pitch y movimiento de heave obtenidas con oleaje regular y las señales coseno a con las que han sido aproximadas tomando la amplitud y la fase del armónico principal correspondiente. Indicar que las series aquí mostradas son las almacenadas en el archivo **datsimreg.mat** que recuérdese tienen ya las tendencias y las medias eliminadas. Además para una mejor visualización solamente se muestran los primeros 40 segundos de cada serie.

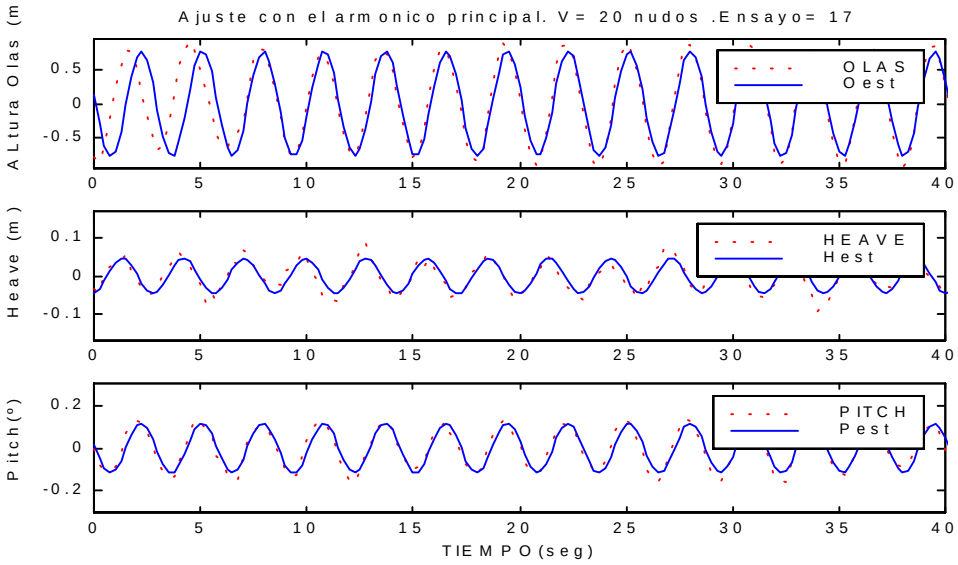


Figura 4.10: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 17.

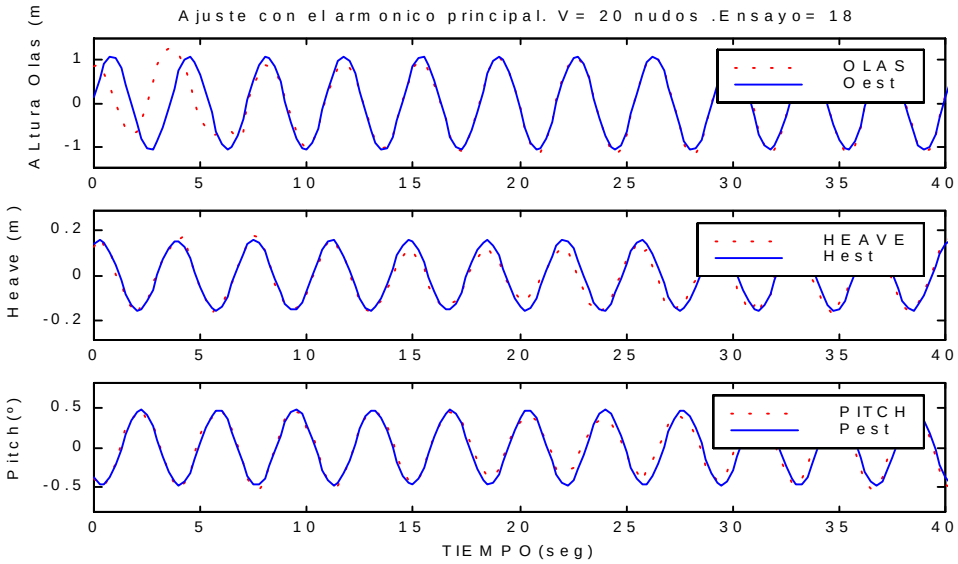


Figura 4.11: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 18.

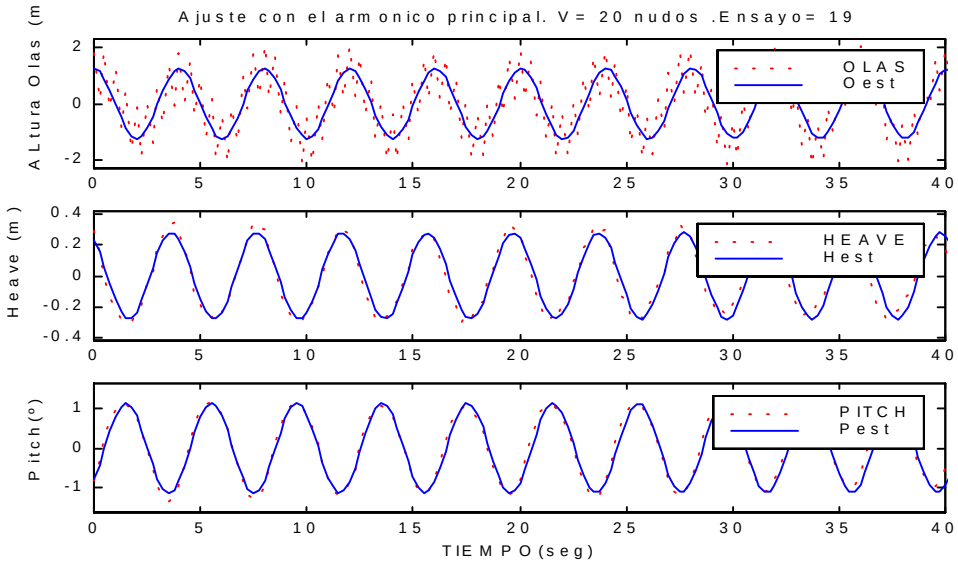


Figura 4.12: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 19.

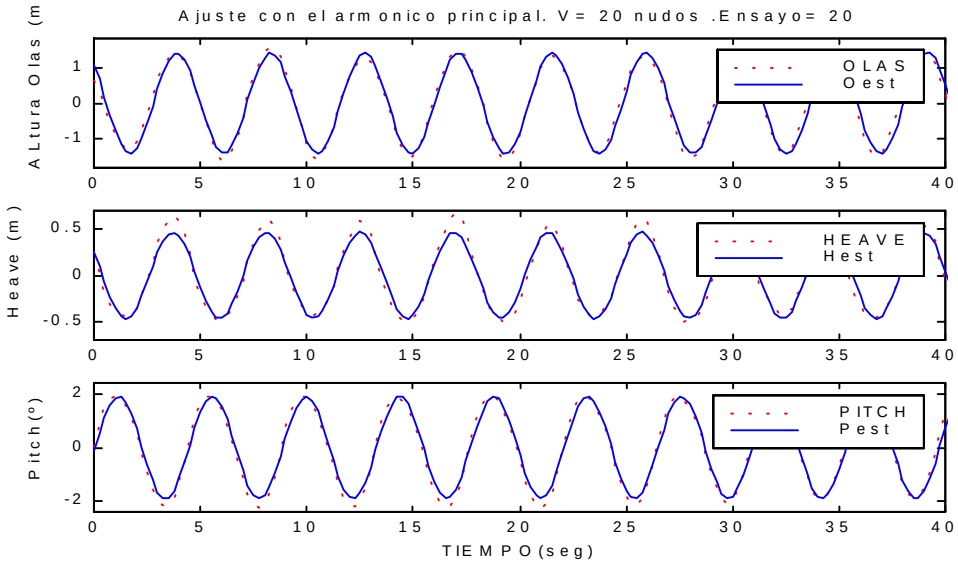


Figura 4.13: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 20.

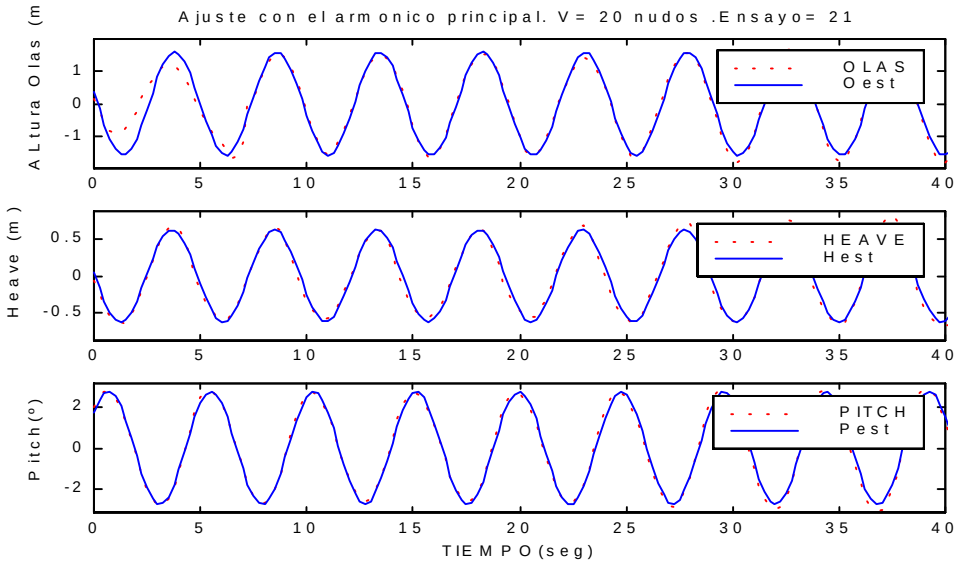


Figura 4.14: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 21.

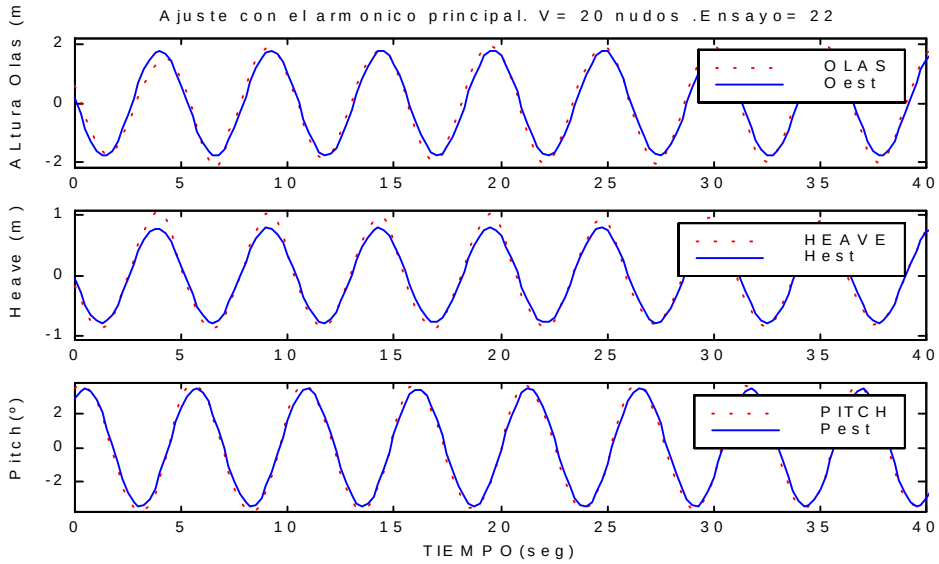


Figura 4.15: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 22.

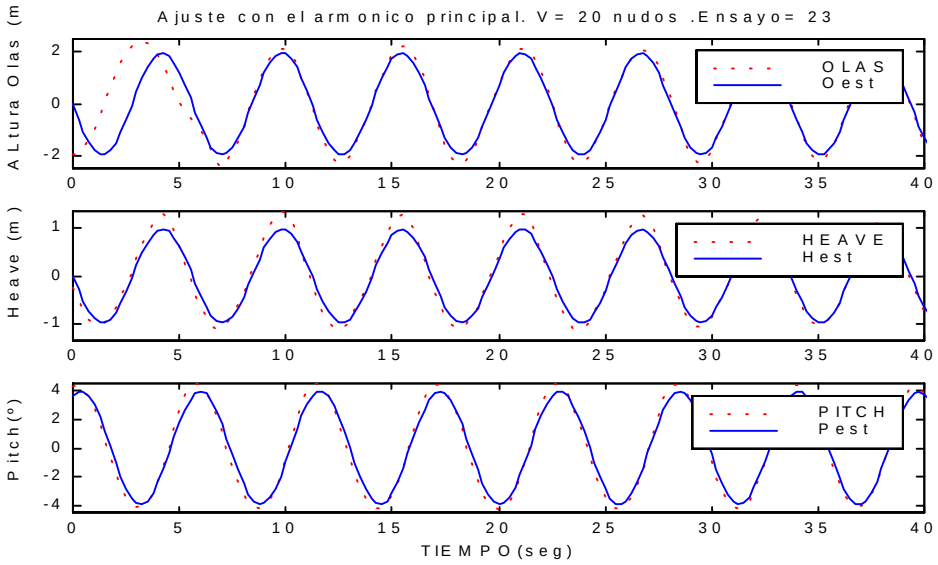


Figura 4.16: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 23.

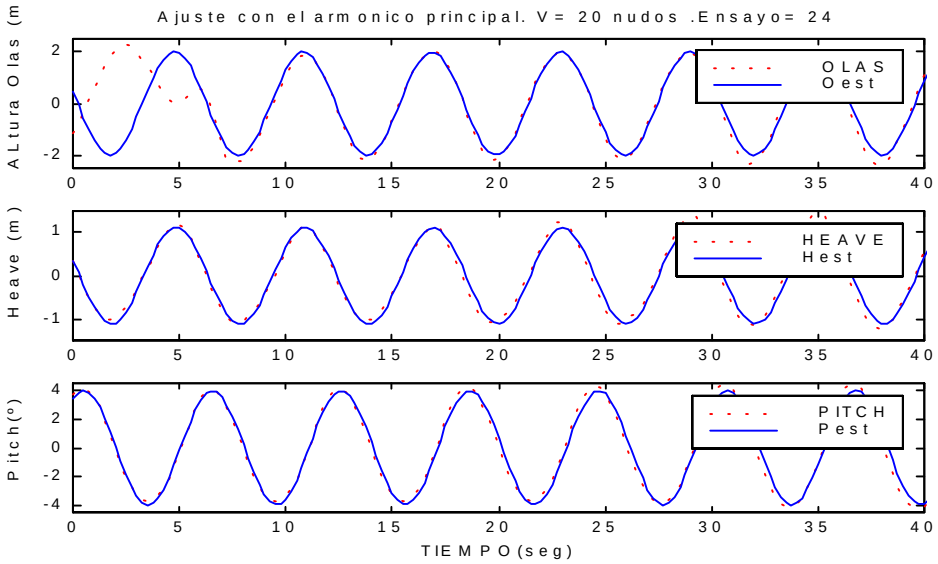


Figura 4.17: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 24.

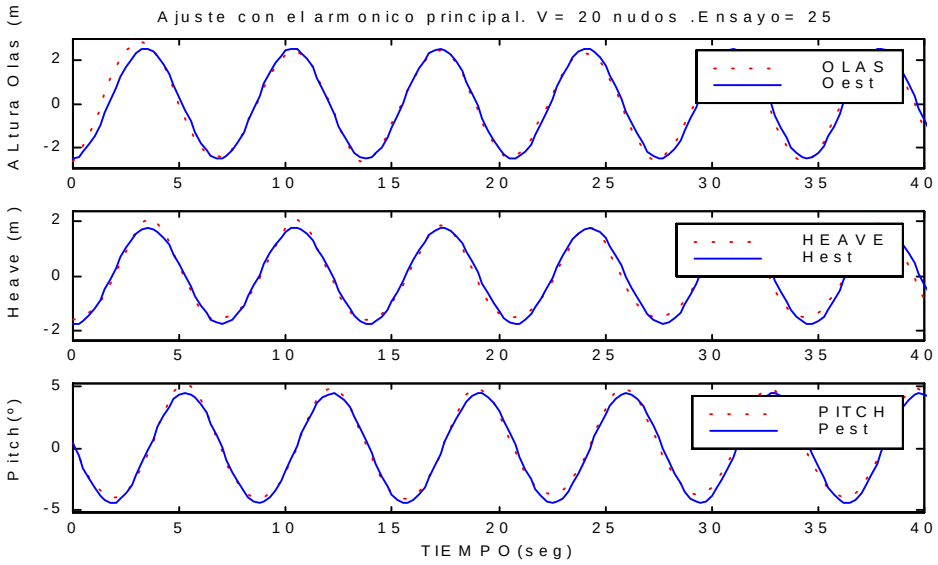


Figura 4.18: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 25.

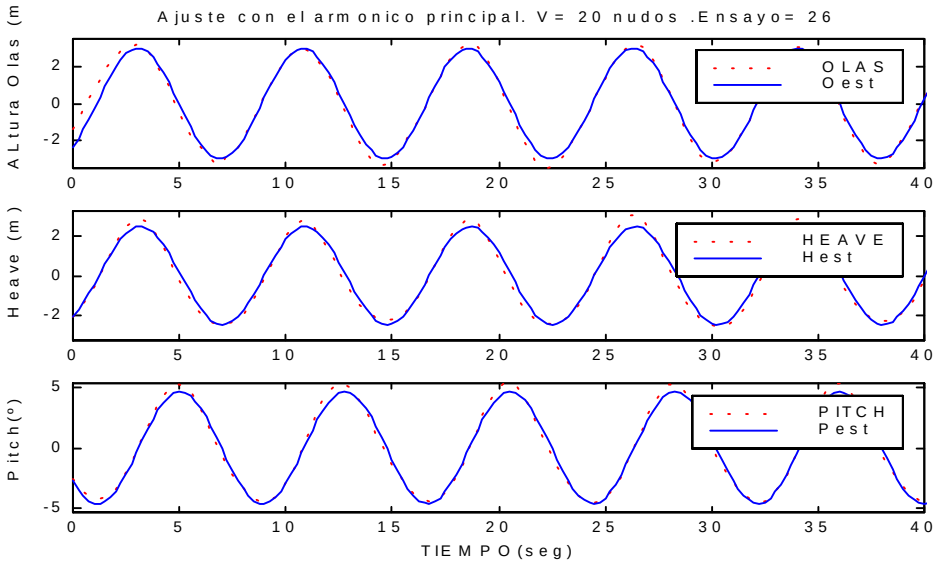


Figura 4.19: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 26.

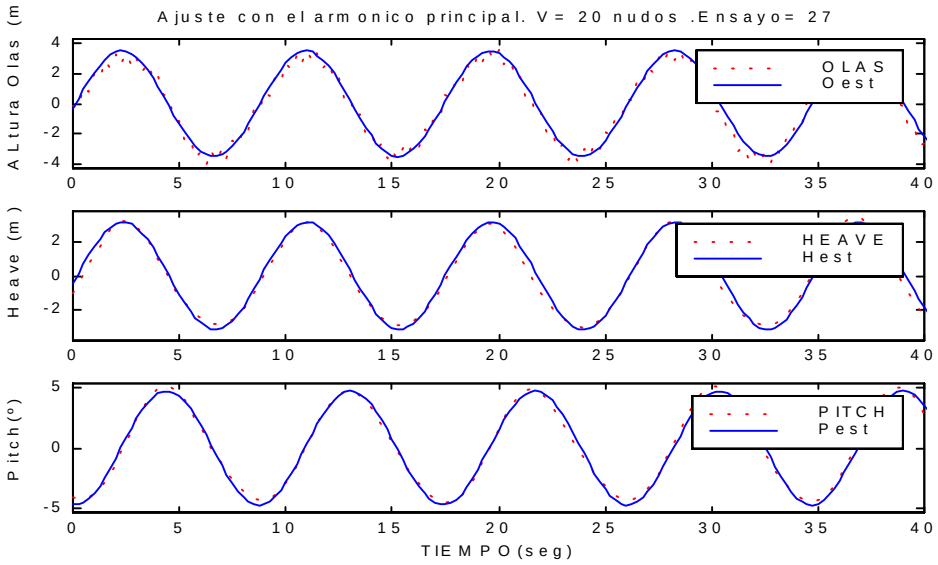


Figura 4.20: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 27.

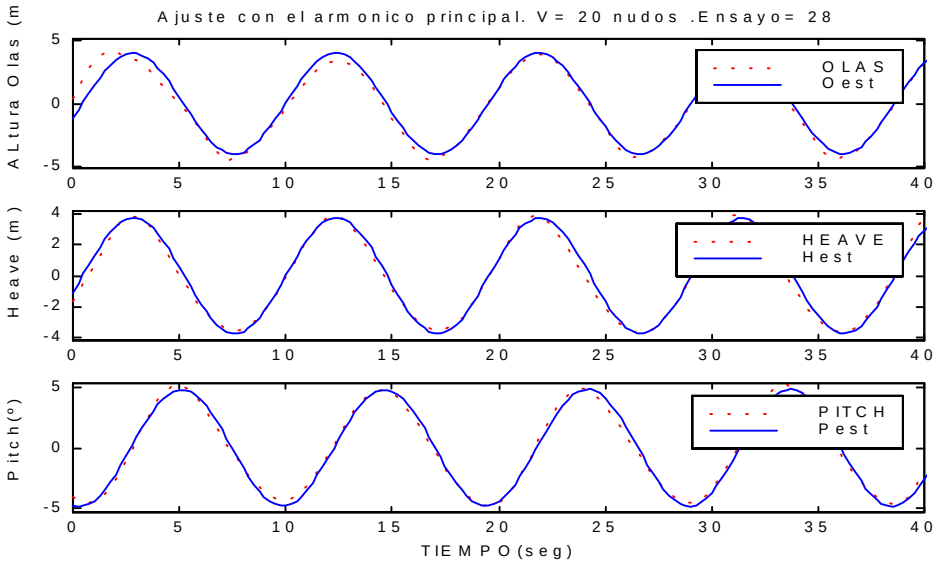


Figura 4.21: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 28.

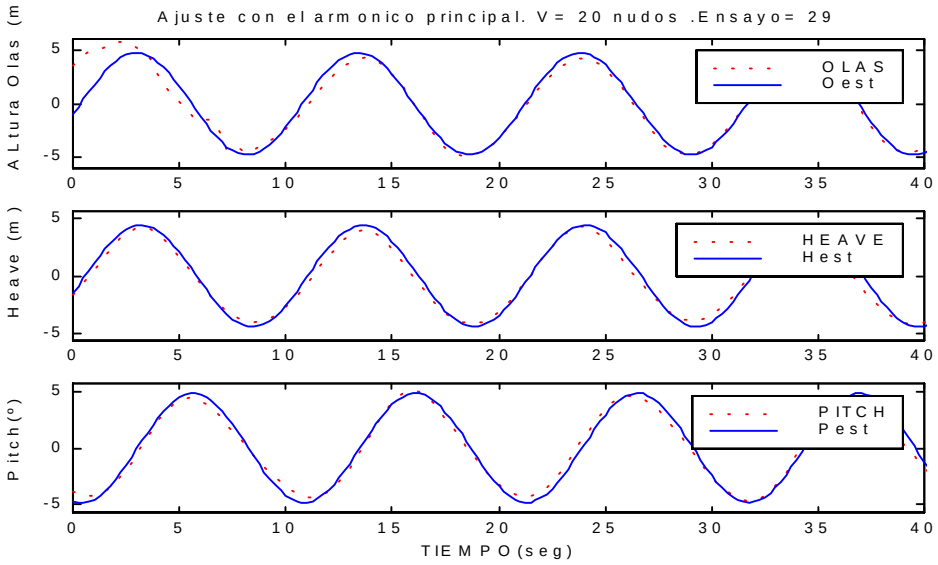


Figura 4.22: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 29.

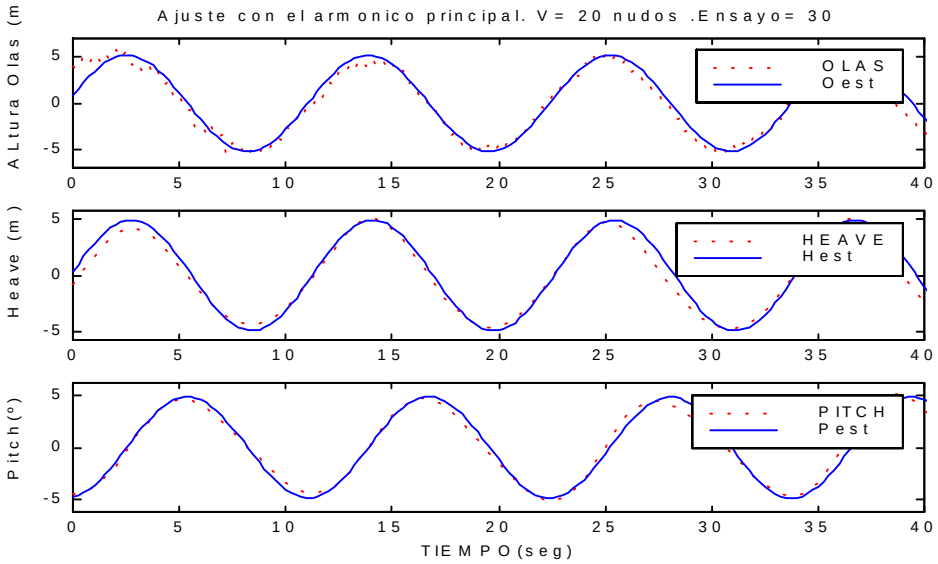


Figura 4.23: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 20 nudos y ensayo 30.

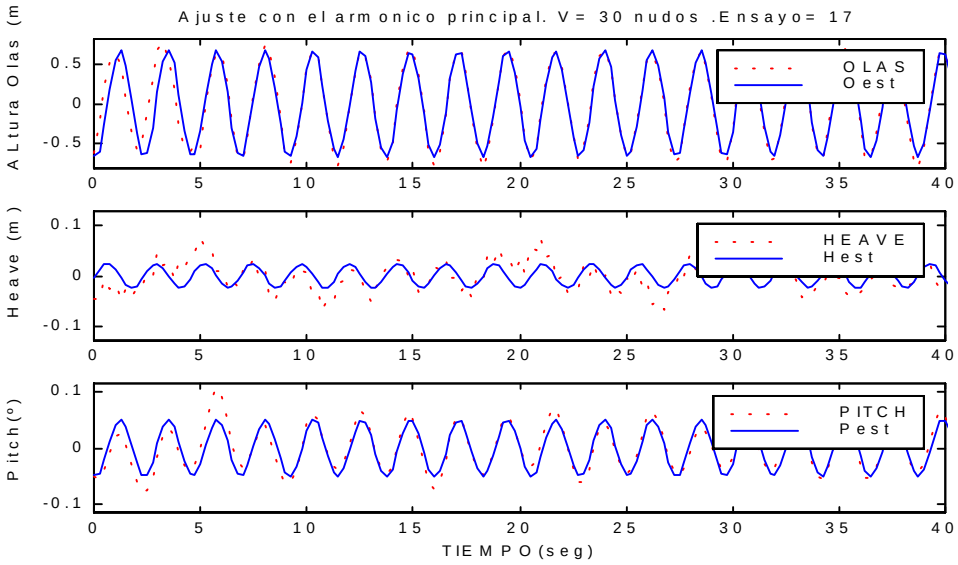


Figura 4.24: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 17.

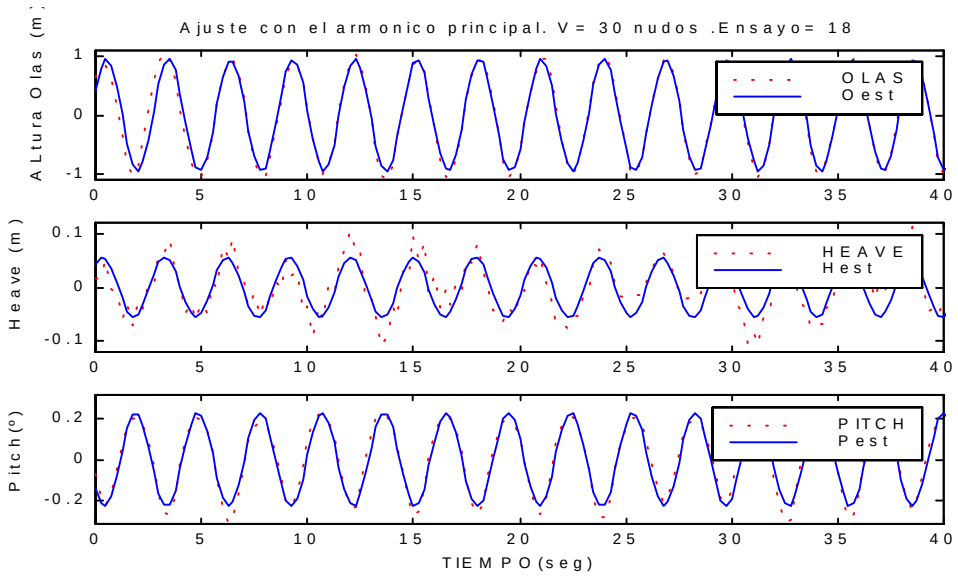


Figura 4.25: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 18.

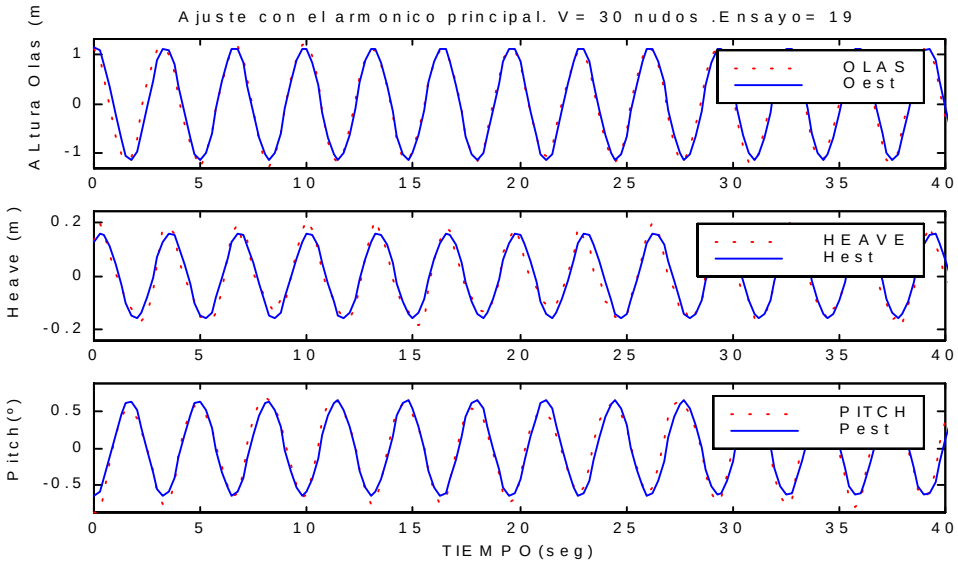


Figura 4.26: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 19.

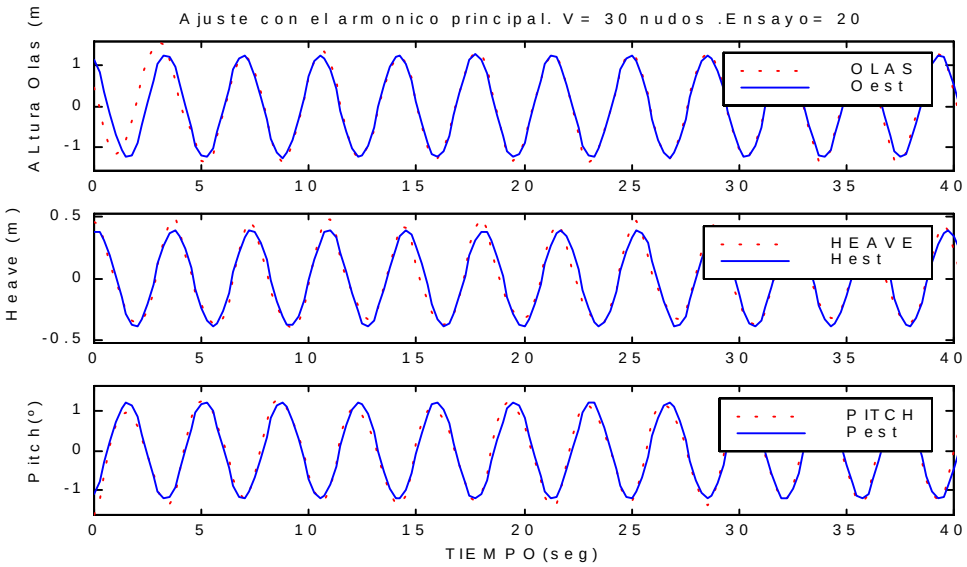


Figura 4.27: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 20.

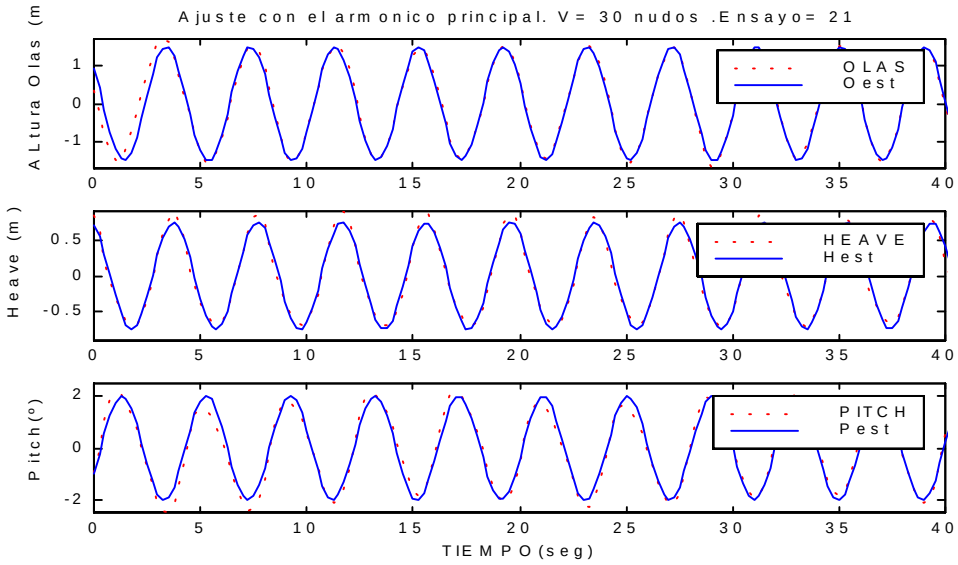


Figura 4.28: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 21.

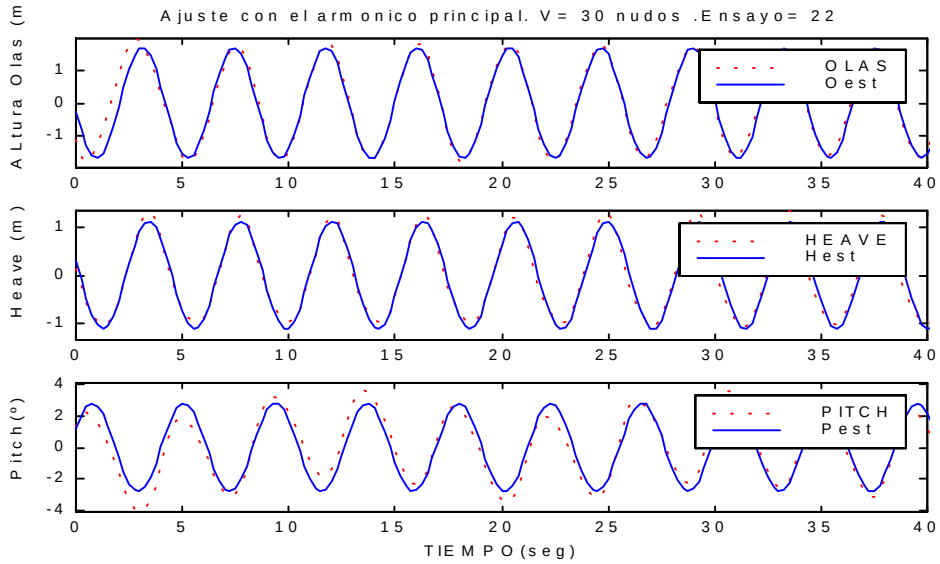


Figura 4.29: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 22.

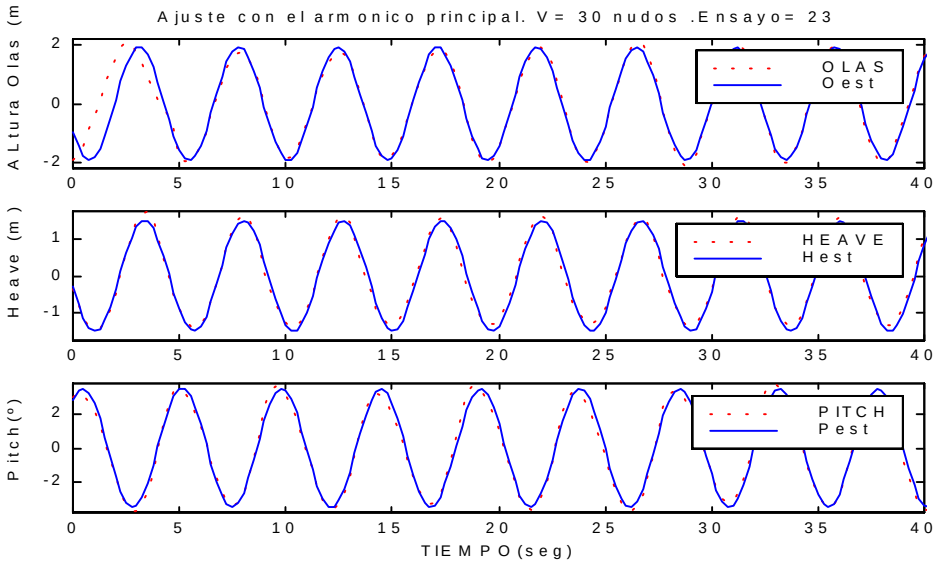


Figura 4.30: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 23.

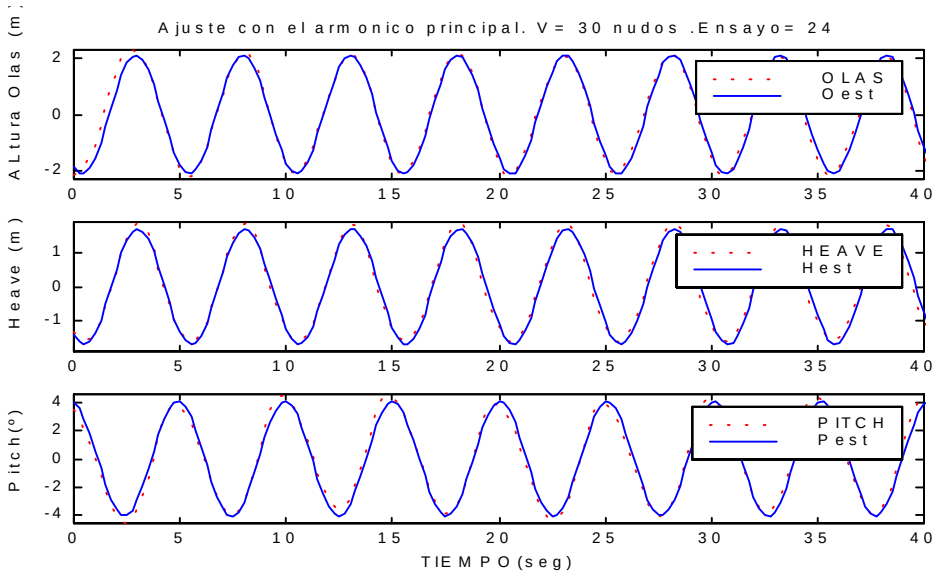


Figura 4.31: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 24.

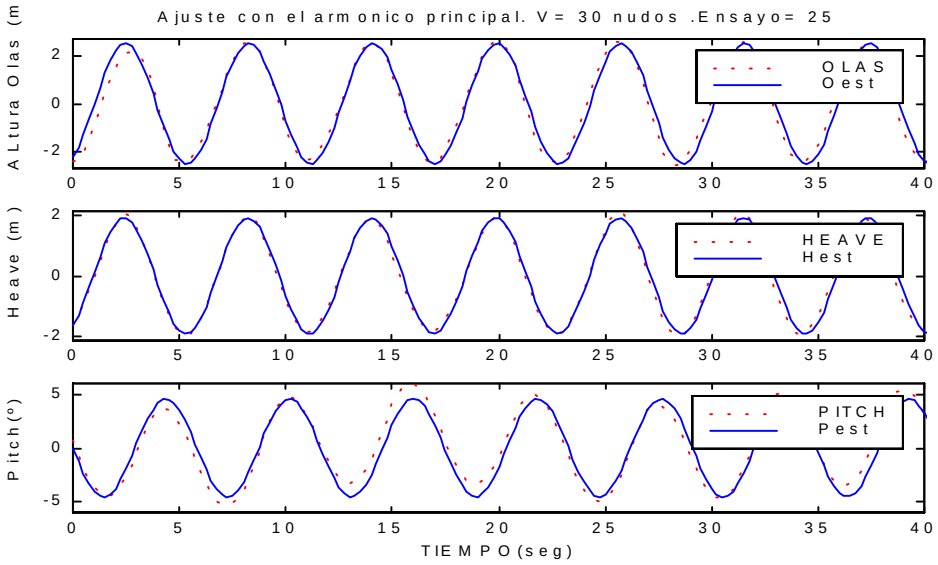


Figura 4.32: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 25.

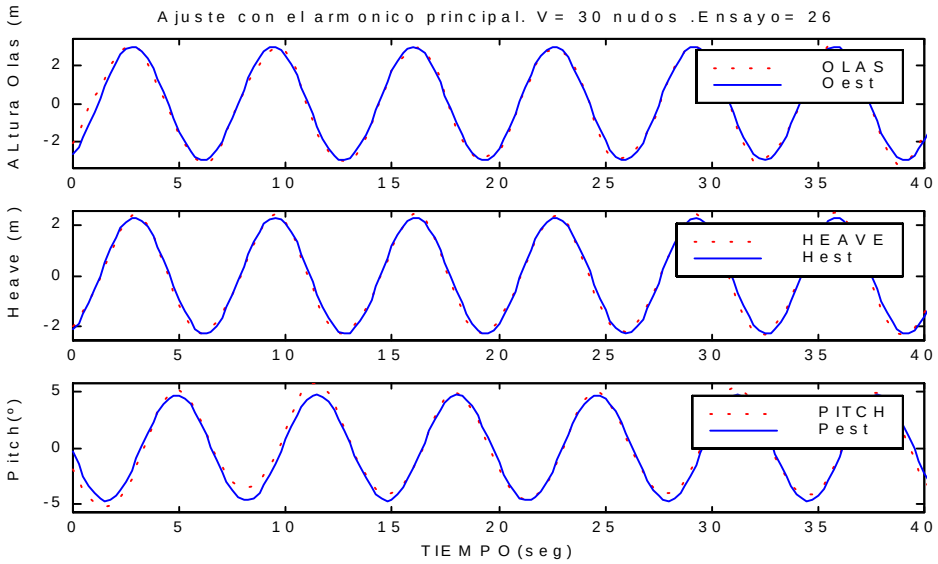


Figura 4.33: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 26.

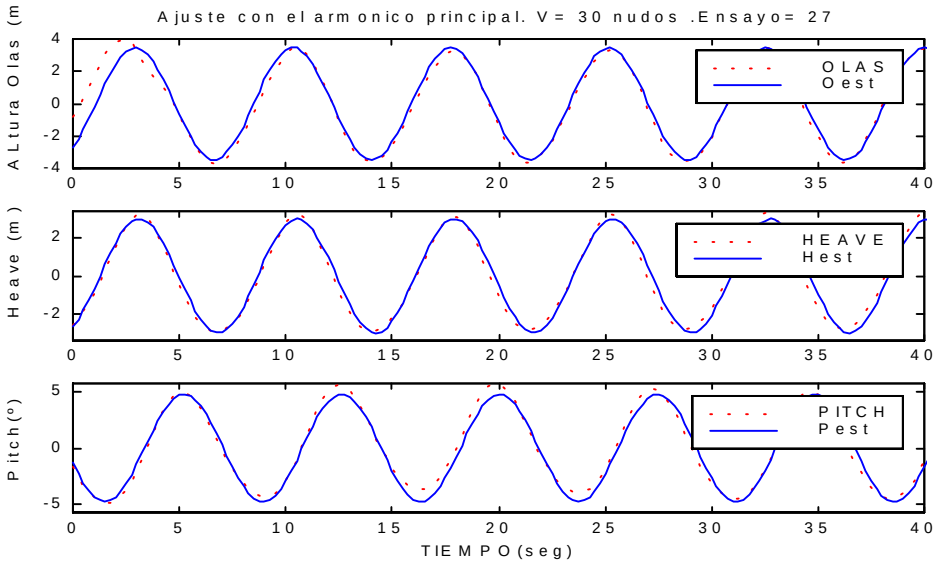


Figura 4.34: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 27.

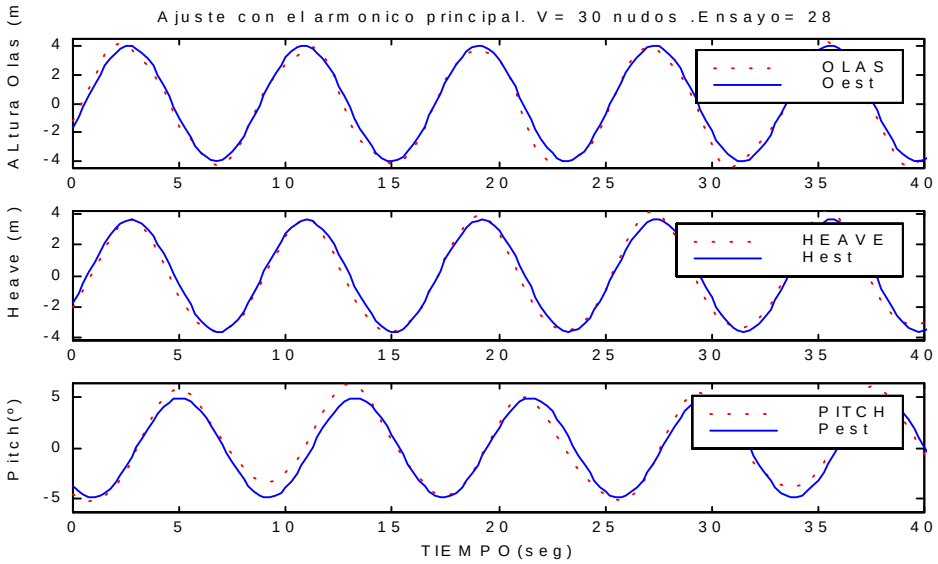


Figura 4.35: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 28.

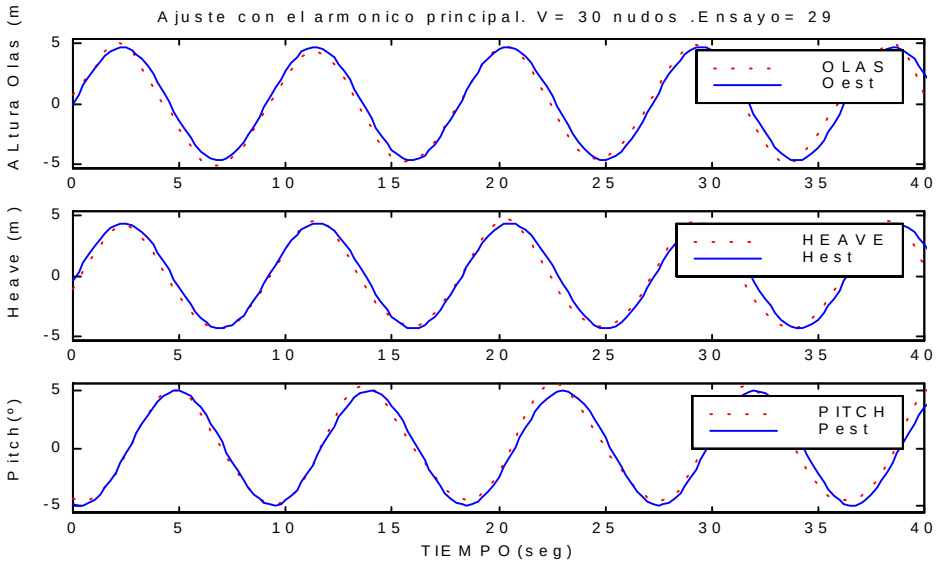


Figura 4.36: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 29.

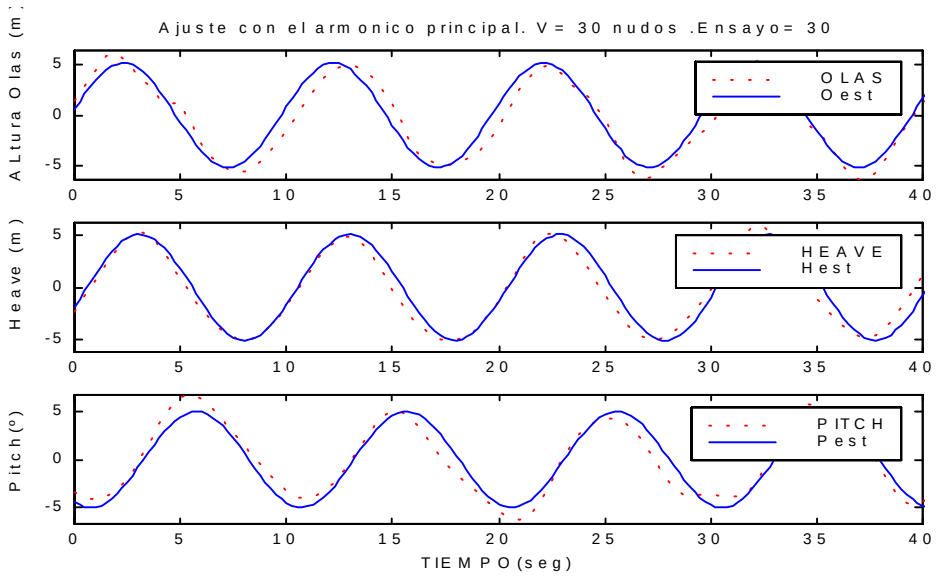


Figura 4.37: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 30 nudos y ensayo 30.

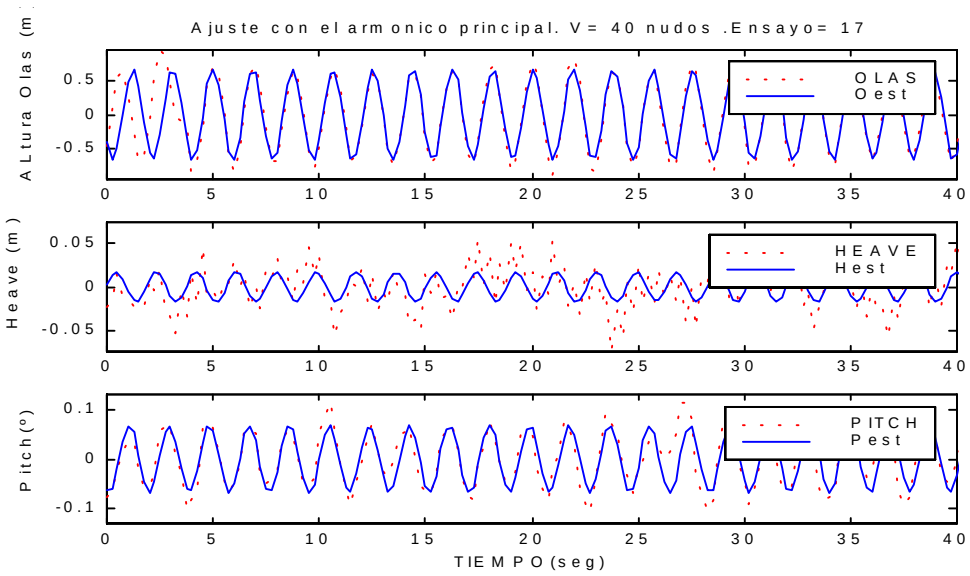


Figura 4.38: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 17.

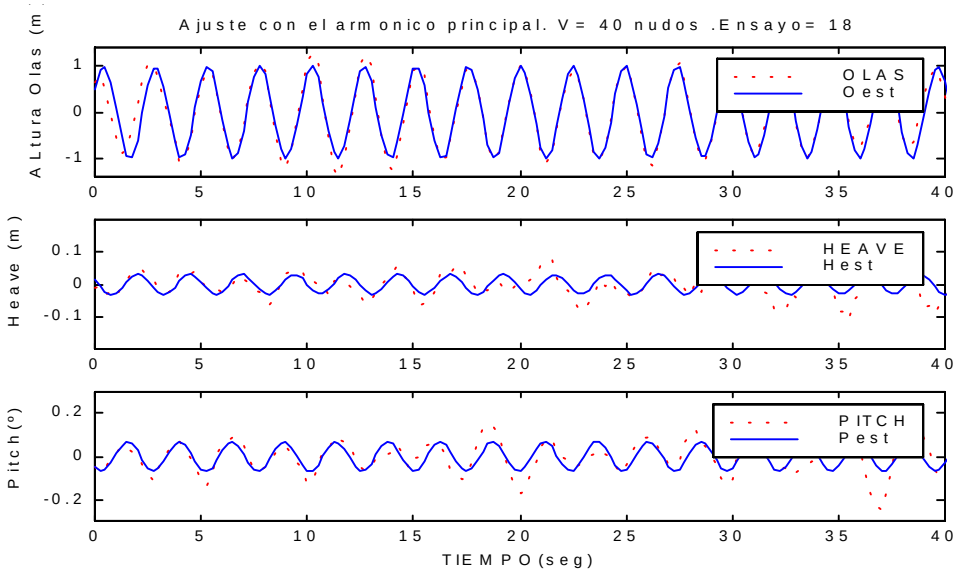


Figura 4.39: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 18.

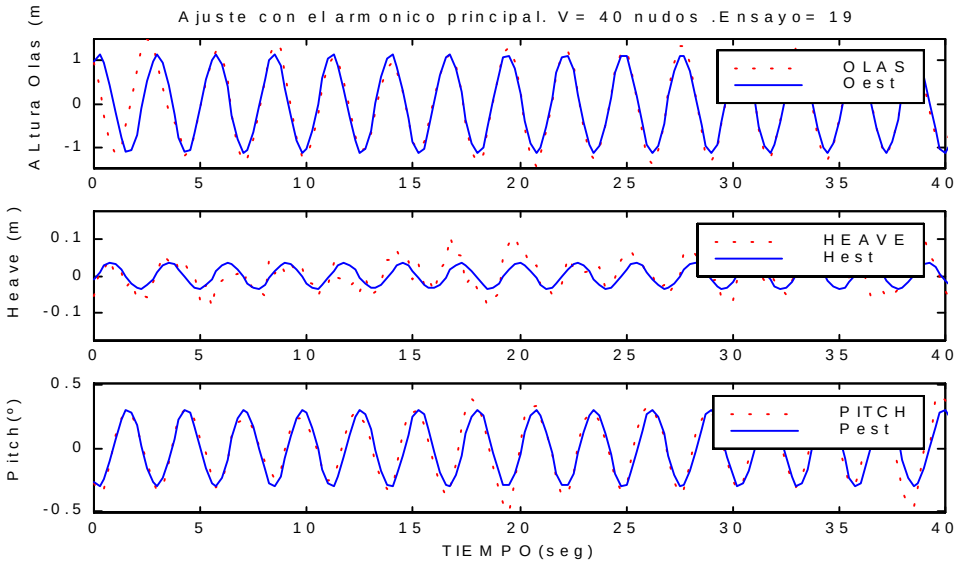


Figura 4.40: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 19.

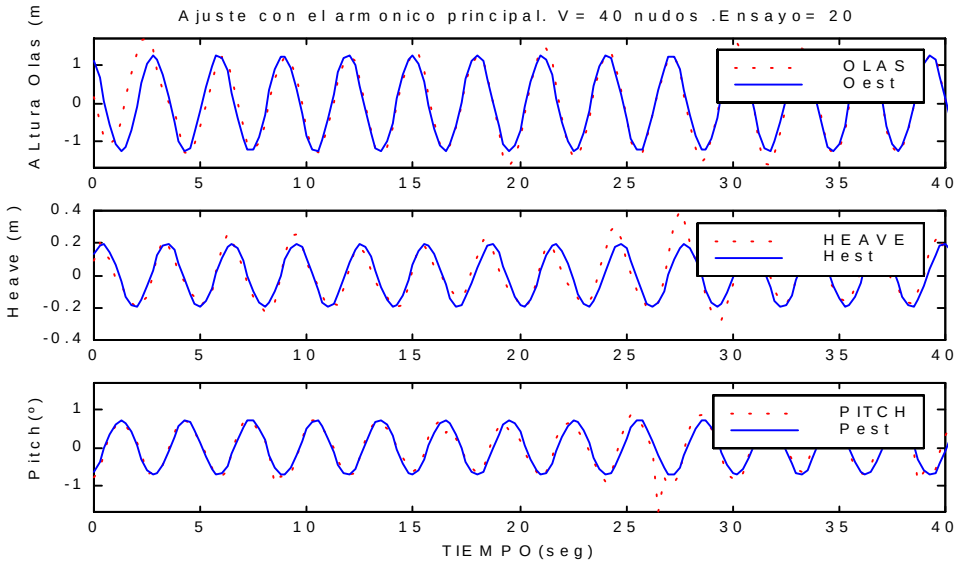


Figura 4.41: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 20.

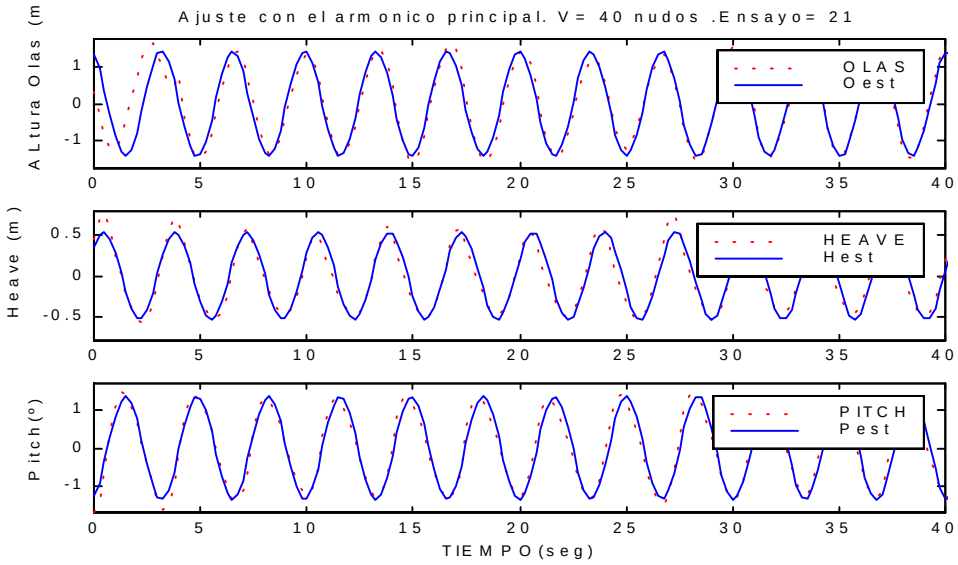


Figura 4.42: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 21.

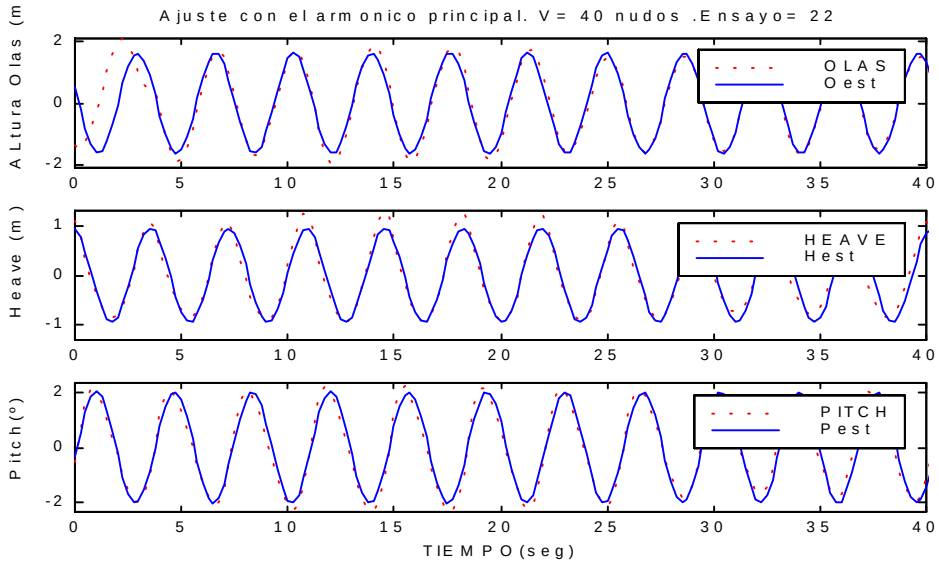


Figura 4.43: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 22.

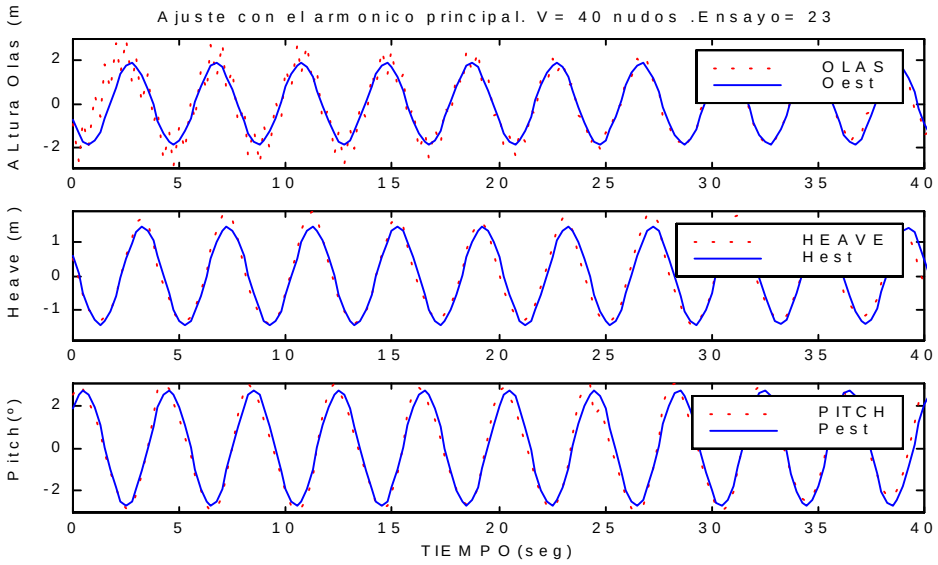


Figura 4.44: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 23.

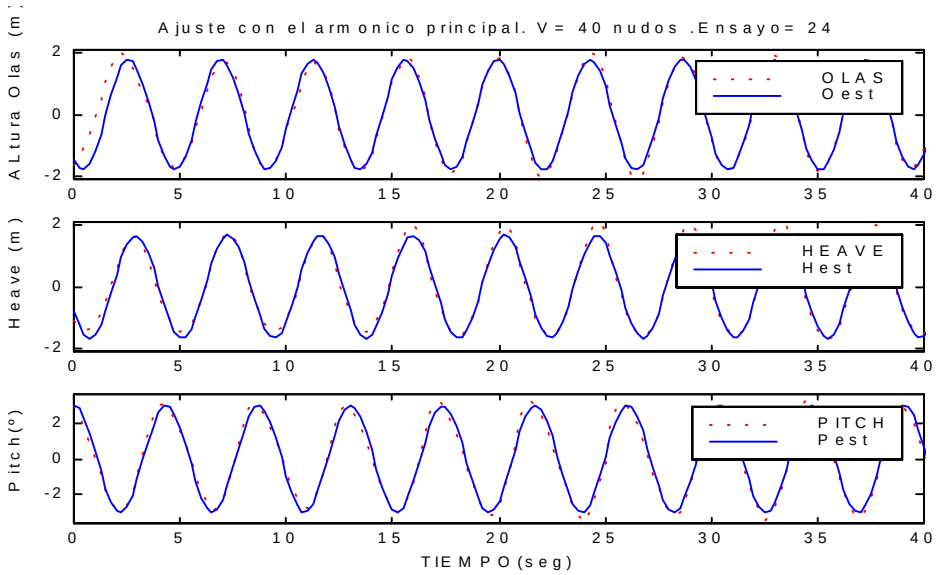


Figura 4.45: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 24.

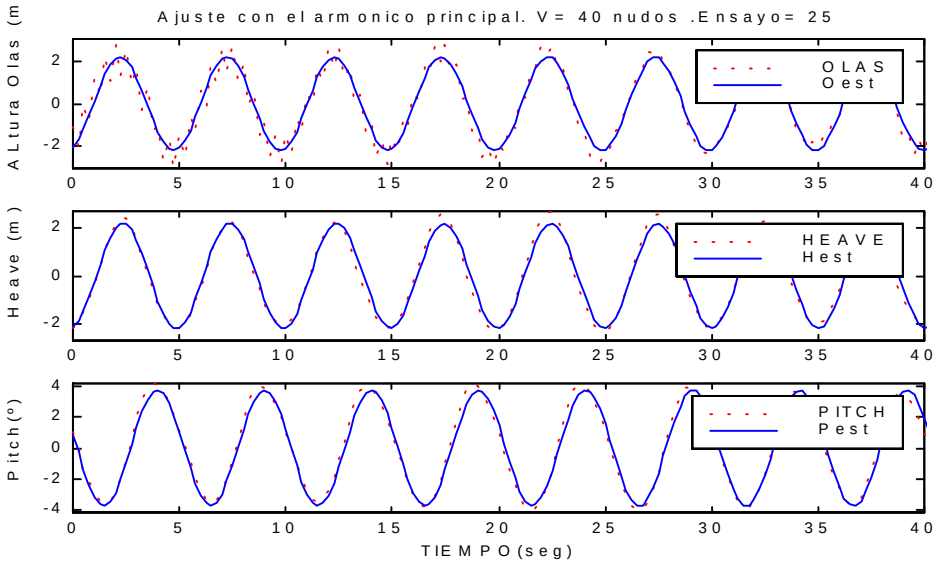


Figura 4.46: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 25.

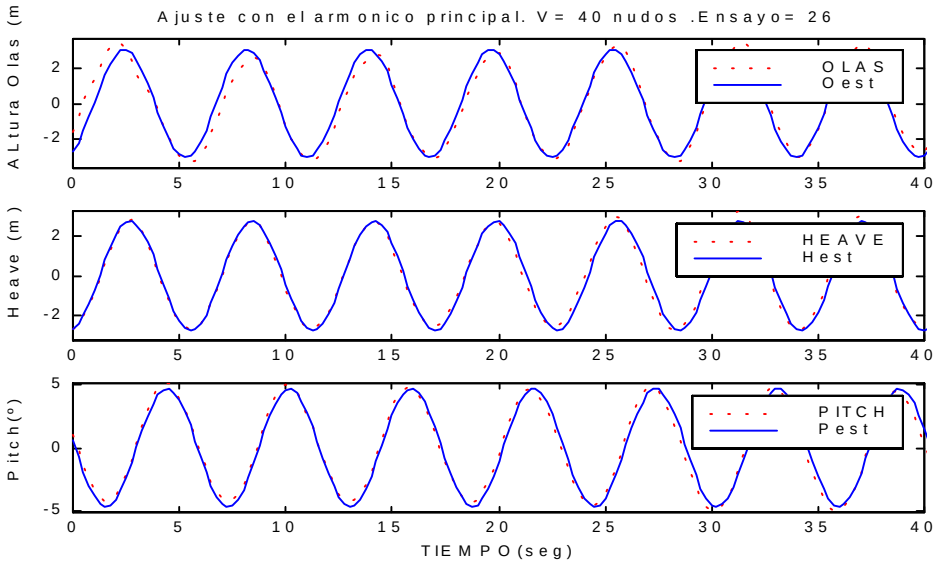


Figura 4.47: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 26.

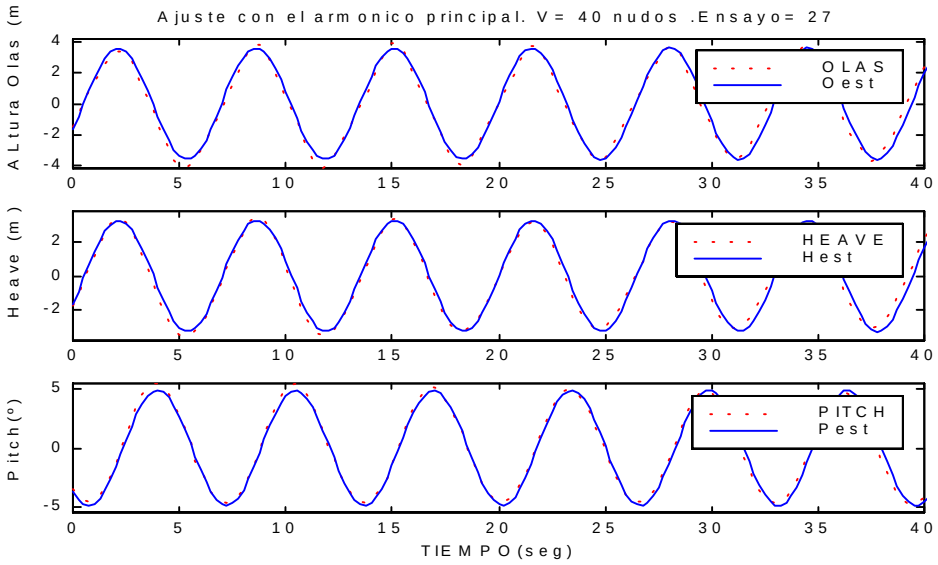


Figura 4.48: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 27.

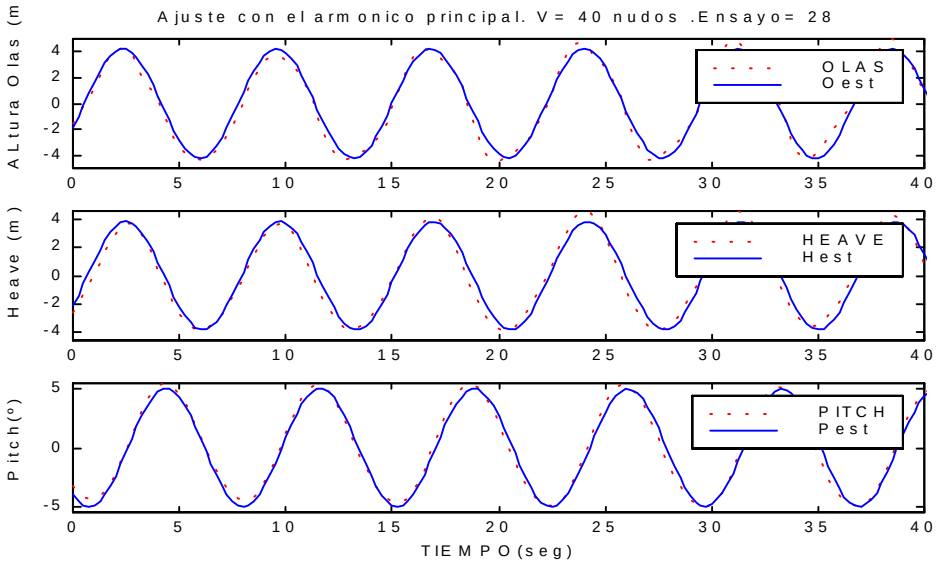


Figura 4.49: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 28.

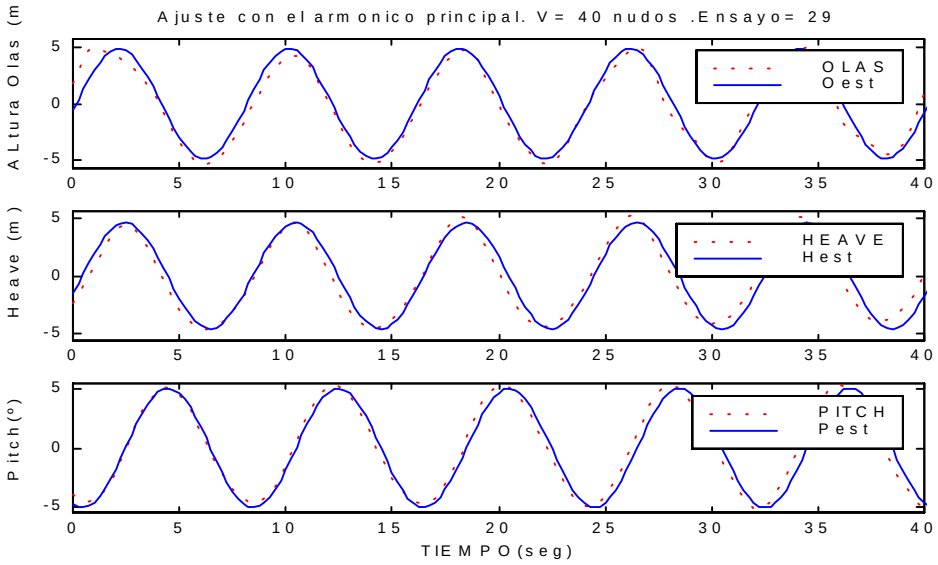


Figura 4.50: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 29.

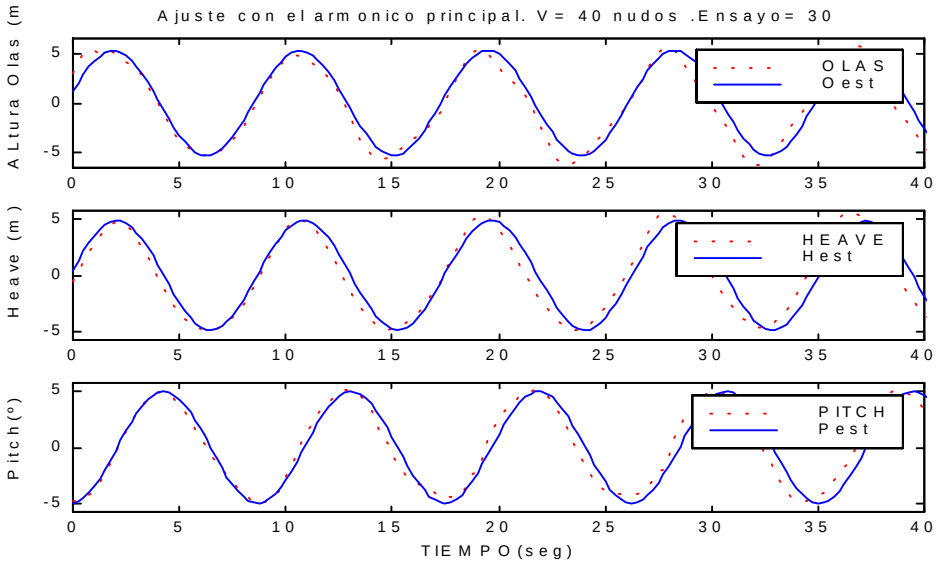


Figura 4.51: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE y las estimadas Oest, Pest y Hest , para velocidad 40 nudos y ensayo 30.

4.3 GRAFICAS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.

Los ensayos entregados por CEHIPAR en marzo de 1999, se diferenciaban a los de julio de 1998 en que las series temporales se encontraban corregidas ya al centro de gravedad del buque. Esto implica que en el dominio de la frecuencia los espectros de las series temporales de marzo-99 sean iguales a los de las series temporales de julio-99, ya que el espectro aquí mostrado se calcula teniendo únicamente en cuenta al módulo de las series. Recuérdese que el medir la altura de olas en un punto distinto del centro de gravedad se refleja en un retardo, que afecta únicamente a la fase.

4.3.1 RESPUESTA EN FRECUENCIA ESTIMADA CON LA FUNCION SPA.

En las Figuras 4.52 a 4.60 se muestra el diagrama de Bode estimado con la función **spa.m** a partir de :

a) Entrada : serie temporal de altura de olas. Salida : serie temporal movimiento heave
b) Entrada : serie temporal de altura de olas. Salida : serie temporal movimiento pitch

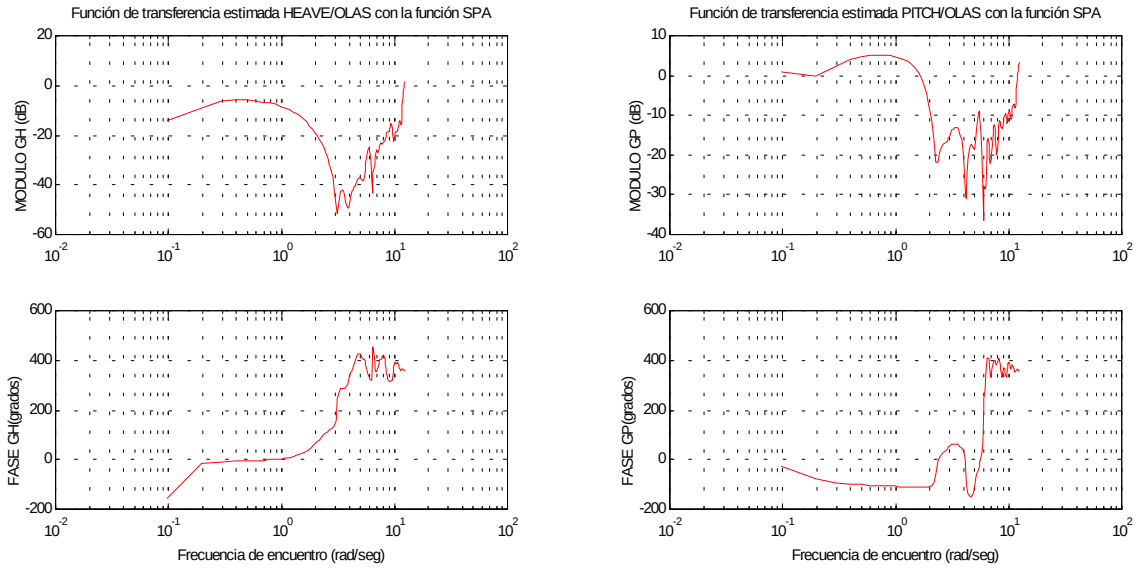


Figura 4.52: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 20 nudos y SSN=4. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

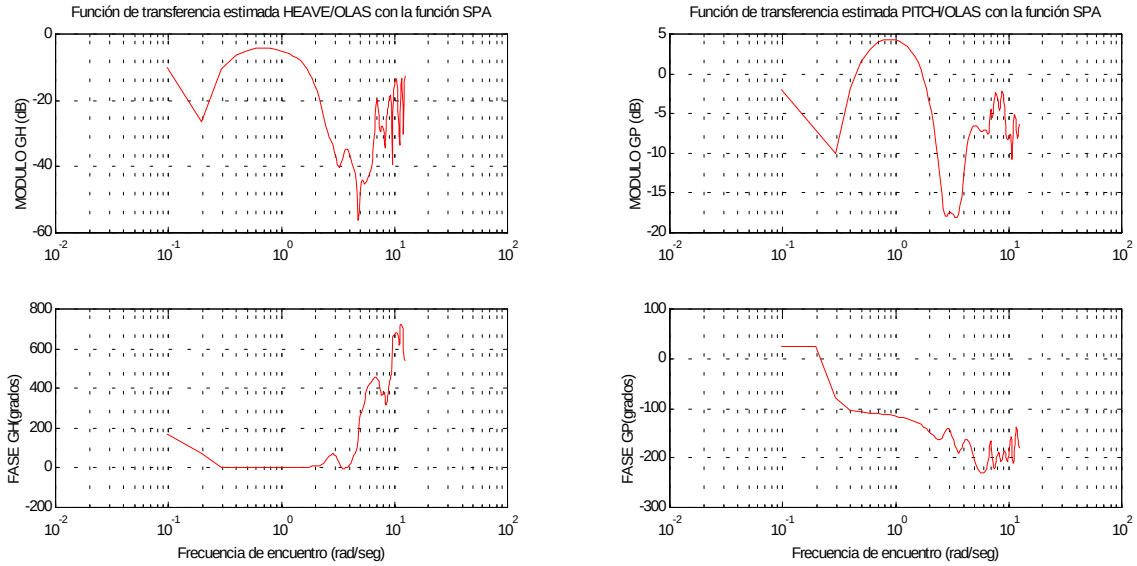


Figura 4.53: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 30 nudos y SSN=4. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

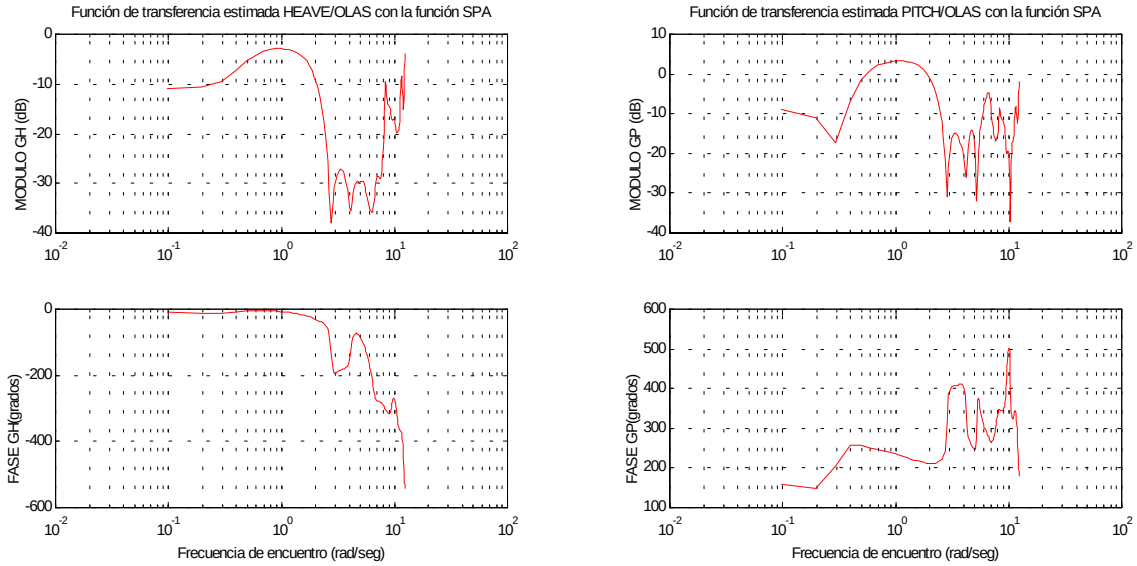


Figura 4.54: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 40 nudos y SSN=4. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

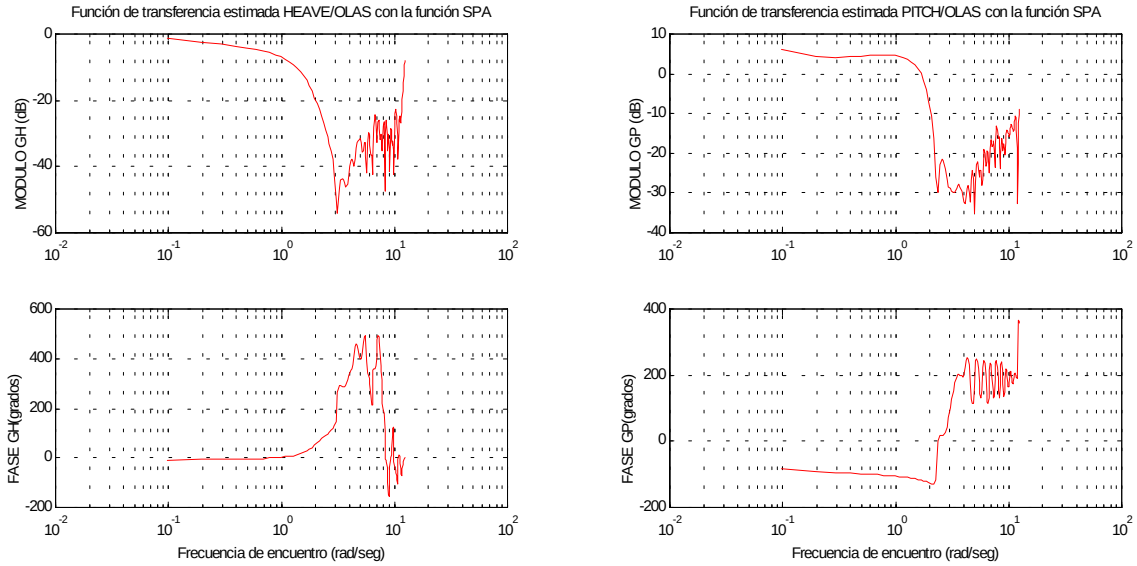


Figura 4.55: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 20 nudos y SSN=5. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

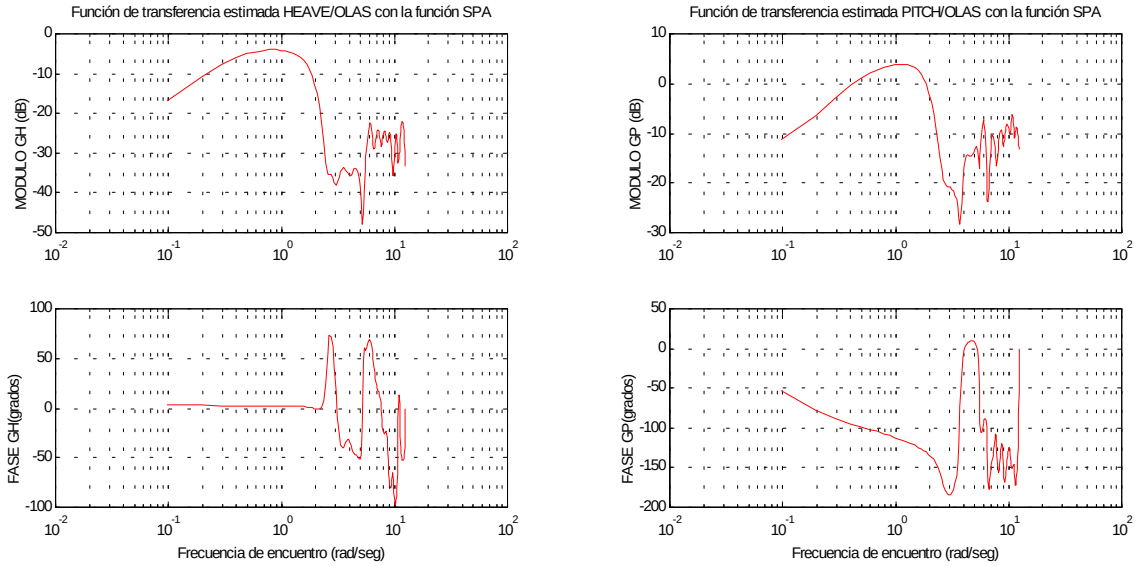


Figura 4.56: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 20 nudos y SSN=5. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

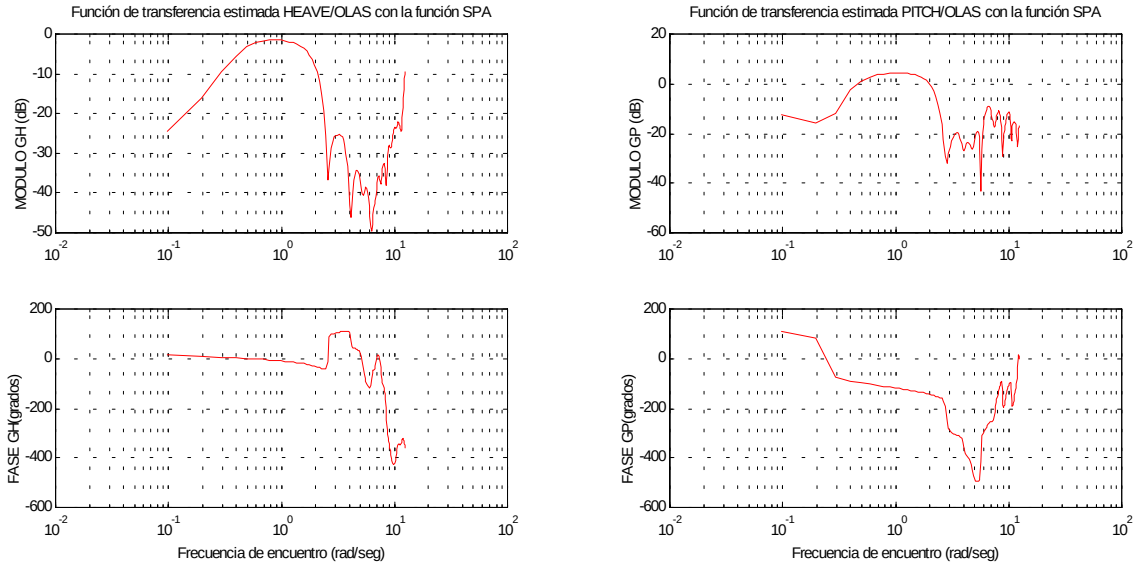


Figura 4.57: Funciones de transferencia G_H y G_P estimadas a partir de las series temporales del ensayo realizado a 40 nudos y SSN=5.

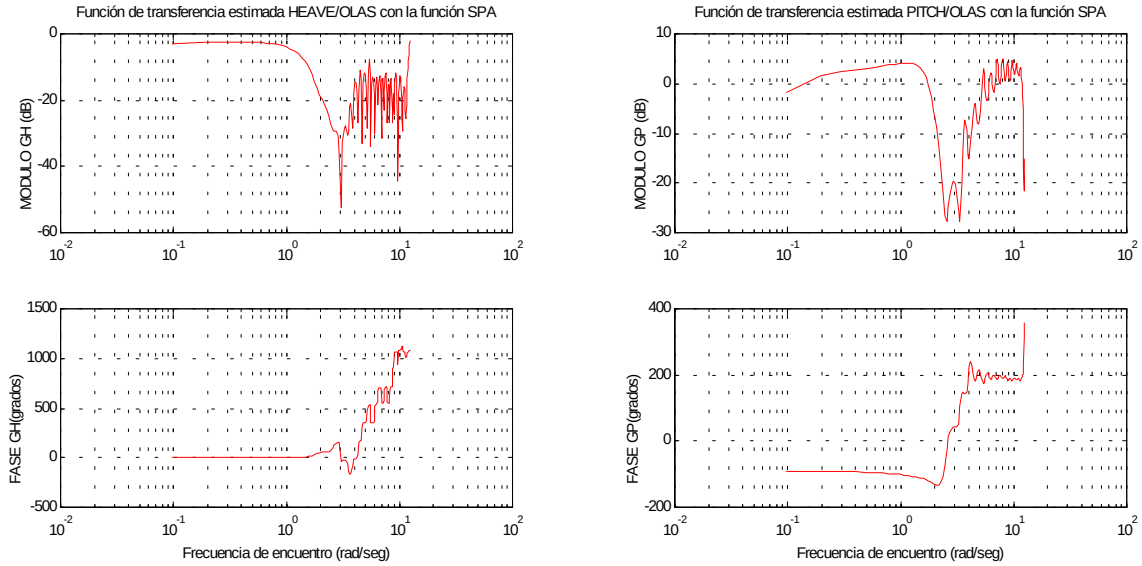


Figura 4.58: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 20 nudos y SSN=6. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

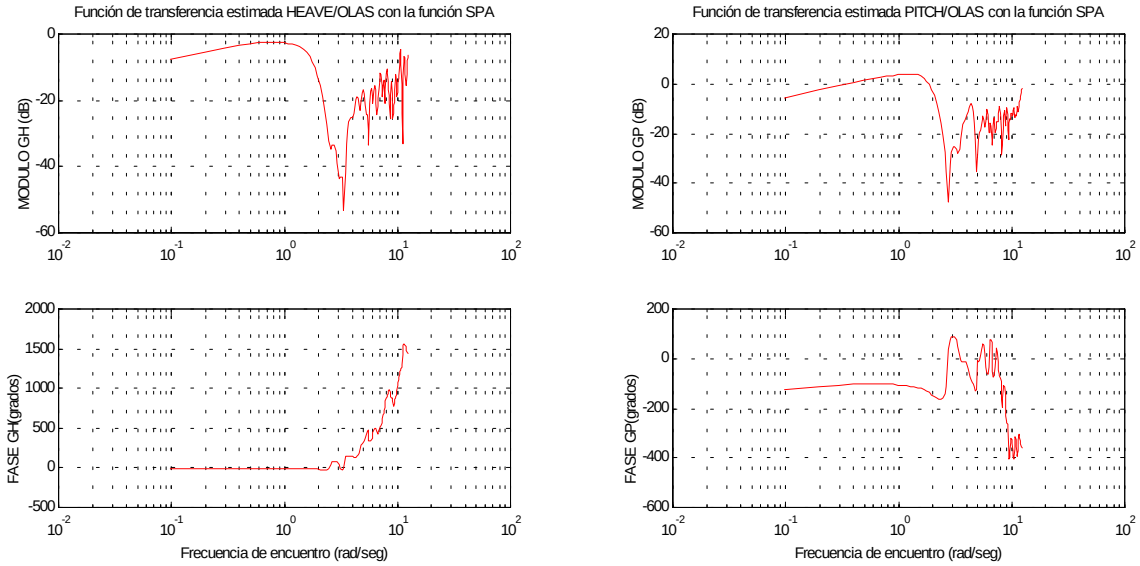


Figura 4.59: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 30 nudos y SSN=6. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

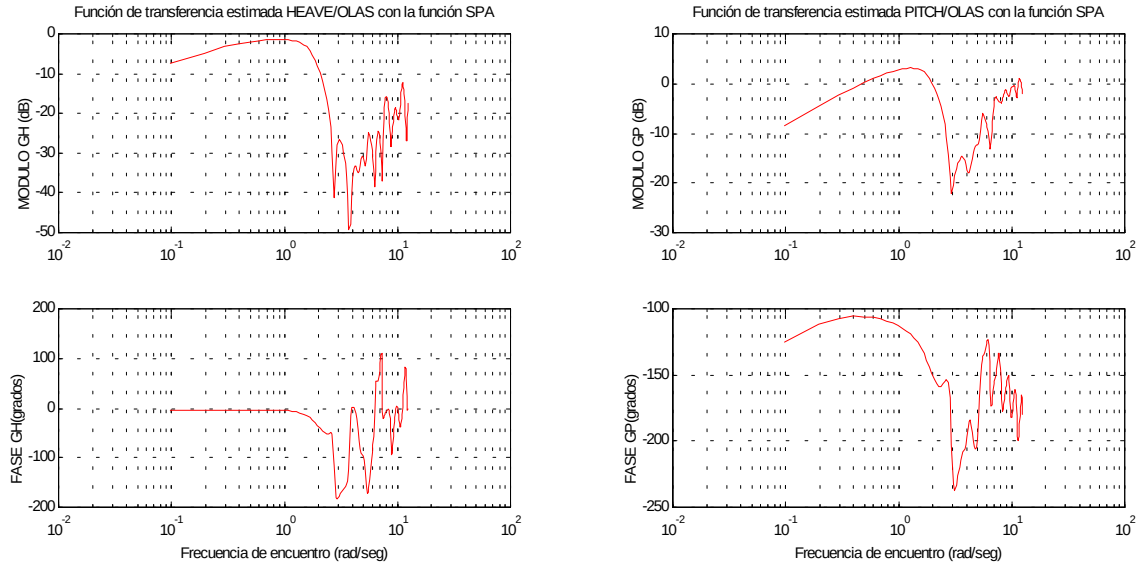


Figura 4.60: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 40 nudos y SSN=6. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

5. SERIES TEMPORALES CORREGIDAS A PROA

El canal proporciona ficheros con los series temporales de los experimentos realizados tanto para oleaje regular como para oleaje irregular. Estas series contienen toda la evolución del barco durante los experimentos: heave, pitch, aceleraciones en diferentes cuadernas. Una vez representadas gráficamente las series se pudo concluir que las series de julio del 98 contenían datos en mejor estado que las de marzo del 99; estas últimas poseen bastante ruido. Por ello se procedió a trabajar con la serie más antigua.

Como anteriormente se ha dicho vamos a tratar solamente los datos de julio del 98. En estas series el oleaje está medido 41.25 metros (a escala real) por delante de la proa, para que el oleaje no se vea perturbado por el casco del barco. Nosotros queremos considerar el oleaje en la proa del barco, por lo tanto tenemos que trasladar el oleaje de las series temporales a la proa. Para ello hay que tener en cuenta dos movimientos: uno el avance del barco con respecto al sistema de referencia tierra y otro el avance del oleaje. El primero consiste en una velocidad constante, por lo cual no representa ningún problema. En cambio el avance del oleaje depende del tipo de ola, las olas más grandes avanzan mas deprisa que las olas más pequeñas. La fórmula que nos da esta velocidad de avance es la siguiente:

$$Vo = \frac{g}{w_o} \tag{1}$$

Como se muestrea con un periodo de 0.25 seg. y las medidas tienen como variable de referencia el tiempo, esta diferencia en posición se debe pasar a tiempo y después a periodos de muestreo, que nos servirán para desplazar las series. Para ello se ha implementado la función **v2p.m** (ver apéndice-D).

Para nuestros modelos necesitamos las aceleraciones de heave y pitch. Como se ha detallado el canal no proporciona estas aceleraciones, sino las resultantes en las diferentes cuadernas del barco. A partir de las proporcionadas se han generado las que se necesitan.

El centro de gravedad del barco se va a tomar como centro de giro. Éste se encuentra entre la cuaderna 5 y la 10, por lo cual, la aceleración heave, que es la aceleración vertical del centro de gravedad, será el promedio de las dos. En cuanto a la aceleración pitch se obtiene a partir de la aceleración en la cuaderna 20 , que es la aceleración vertical en la proa y la anteriormente calculada. Utilizando las masas y los momentos de inercia se han calculado las fuerzas y momentos resultantes.

5.1 NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS DE DATOS

5.1.1 NOMENCLATURA DE ARCHIVOS .MAT

Se distingue entre series temporales medidas utilizando oleaje irregular y series temporales medidas utilizando oleaje regular.

- ENSAYOS REALIZADOS CON OLEAJE IRREGULAR :

La nomenclatura utilizada para nombrar los archivos es la siguiente :

exper[X]e[Y].mat

donde :
[X] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real: 2 indica 20 nudos, 3 indica 30 nudos y 4 indica 40 nudos.
[Y] hace referencia al estado de la mar 4, 5 o 6
Por ejemplo, el archivo exper4e4.mat hace referencia a velocidad 40 nudos y estado de la mar 4.

- ENSAYOS REALIZADOS CON OLEAJE REGULAR :

La nomenclatura utilizada para nombrar los archivos es la siguiente :

exper[X][YY].mat

donde :
[X] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real: 2 indica 20 nudos, 3 indica 30 nudos y 4 indica 40 nudos.
[YY] hace referencia al número de ensayo (Tabla 2.2).
Por ejemplo, el archivo exper217.mat hace referencia a velocidad 20 nudos y número de ensayo 17.

Cada uno de estos archivos **exper[X]e[Y].mat** y **exper[X][YY].mat** contiene las siguientes variables** :

t	vector de tiempo.
ola	serie temporal de altura de ola
heave	serie temporal de movimiento heave
pitch	serie temporal de movimiento pitch
acvhe	serie temporal de la componente de la aceleración vertical asociada al heave.
acvpi	serie temporal de la componente de la aceleración vertical asociada al pitch.
Fh	serie temporal de la fuerza resultante heave.
Fp	serie temporal de la fuerza resultante pitch.

Indicar que a partir de los archivos **exper[X]e[Y].mat** se generó el archivo de datos **variables_simp.mat** donde se encuentran las series temporales tanto de altura de olas corregidas a proa, movimiento heave y movimiento pitch, para las velocidades de 20, 30 y 40 nudos y estados de la mar 4, 5 y 6. Estas series se encuentran ya con las medias y tendencias eliminadas, ya que se les aplicó previamente la función **dtrend.m**. dentro de este archivo la nomenclatura de las variables es :

[M][XX][Y]ad

donde
[M] hace referencia a la magnitud medida: P para el movimiento de pitch y H para el movimiento de heave..
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[Y] hace referencia al estado de la mar 4, 5 o 6.
La d al final del nombre indica que las medias y las tendencias han sido eliminadas.

Las variables [M][XX][Y]ad tienen dos columnas cada una, [Salida, entrada] , donde salida hace referencia al movimiento de heave o de pitch y la entrada hace referencia a la altura de olas.

Indicar también que a partir de los archivos **exper[X][YY].mat** se generó el archivo **simregproa.mat** donde se encuentran las series temporales tanto de altura de olas corregidas a proa, movimiento heave y movimiento pitch, para las velocidades de 20, 30 y 40 nudos y los números de ensayos indicados en la Tabla 2.3. Estas series se encuentran ya con las medias y tendencias eliminadas, ya que se les aplicó previamente la función **dtrend.m**. dentro de este archivo la nomenclatura de las variables es :

o[M][XX][YY]ad

donde
[M] hace referencia a la magnitud medida P para el movimiento de pitch y H para el movimiento de heave.
[XX] hace referencia a la velocidad del ensayo a escala real 20, 30 o 40 nudos.
[YY] hace referencia al número de ensayo (ver Tabla 2.2).

** Las variables acvhe, acvpi, Fh y Fp son magitudes indirectas obtenidas tras efectuar diversos calculos con las series temporales de las aceleraciones medidas experimentalmente en las distintas cuadernas.

La d al final del nombre indica que las medias y las tendencias han sido eliminadas.

Las variables o[M][XX][YY]ad tienen dos columnas cada una,[Salida, entrada] , donde salida hace referencia al movimiento de heave o de pitch y la entrada hace referencia a la altura de olas.

También se generaron a partir de los archivos **exper[X]e[Y].mat** y **exper[X][YY].mat** los archivos **ace_reg.mat** y **ace_irreg.mat** que contienen las aceleración vertical de heave y la aceleración vertical de pitch con las medias y tendencias eliminadas.

5.2 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES.

5.2.1 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES OBTENIDAS CON OLEAJE IRREGULAR.

En las series irregulares las olas para una serie determinada no son todas iguales, por lo tanto cada una avanza con su propia velocidad. Como es imposible separar unos oleajes de otros, se ha tomado para todas las olas la pulsación del oleaje dominante en ese estado de la mar. Para cada uno de los experimentos se ha utilizado la función **v2p.m** (ver apendice-D) con la pulsación dominante en el oleaje y la velocidad del barco. En la Tabla 5.1 se muestran las pulsaciones dominantes de las olas irregulares.

Tabla 5.1: Pulsación de las olas irregulares

SSN	w_o dom.
4	0.8369
5	0.6282
6	0.4832

En las Figuras 5.1 a 5.9 se muestran las series temporales de altura de ola corregida a proa, movimiento heave y movimiento pitch almacenadas en el fichero **variables_simp.mat.**

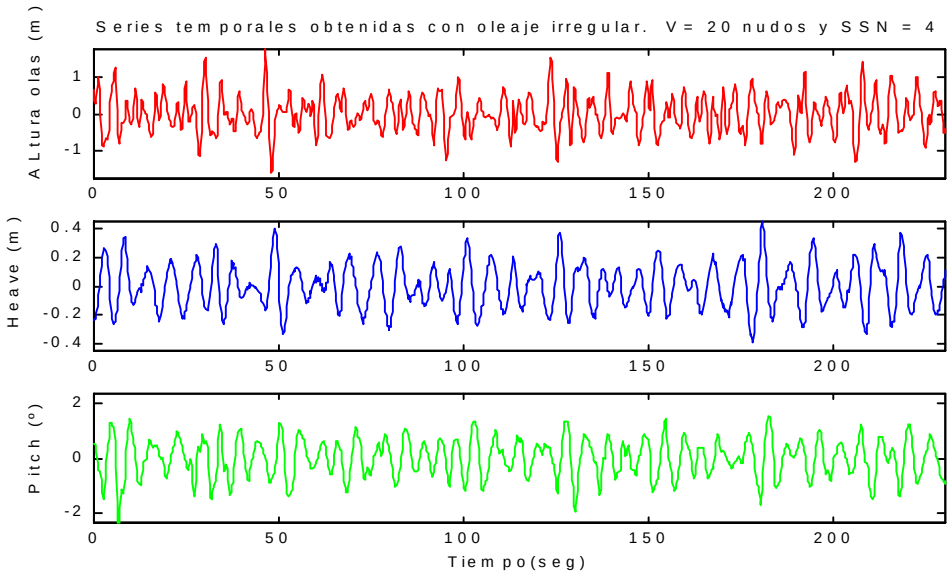


Figura 5.1 : Series temporales altura de olas corregidas a proa, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 20 nudos y estado de la mar 4.

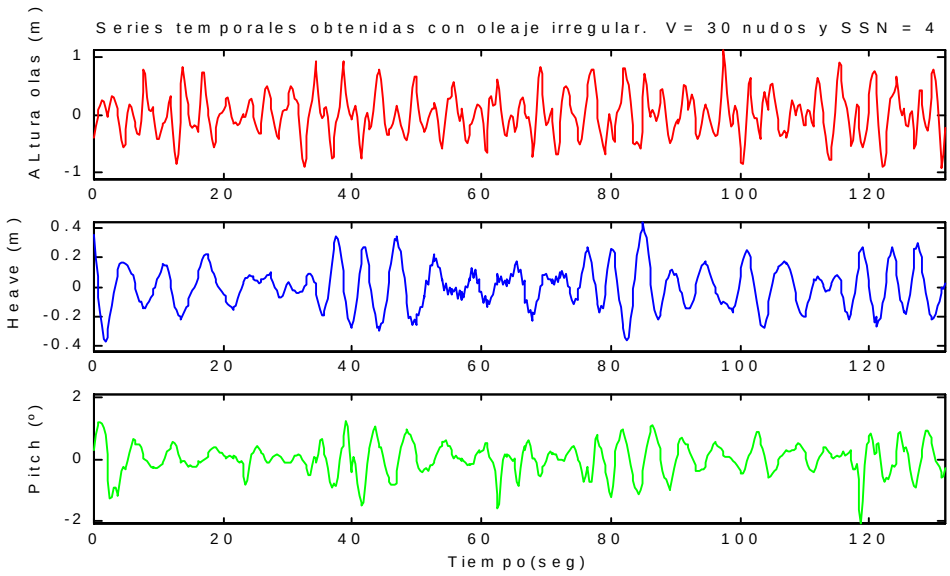


Figura 5.2: Series temporales altura de olas corregidas a proa, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 30 nudos y estado de la mar 4.

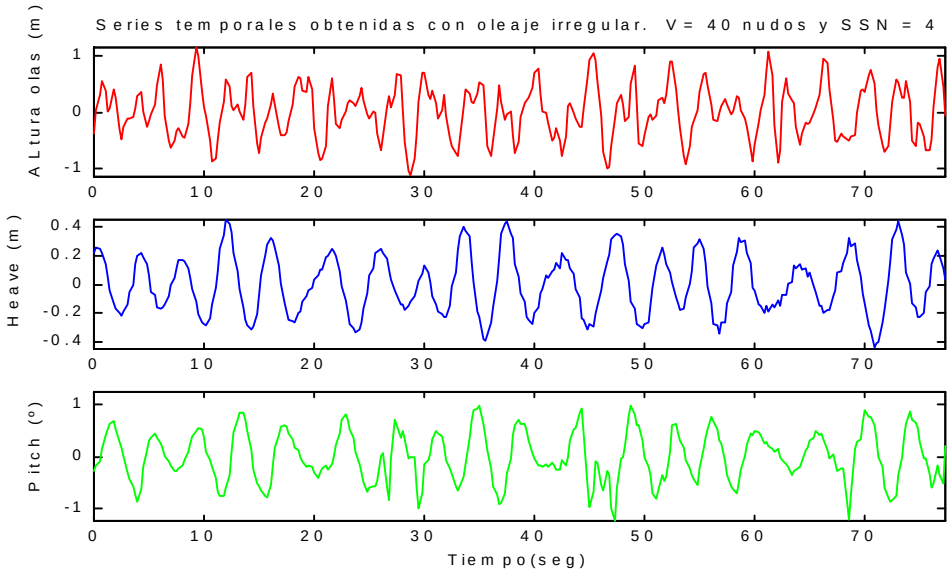


Figura 5.3: Series temporales altura de olas corregidas a proa, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 40 nudos y estado de la mar 4.

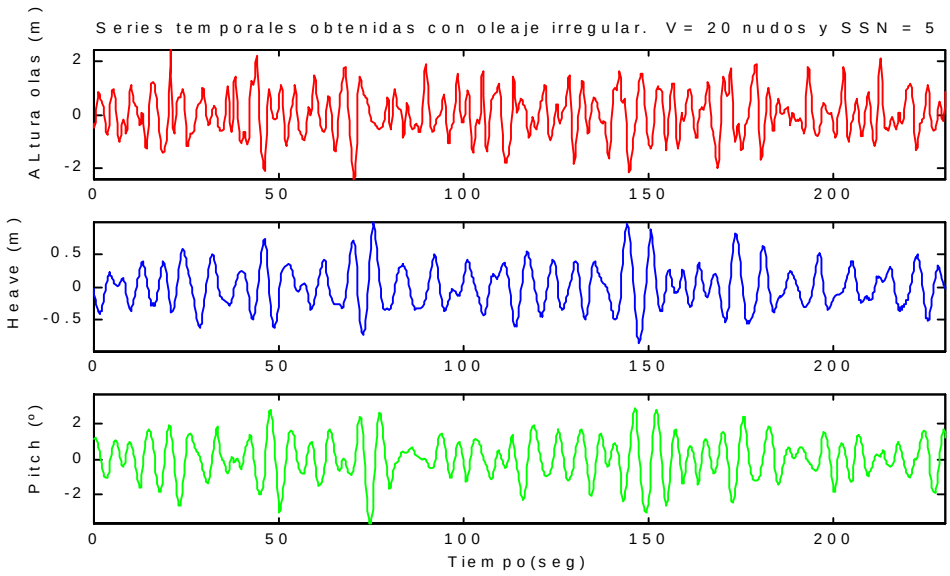


Figura 5.4: Series temporales altura de olas corregidas a proa, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 20 nudos y estado de la mar 5.

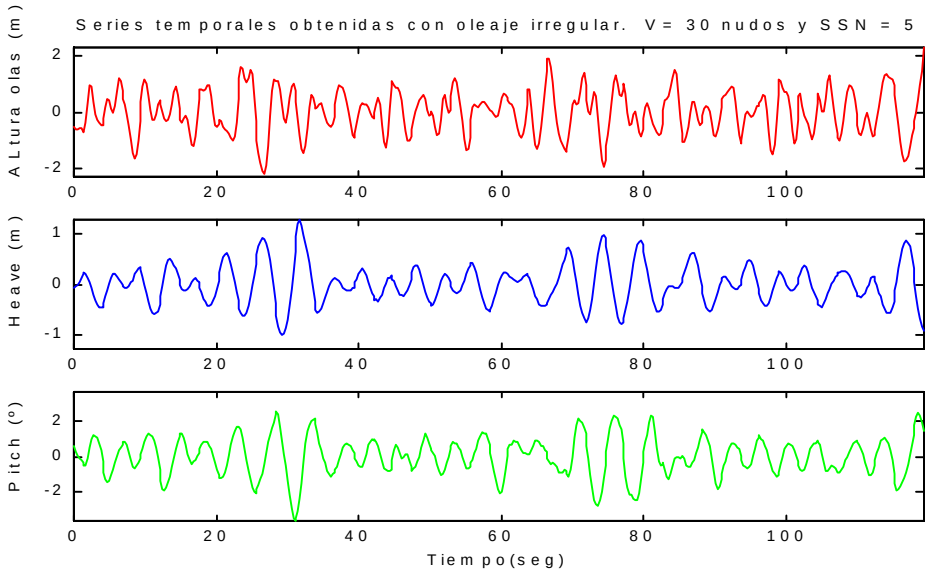


Figura 5.5: Series temporales altura de olas corregidas a proa, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 30 nudos y estado de la mar 5.

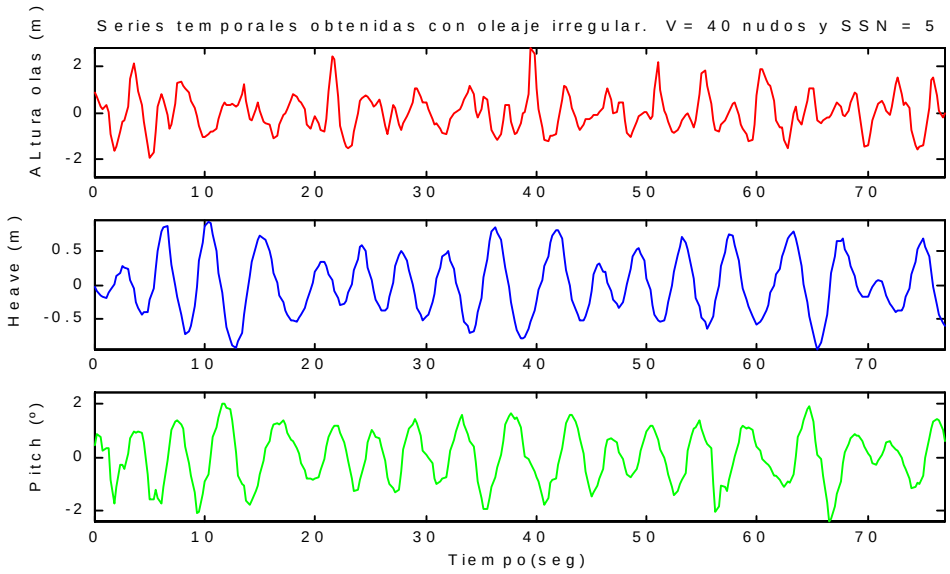


Figura 5.6: Series temporales altura de olas corregidas a proa, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 40 nudos y estado de la mar 5.

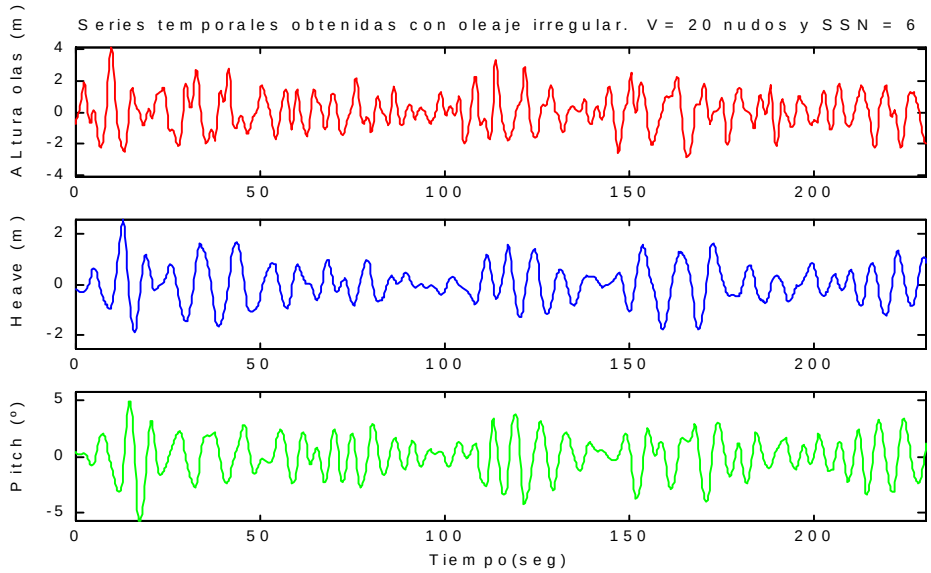


Figura 5.7: Series temporales altura de olas corregidas a proa, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 20 nudos y estado de la mar 6.

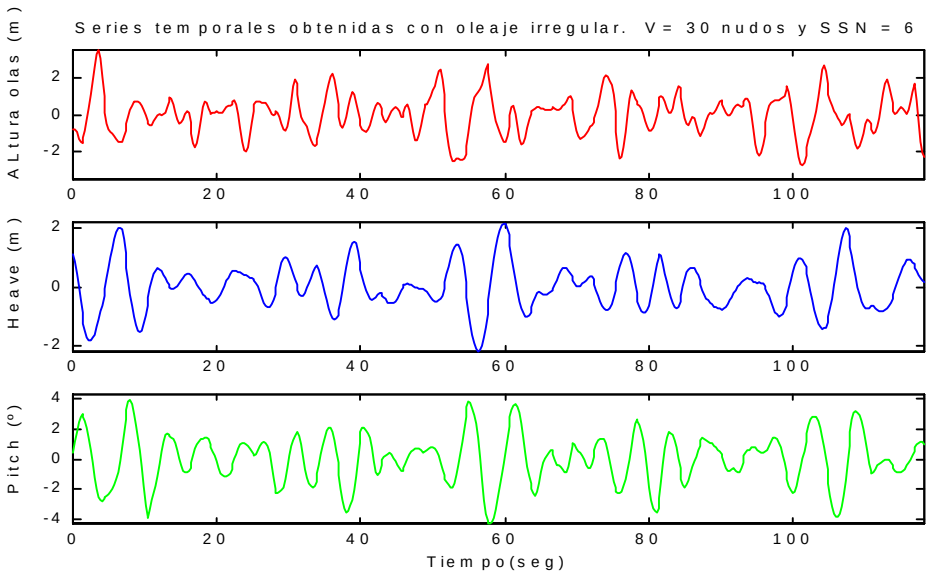


Figura 5.8: Series temporales altura de olas corregidas a proa, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 30 nudos y estado de la mar 6.

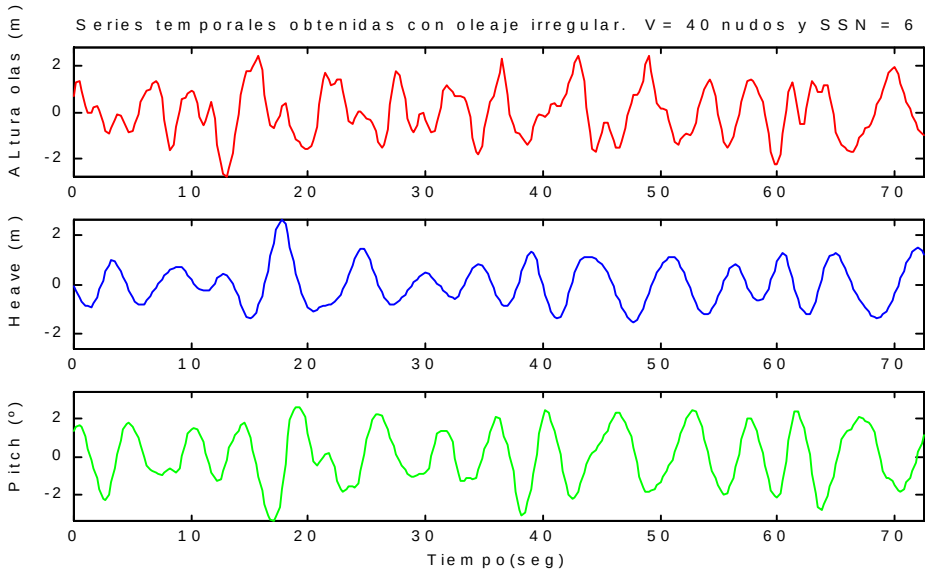


Figura 5.9: Series temporales altura de olas corregidas a proa, movimiento heave y movimiento pitch para velocidad 40 nudos y estado de la mar 6.

En las Figuras 5.10 a 5.18 se muestran las series temporales de la aceleraciones vertical del heave y del pitch, que están almacenadas en el archivo **ace_irreg.mat**

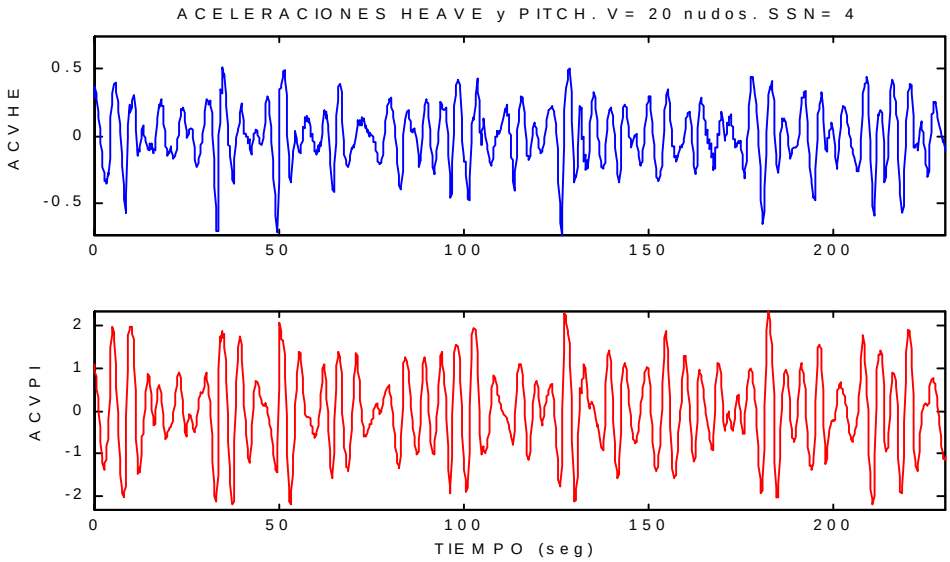


Figura 5.10: Series temporales de las aceleraciones verticales del heave (m/seg^2) y del pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y estado de la mar 4.

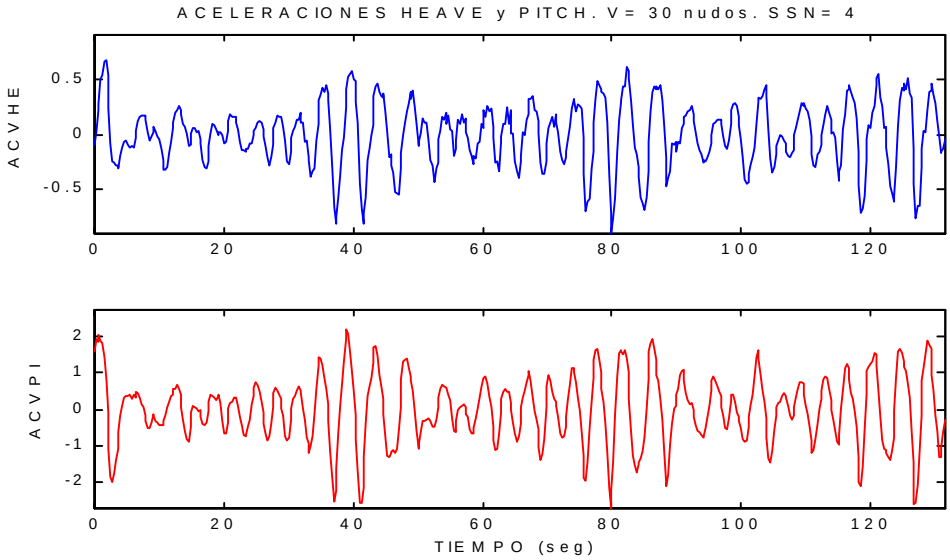


Figura 5.11: Series temporales de las aceleraciones verticales del heave (m/seg^2) y del pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y estado de la mar 4.

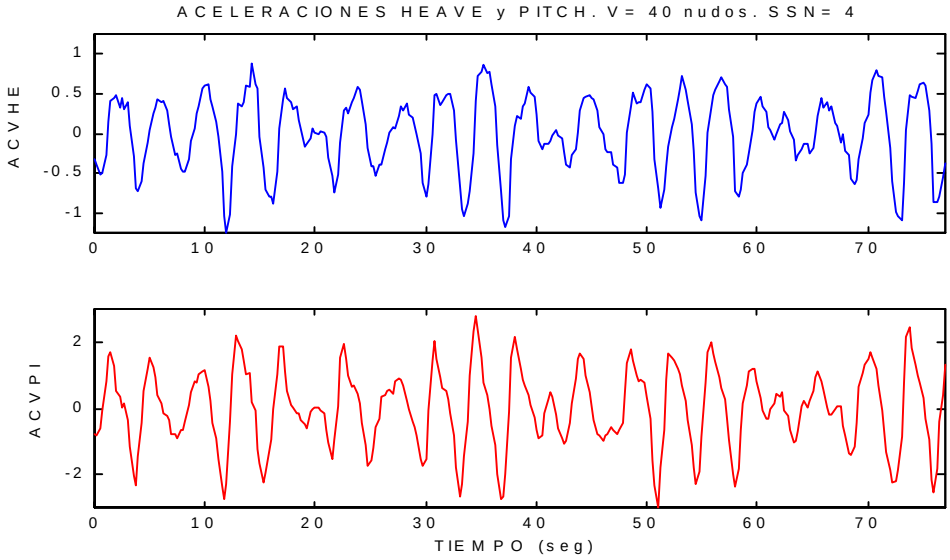


Figura 5.12: Series temporales de las aceleraciones verticales del heave (m/seg^2) y del pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y estado de la mar 4.

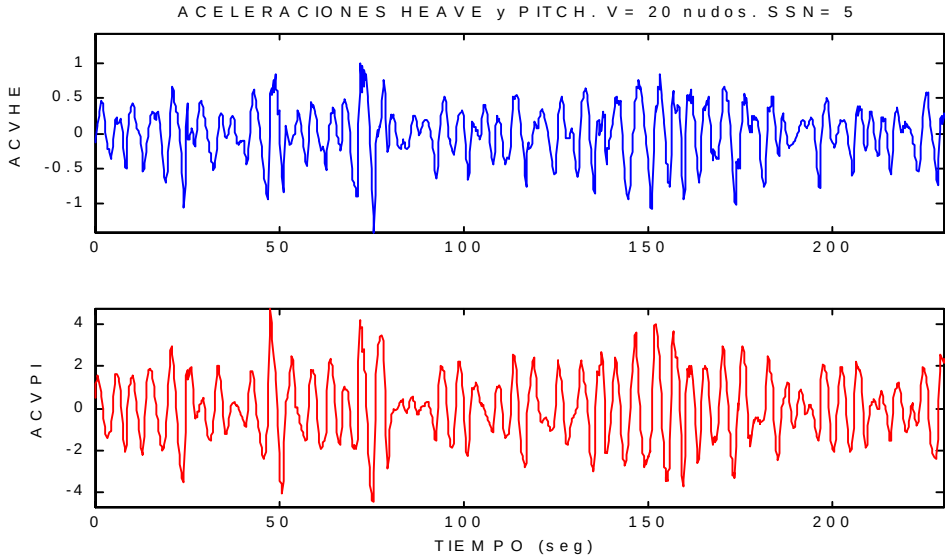


Figura 5.13: Series temporales de las aceleraciones verticales del heave (m/seg^2) y del pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y estado de la mar 5.

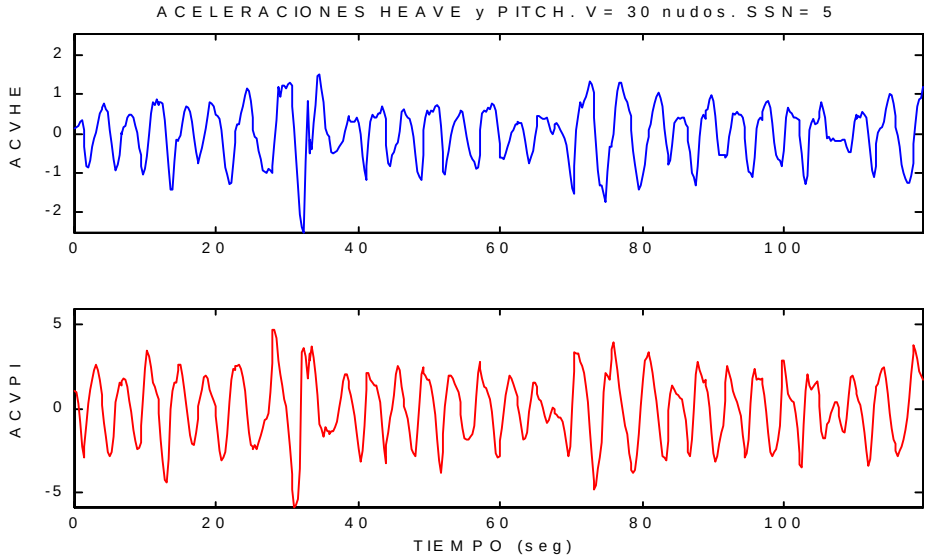


Figura 5.14: Series temporales de las aceleraciones verticales del heave (m/seg^2) y del pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y estado de la mar 5.

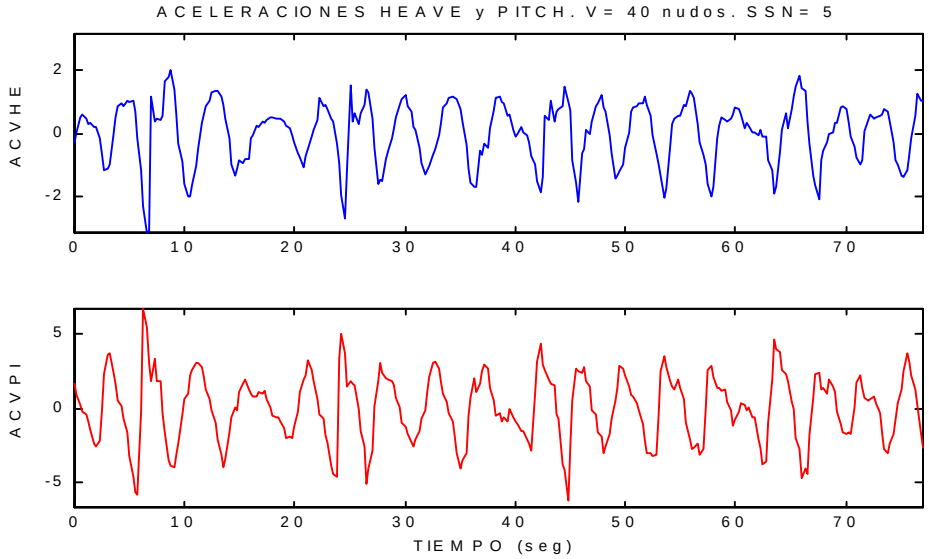


Figura 5.15: Series temporales de las aceleraciones verticales del heave (m/seg^2) y del pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y estado de la mar 5.

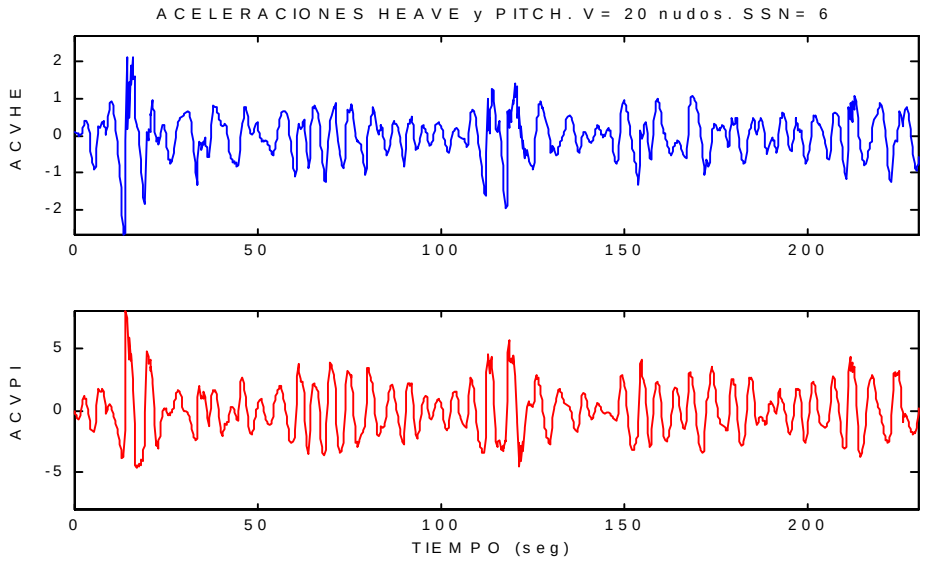


Figura 5.16: Series temporales de las aceleraciones verticales del heave (m/seg^2) y del pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y estado de la mar 6.

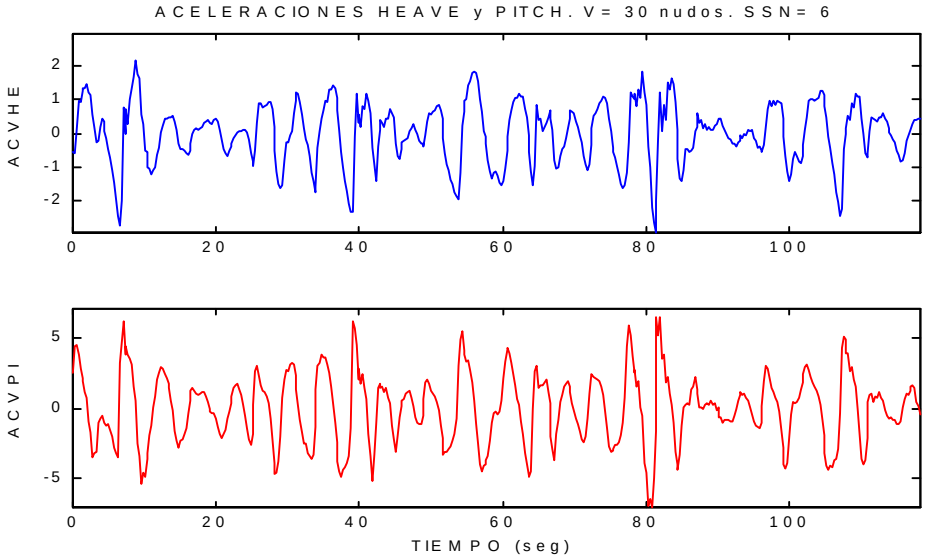


Figura 5.17: Series temporales de las aceleraciones verticales del heave (m/seg^2) y del pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y estado de la mar 6.

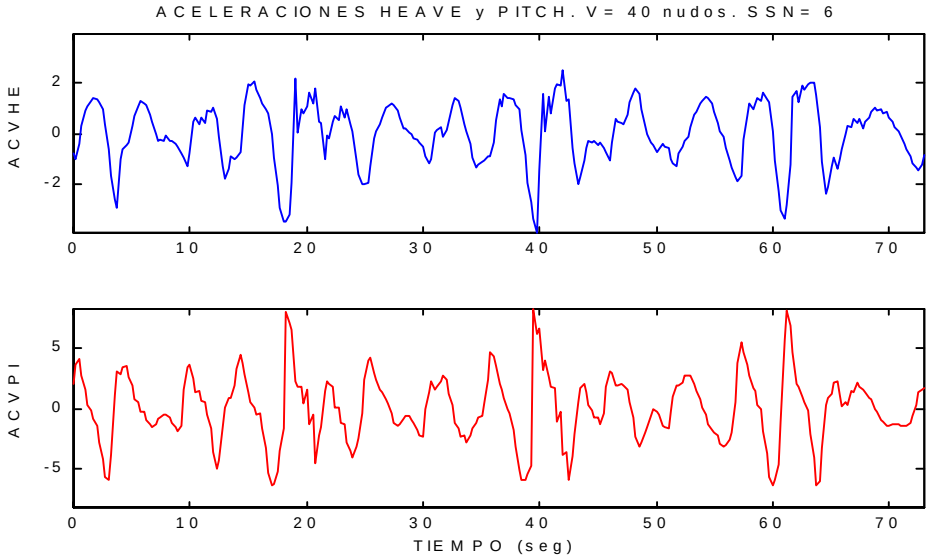


Figura 5.18: Series temporales de las aceleraciones verticales del heave (m/seg^2) y del pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y estado de la mar 6.

5.2.2 GRAFICAS DE LAS SERIES TEMPORALES OBTENIDAS CON OLEAJE REGULAR.

En las series regulares las olas para una serie determinada son todas iguales, por lo tanto avanzan con la misma velocidad. Para cada uno de los experimentos se ha utilizado la función **v2p.m**,(ver apéndice D) con su correspondiente pulsación (ver Tabla 2.3) y velocidad del barco.

En las Figuras 5.19 a 5.60 se muestran las series temporales de altura de olas corregidas a proa, movimiento heave y movimiento pitch obtenidas con oleaje regular. Indicar que estas series se encuentran almacenadas en el fichero **simregproa.mat**.

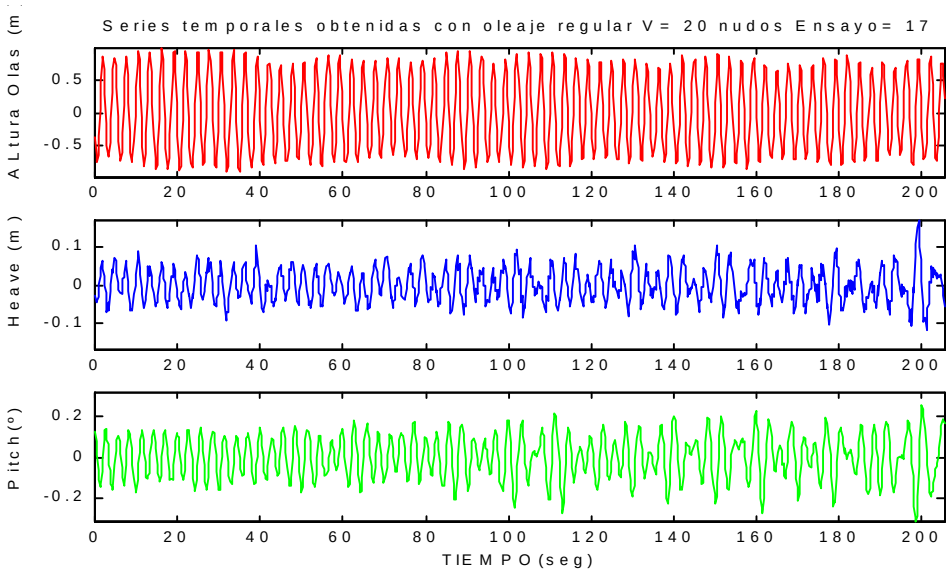


Figura 5.19: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 17.

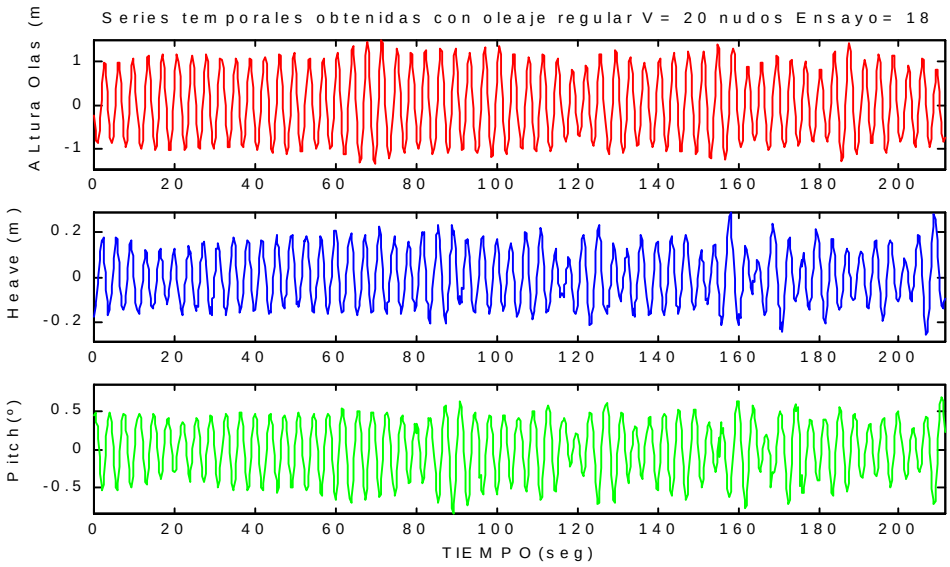


Figura 5.20: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 18.

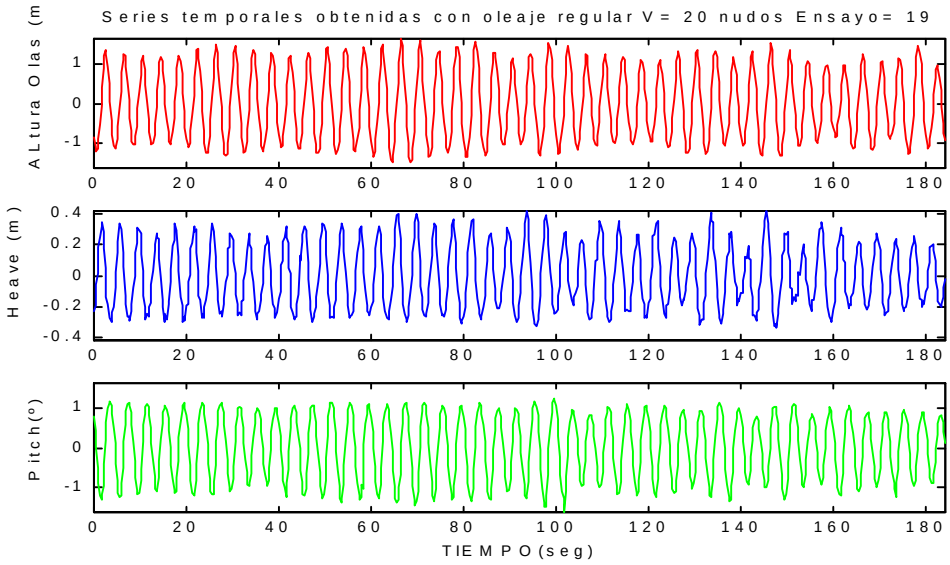


Figura 5.21: Series temporales experimentalesOLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 19.

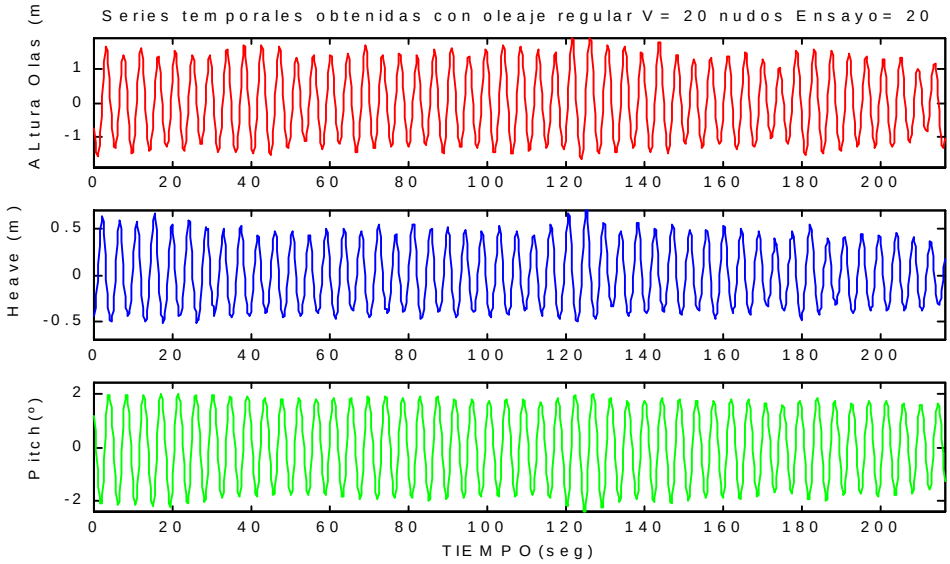


Figura 5.22: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 20.

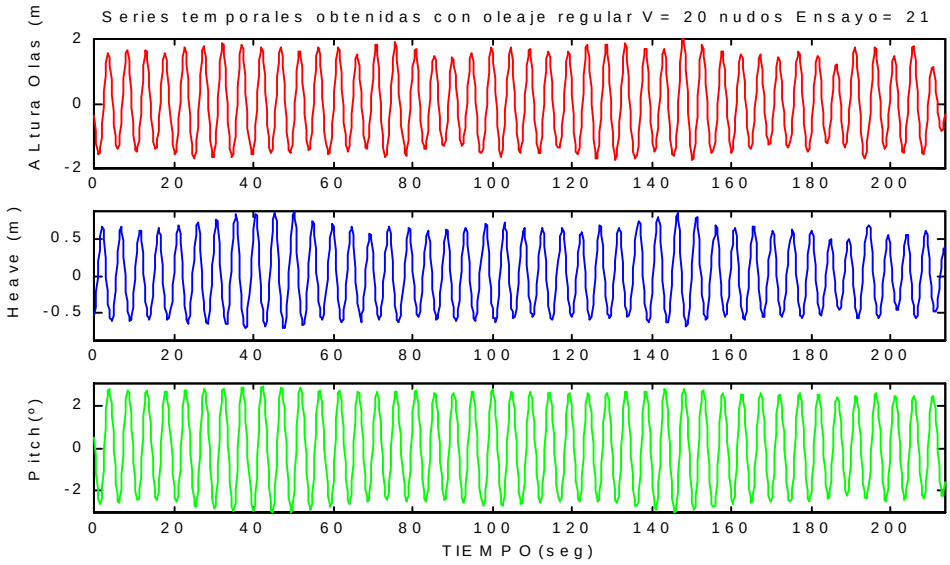


Figura 5.23: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 21.

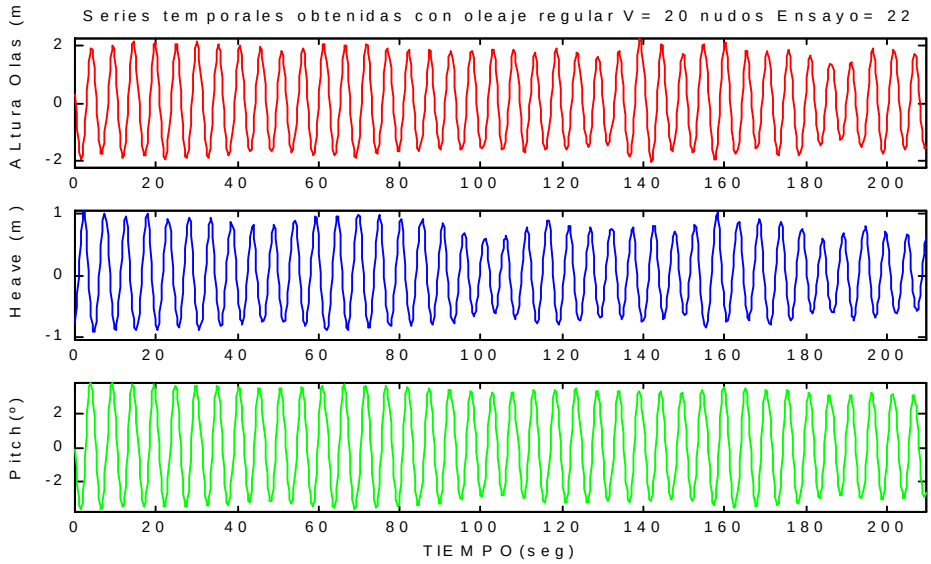


Figura 5.24: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 22.

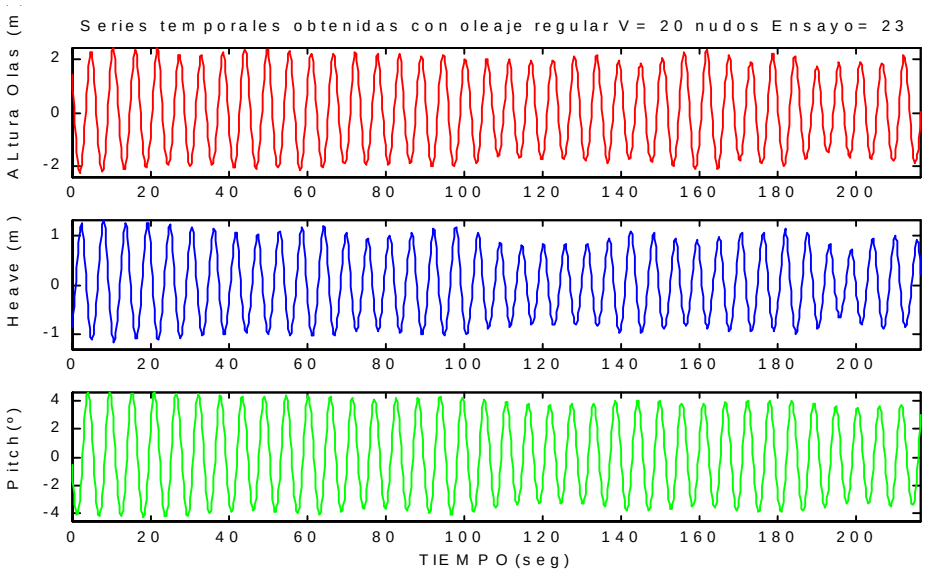


Figura 5.25: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 23.

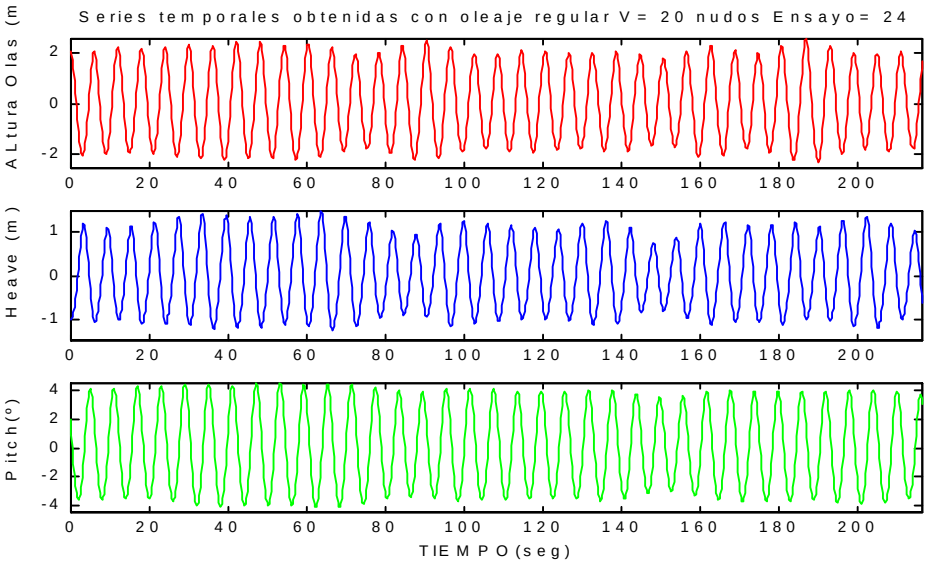


Figura 5.26: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 24.

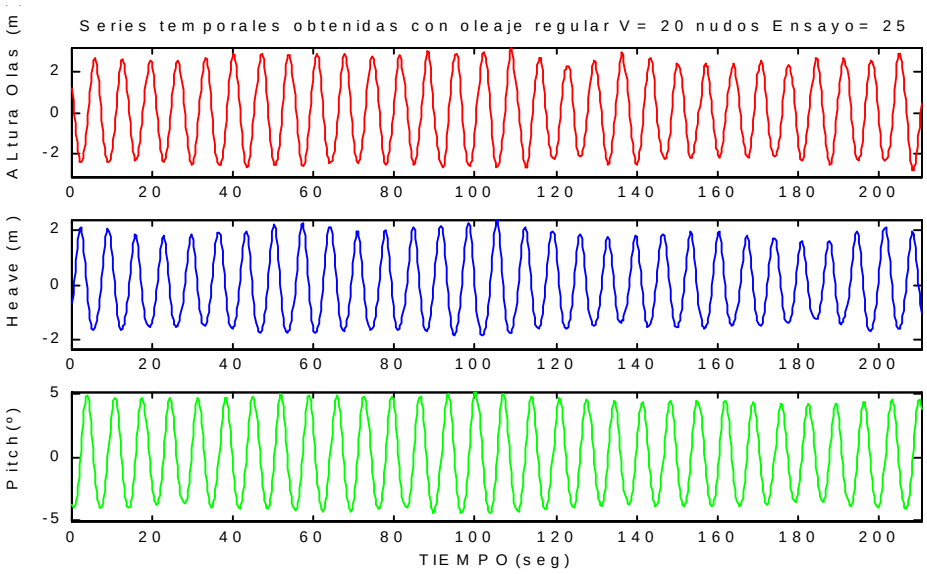


Figura 5.27: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 25.

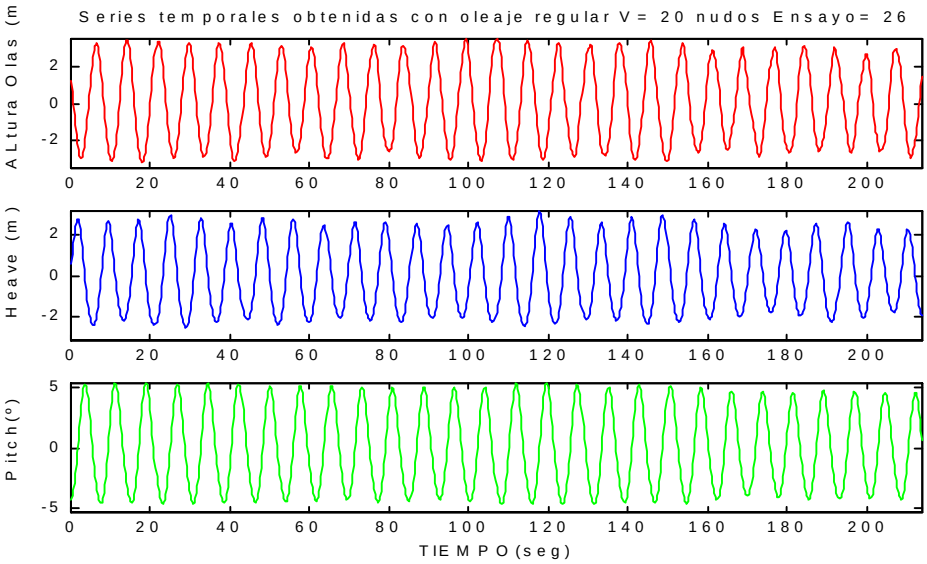


Figura 5.28: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 26.

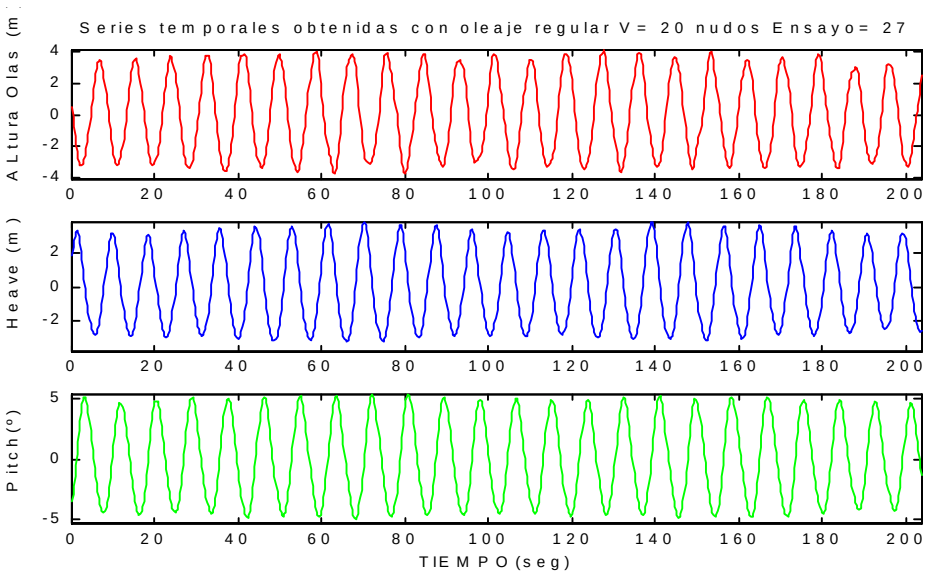


Figura 5.29: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 27.

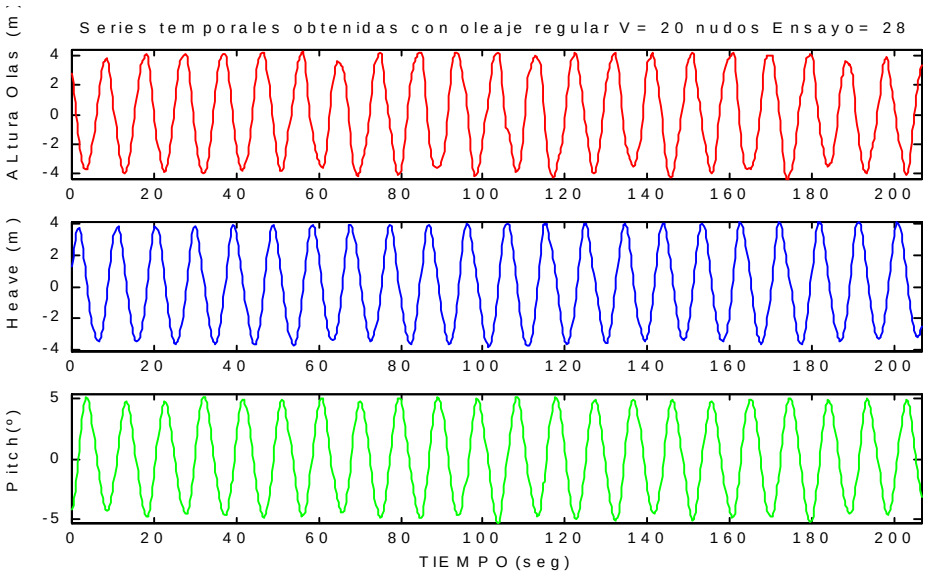


Figura 5.30: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 28.

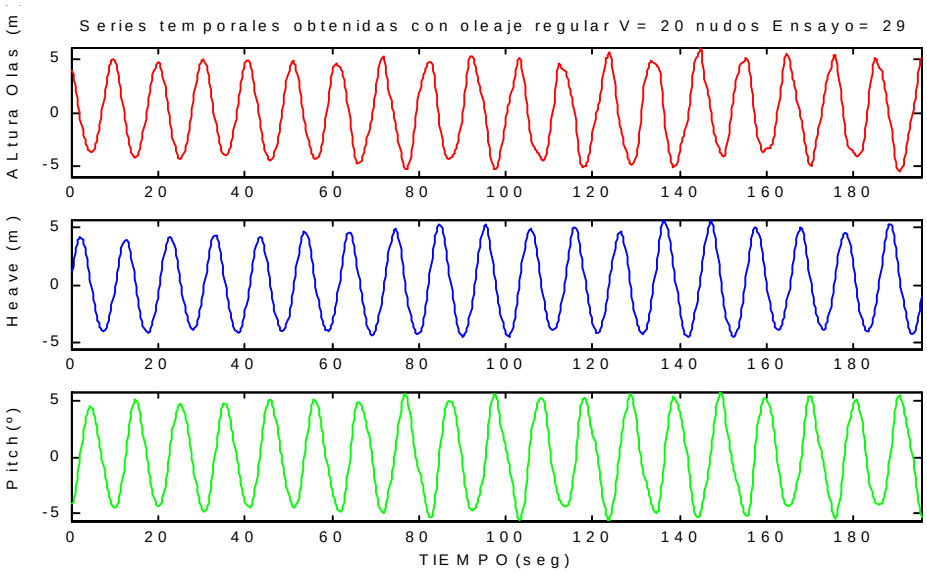


Figura 5.31: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 29.

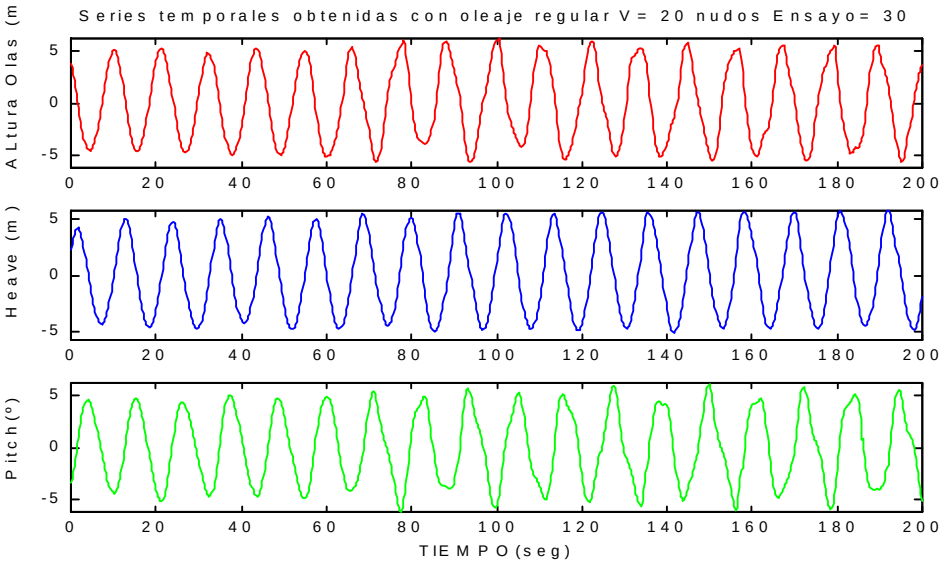


Figura 5.32: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 20 nudos y ensayo 30.

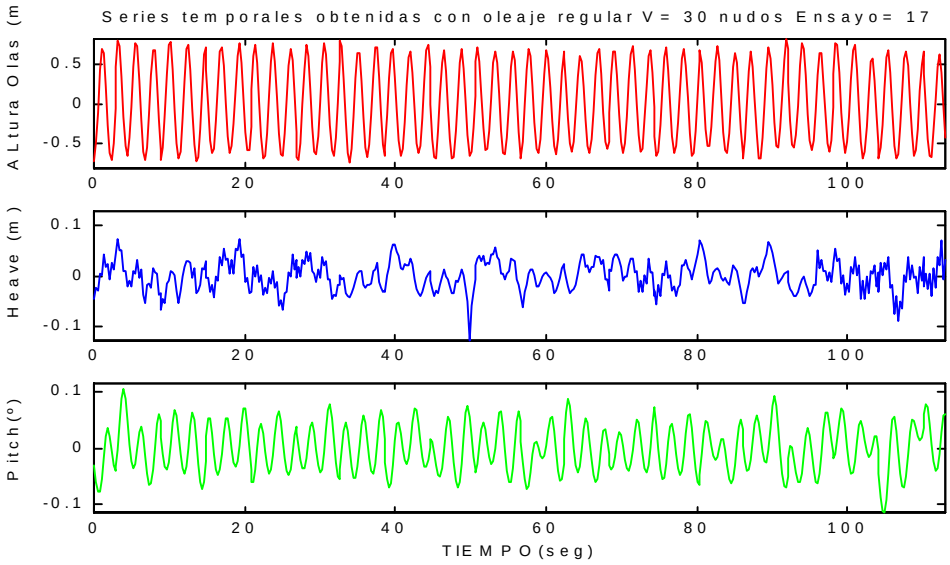


Figura 5.33: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 17.

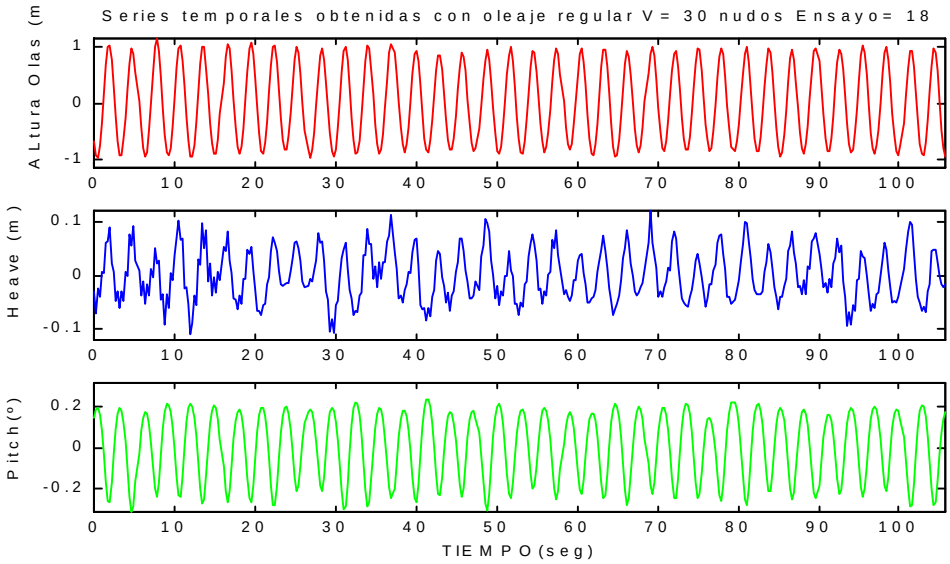


Figura 5.34: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 18.

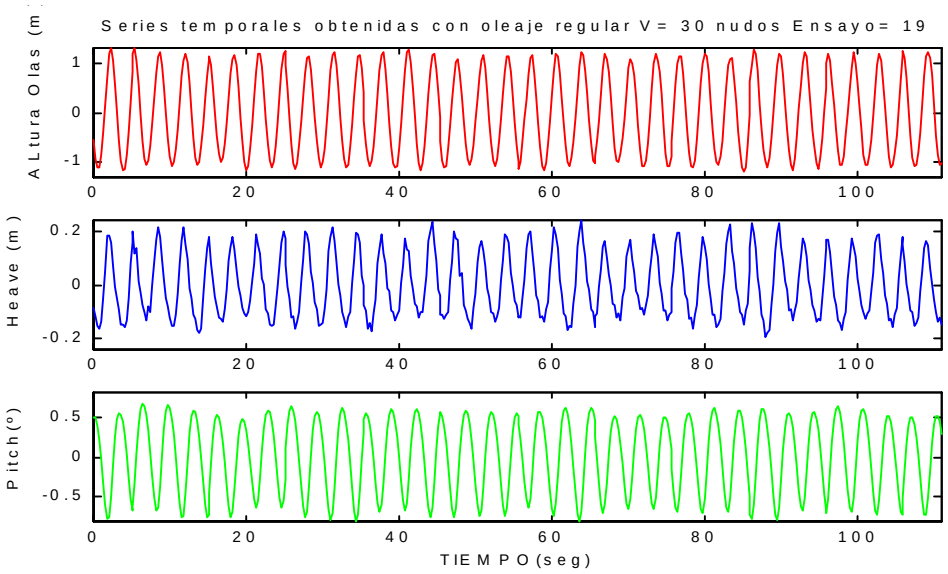


Figura 5.35: Series temporales experimentalesOLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 19.

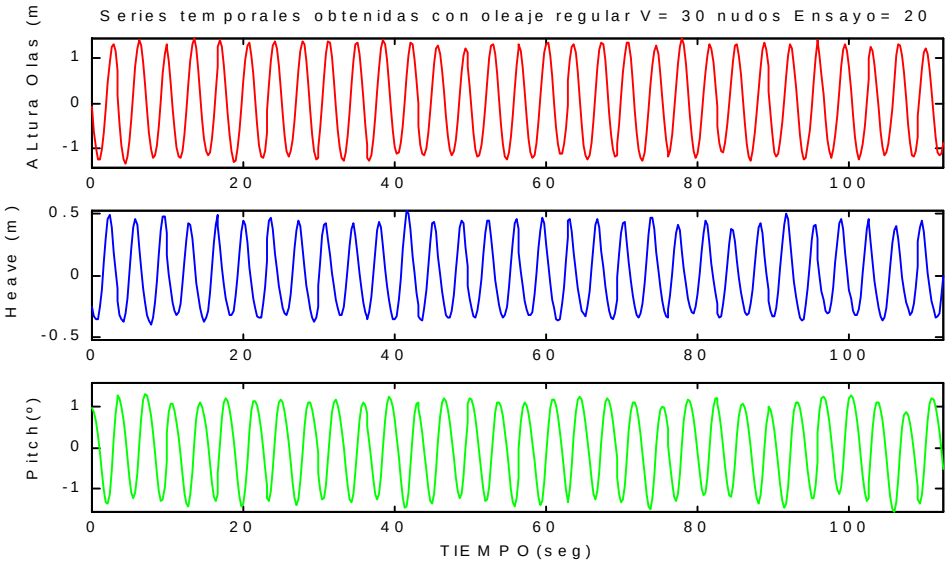


Figura 5.36: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 20.

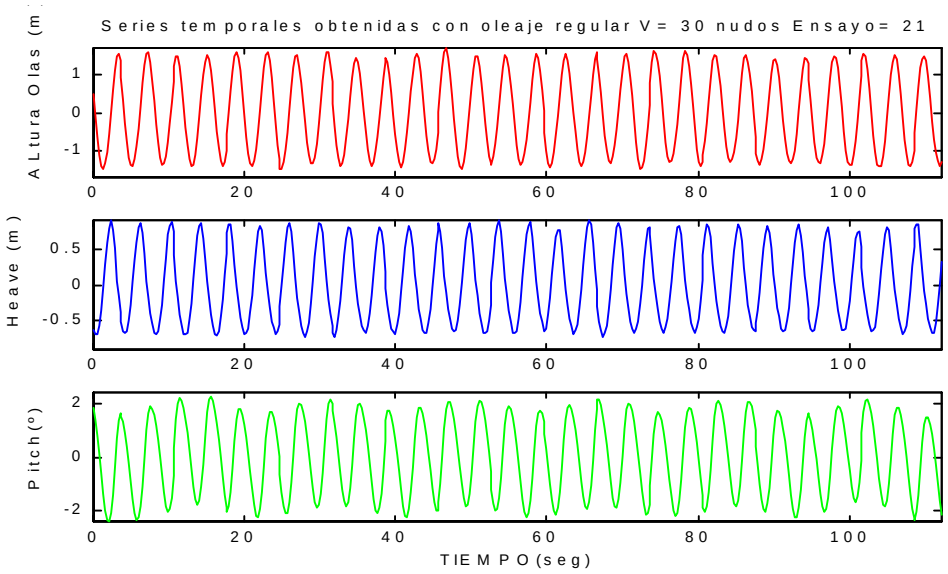


Figura 5.37: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 21.

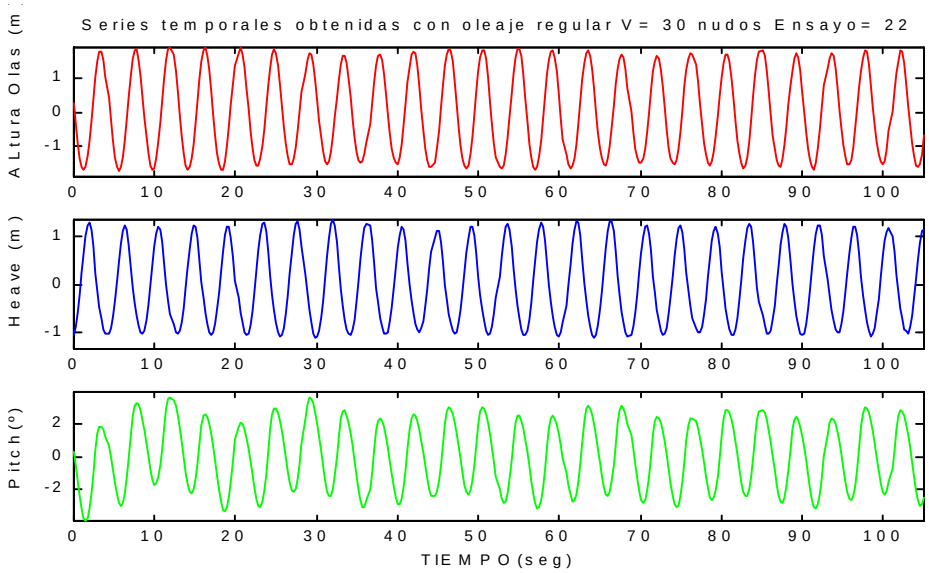


Figura 5.38: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 22.

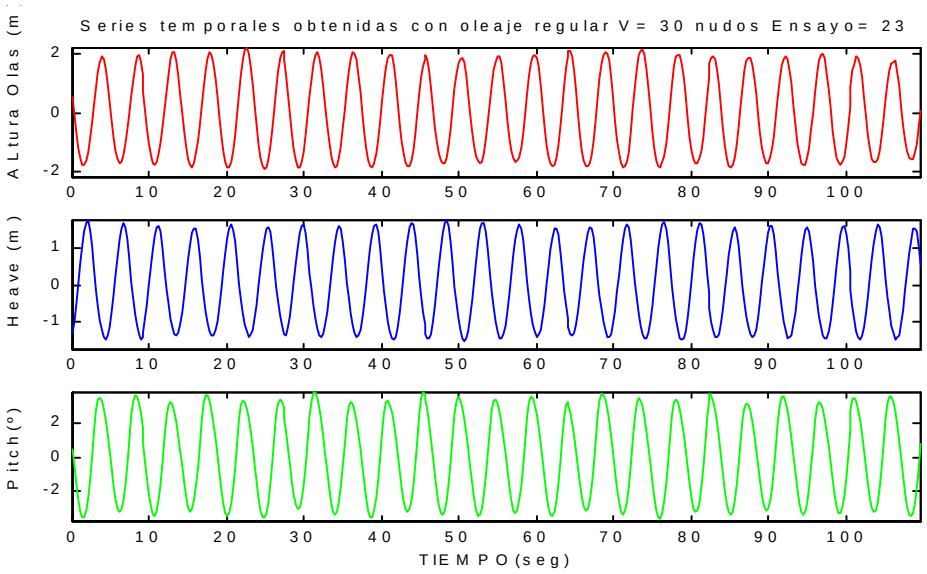


Figura 5.39: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 23.

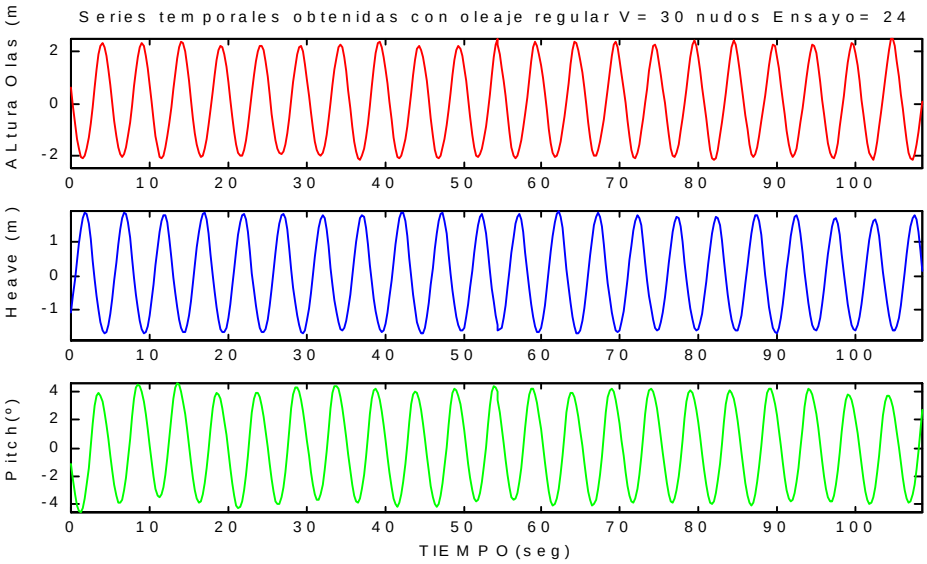


Figura 5.40: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 24.

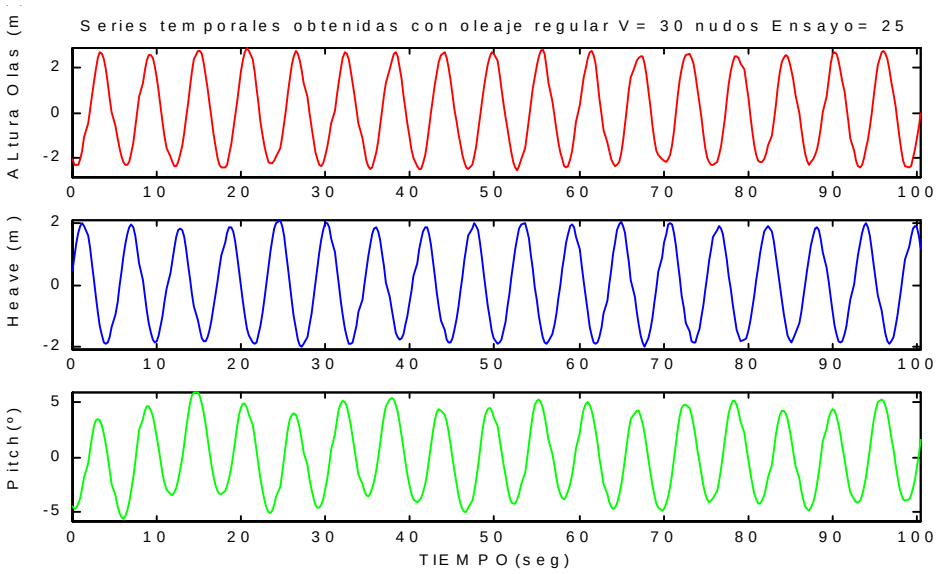


Figura 5.41: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 25.

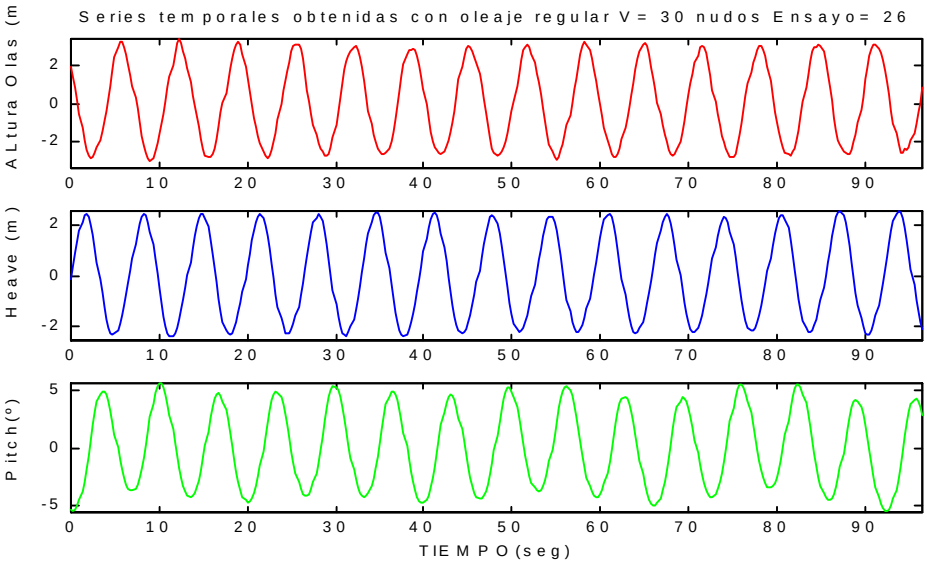


Figura 5.42: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 26.

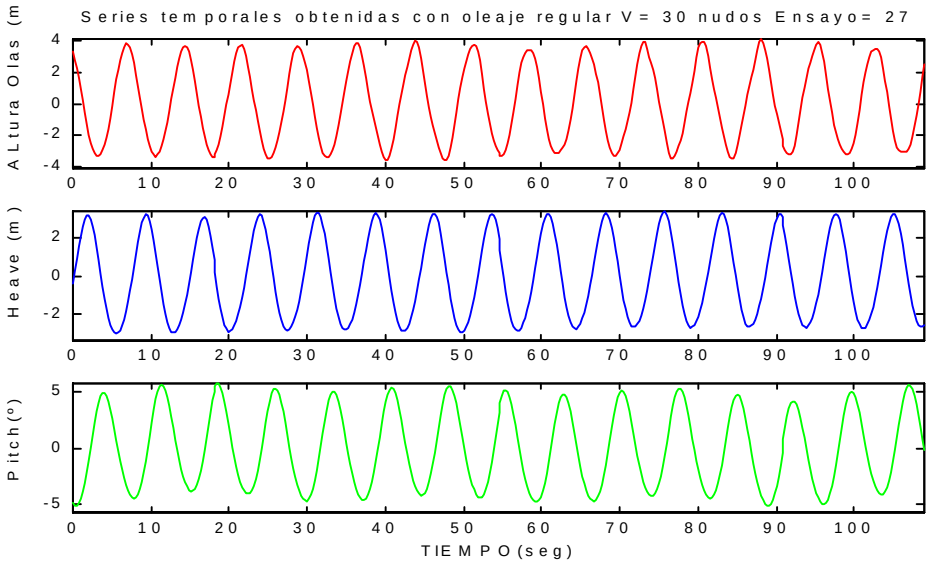


Figura 5.43: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 27.

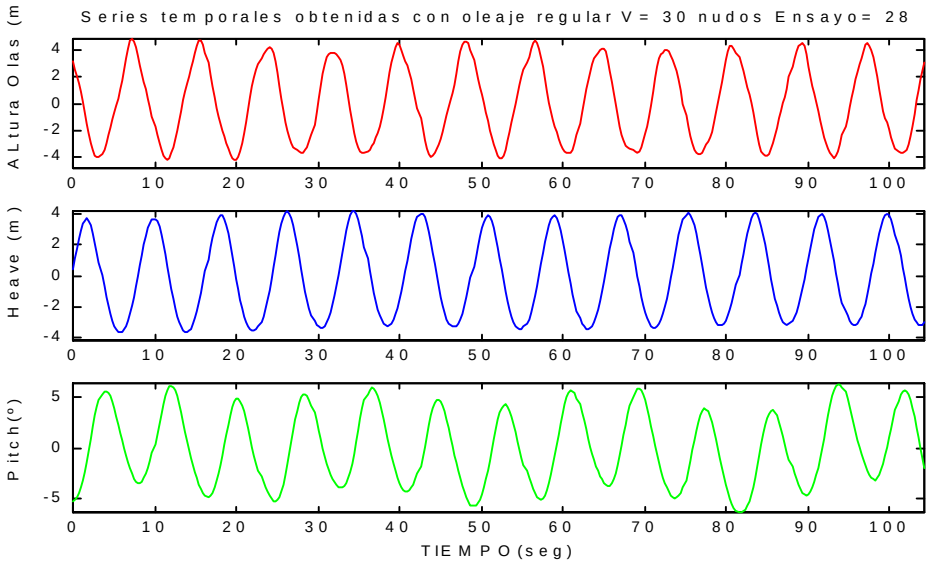


Figura 5.44: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 28.

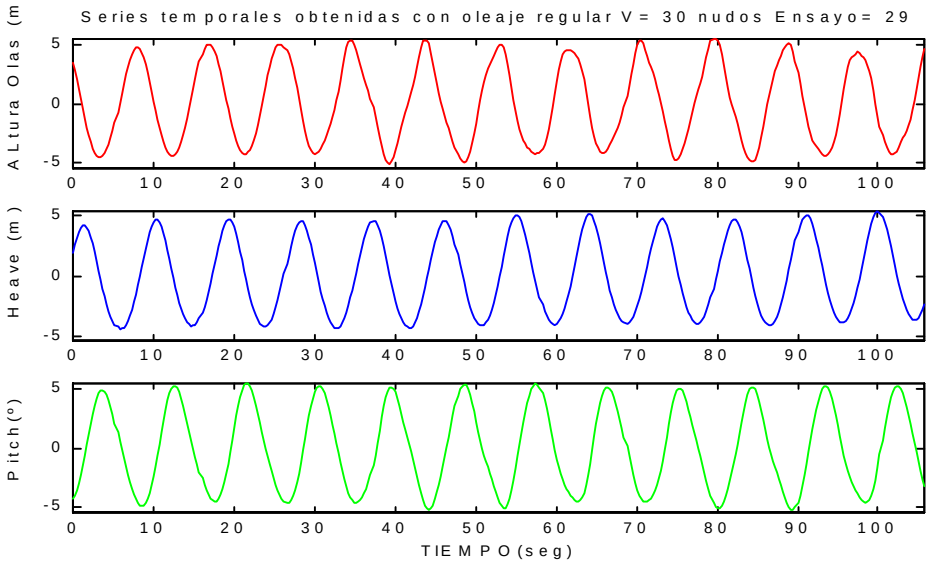


Figura 5.45: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 29.

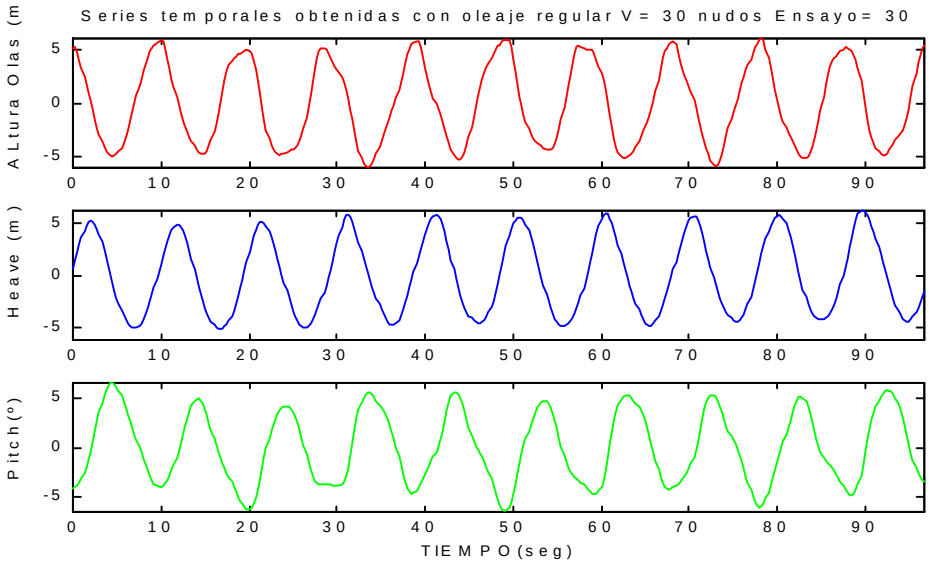


Figura 5.46: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 30 nudos y ensayo 30.

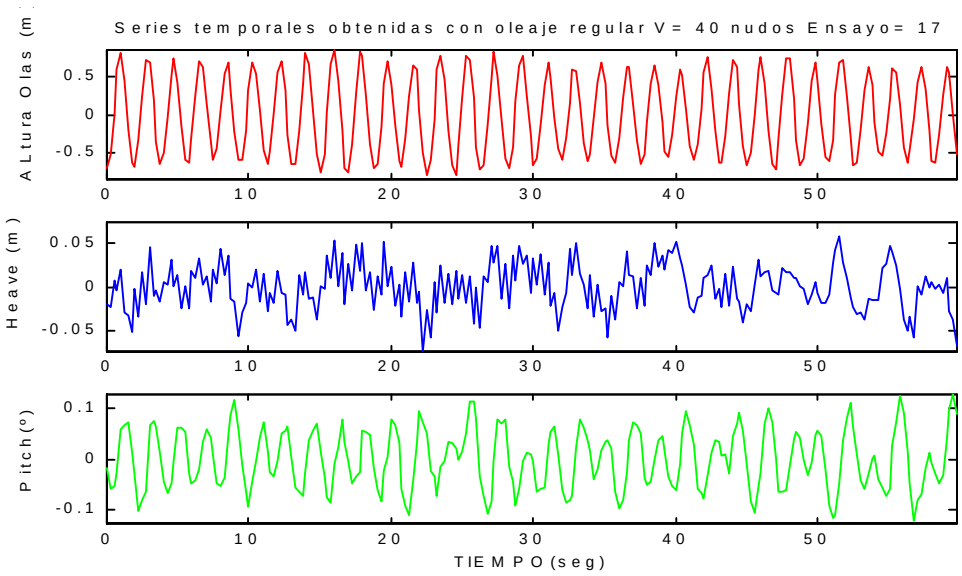


Figura 5.47: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 17.

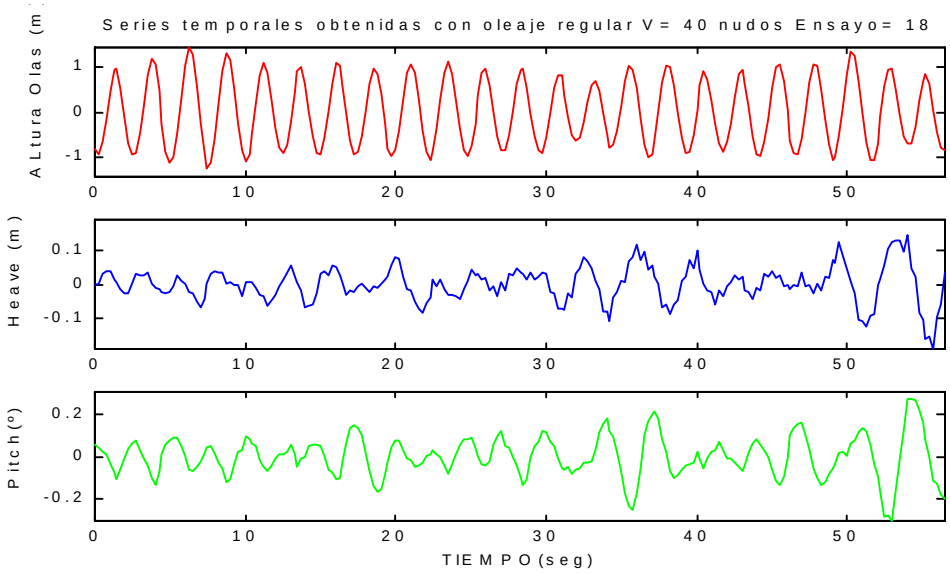


Figura 5.48: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 18.

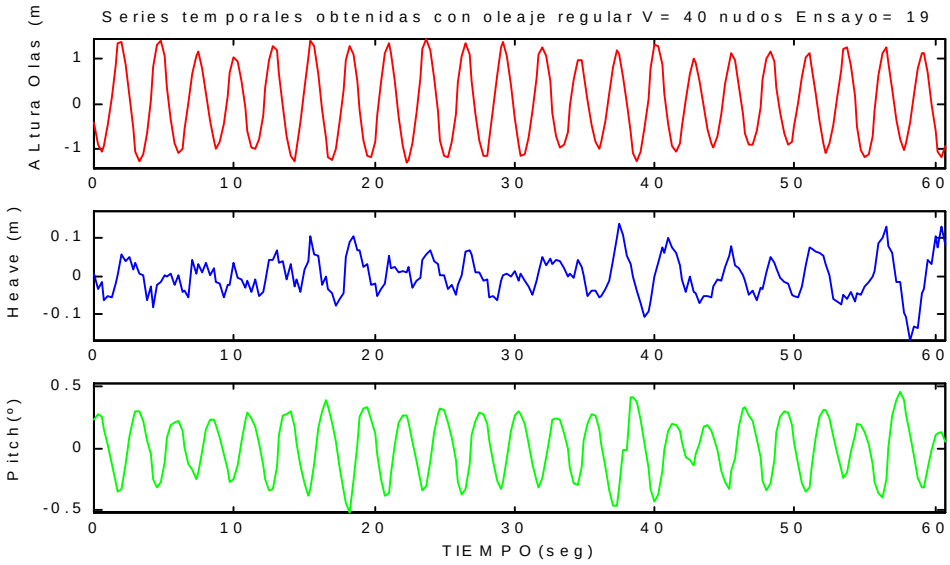


Figura 5.49: Series temporales experimentalesOLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 19.

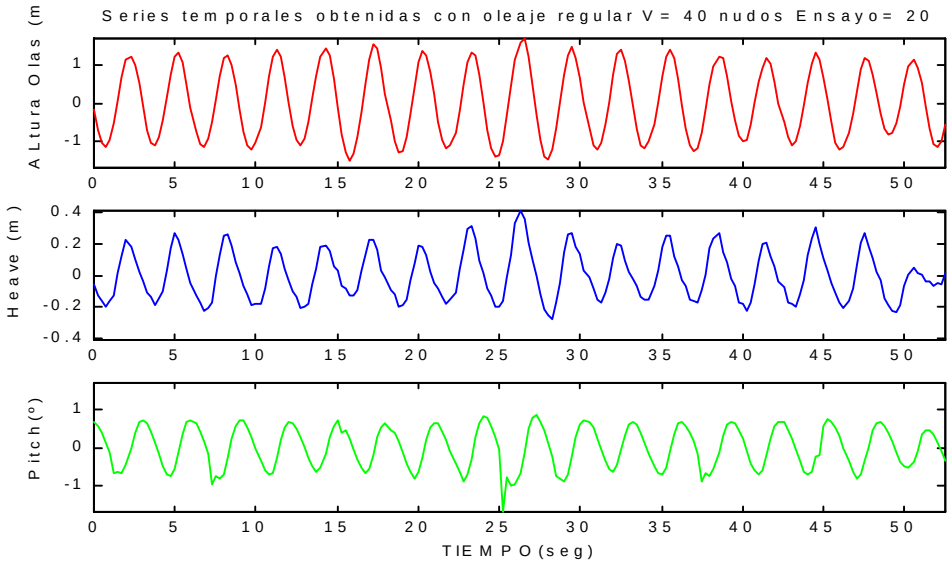


Figura 5.50: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 20.

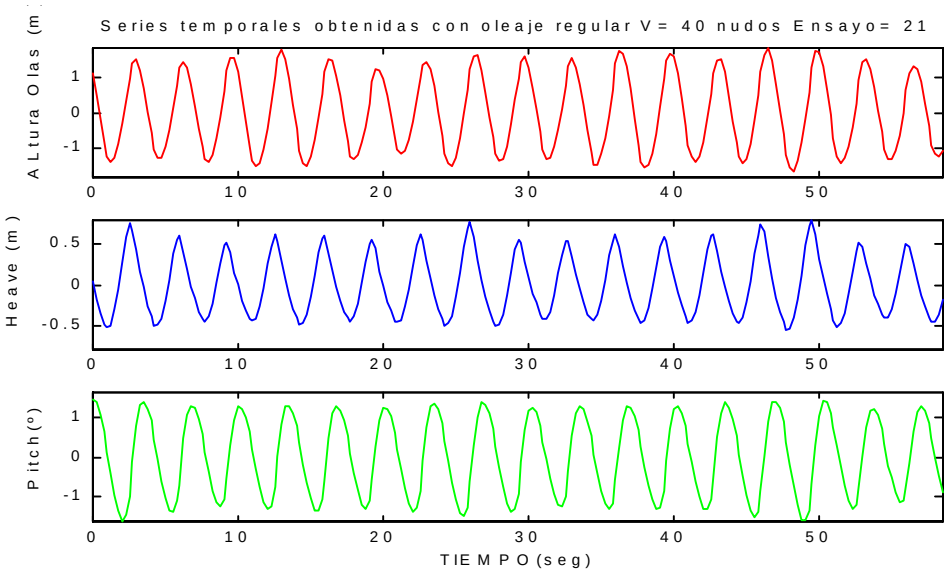


Figura 5.51: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 21.

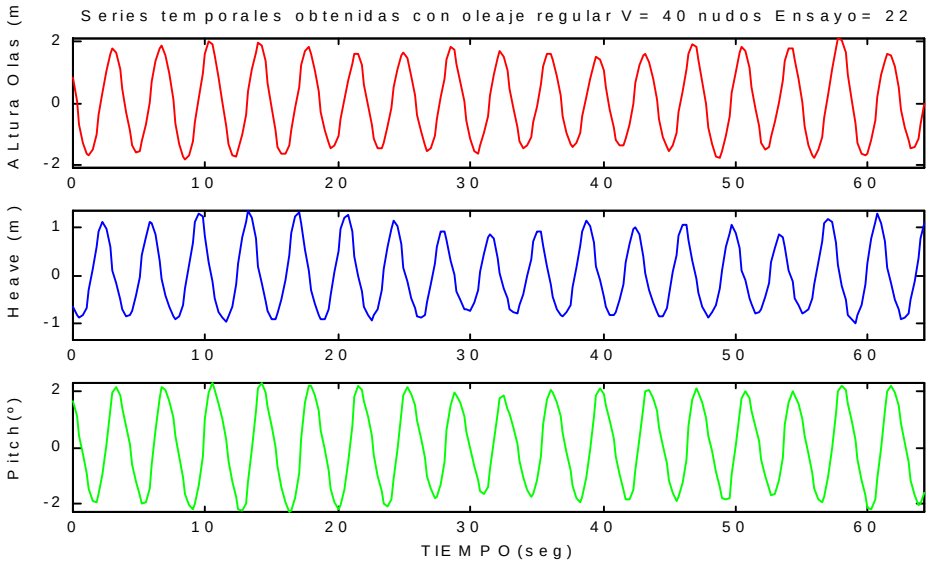


Figura 5.52: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 22.

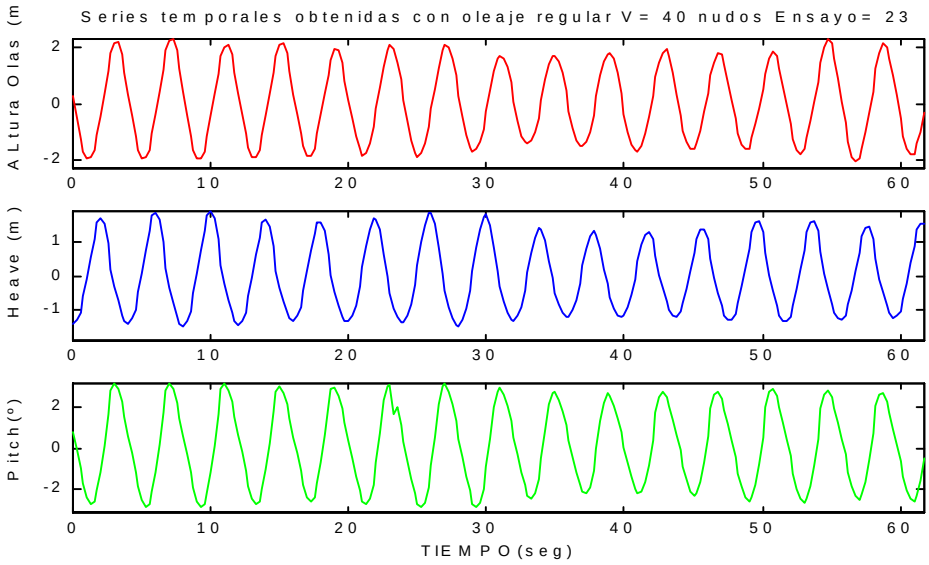


Figura 5.53: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 23.

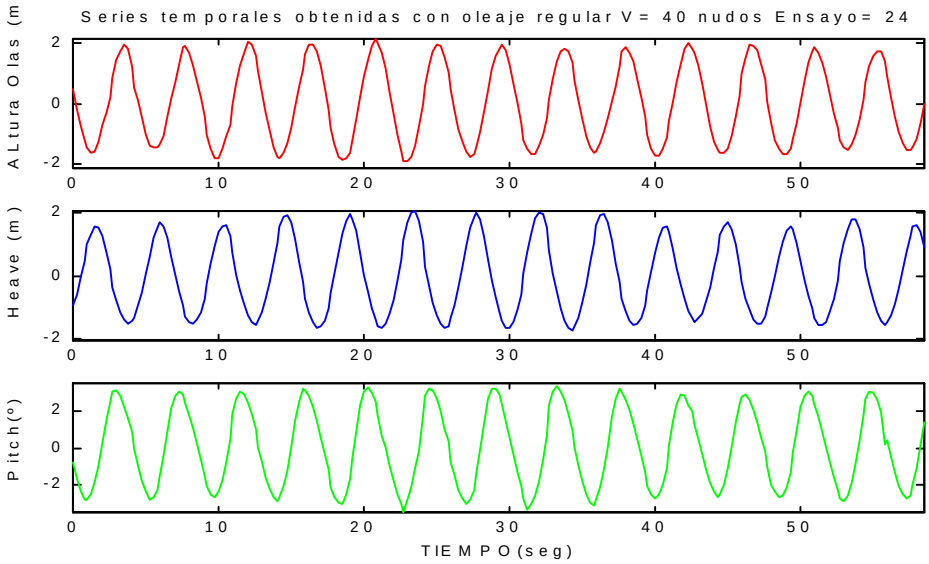


Figura 5.54: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 24.

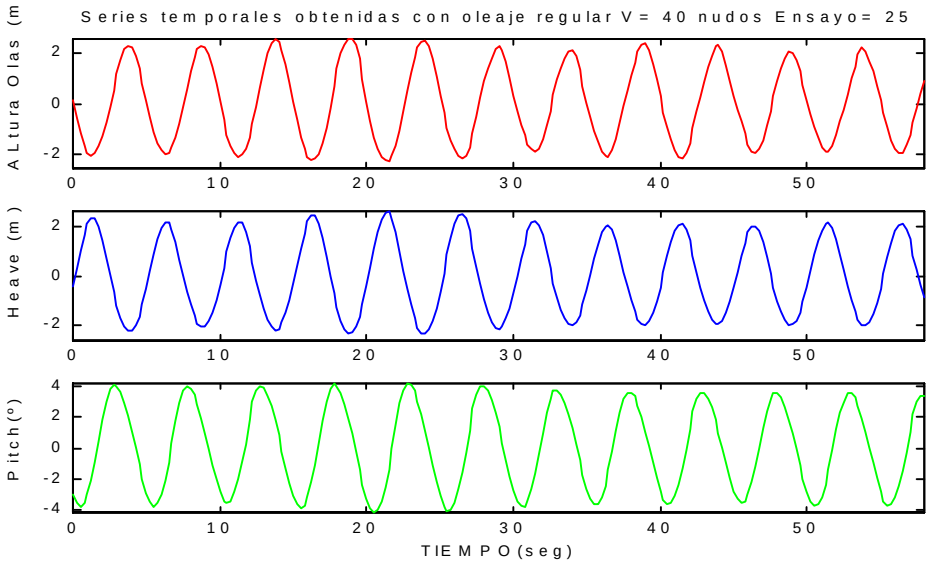


Figura 5.55: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 25.

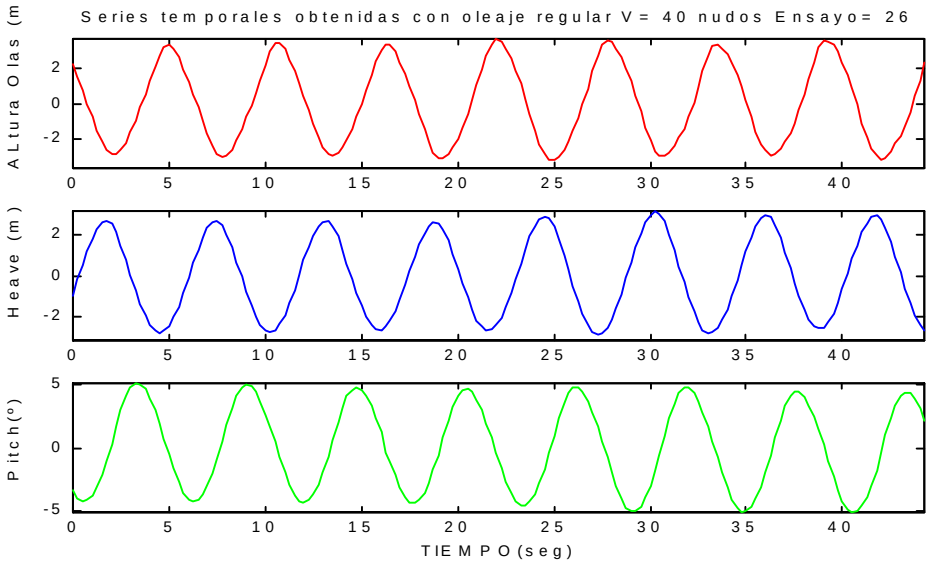


Figura 5.56: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 26.

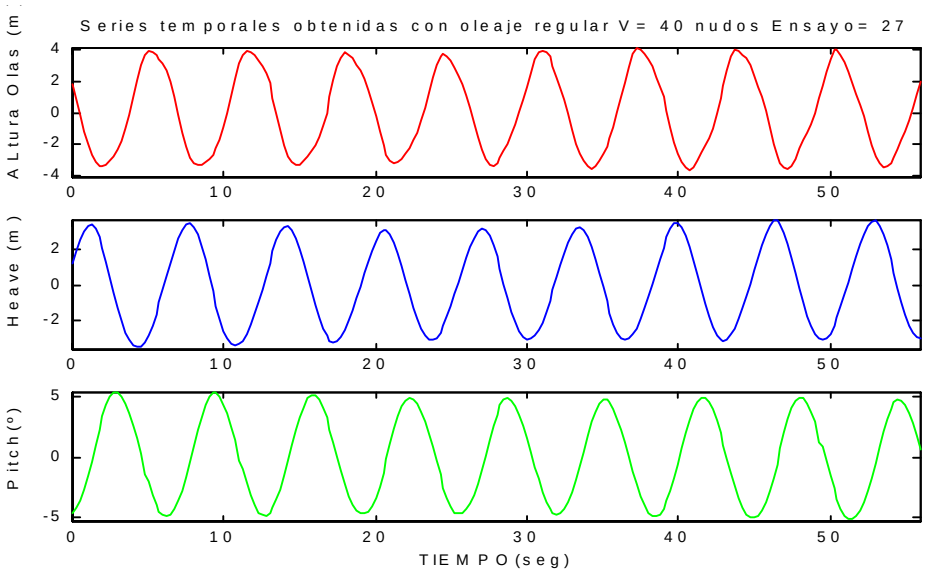


Figura 5.57: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 27.

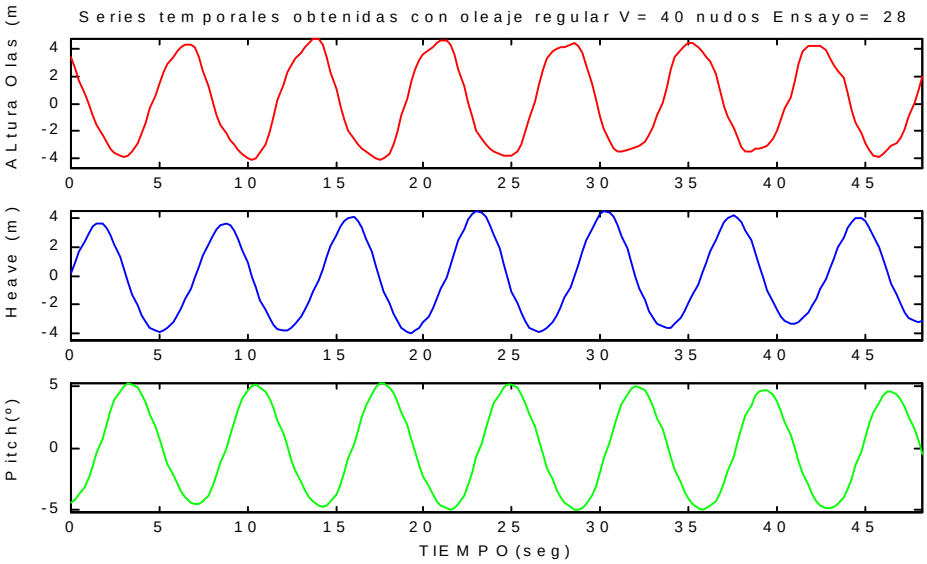


Figura 5.58: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 28.

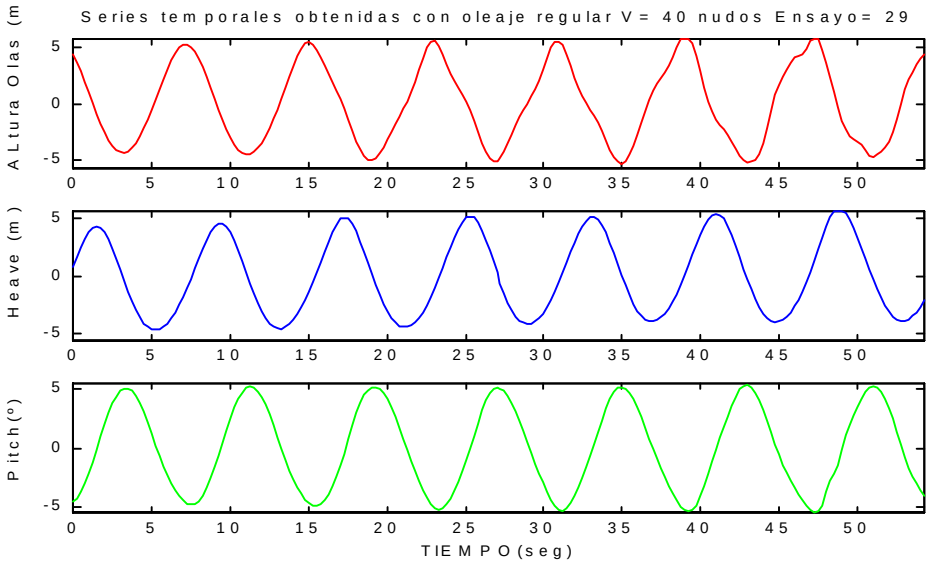


Figura 5.59: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 29.

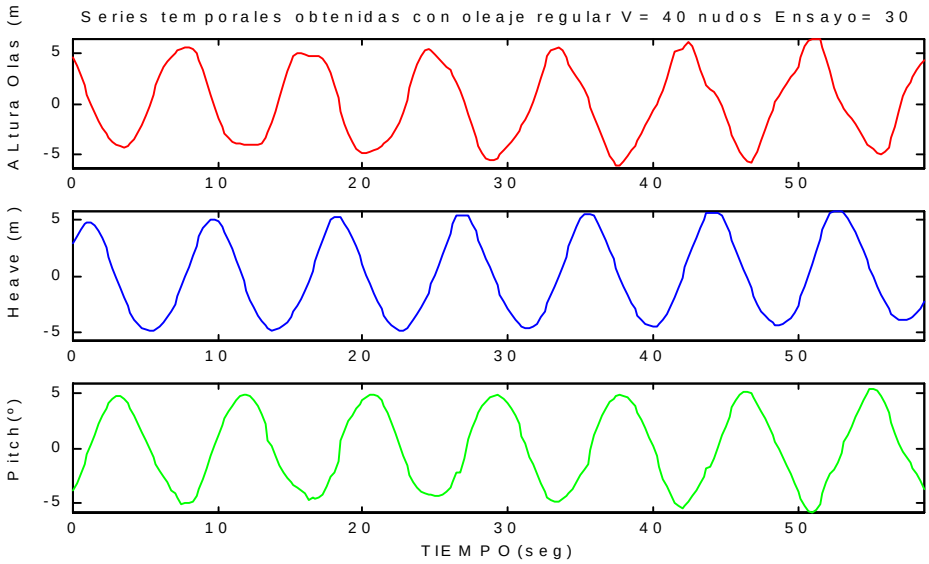


Figura 5.60: Series temporales experimentales OLAS, PITCH y HEAVE para velocidad 40 nudos y ensayo 30.

En las Figuras 5.61 a 5.102 se muestran las series temporales de las aceleraciones verticales de heave y de pitch, que se encuentran almacenadas en el archivo **ace_reg.mat.**

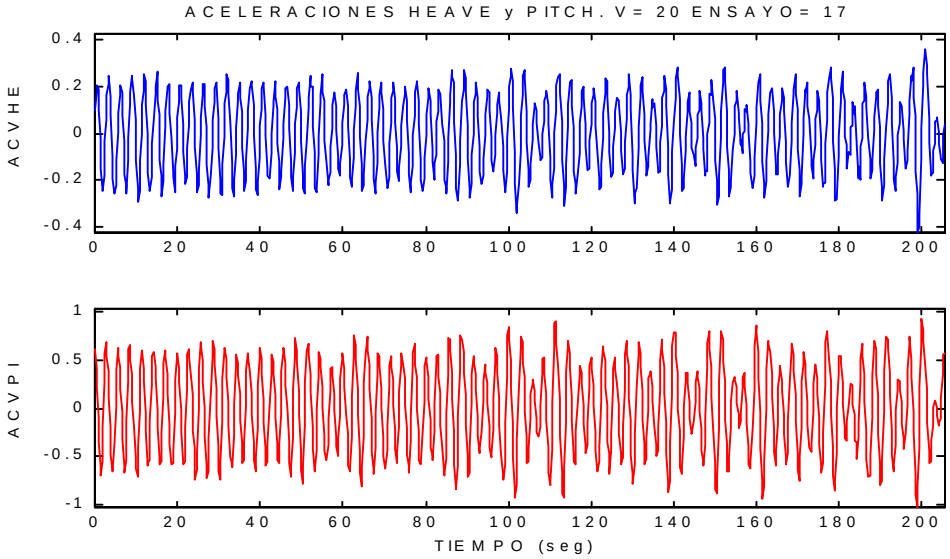


Figura 5.61: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 17.

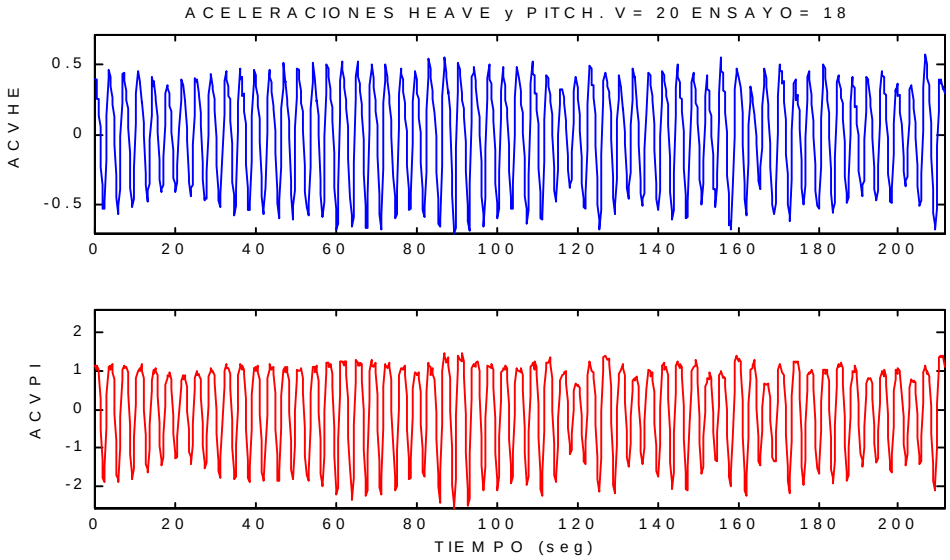


Figura 5.62: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 18.

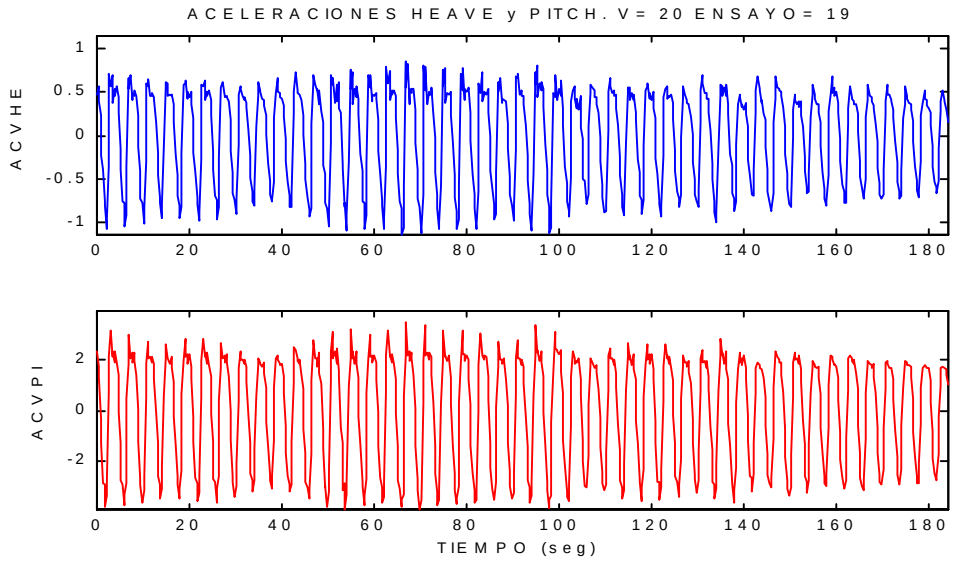


Figura 5.63: Series temporales de las aceleraciones de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 19.

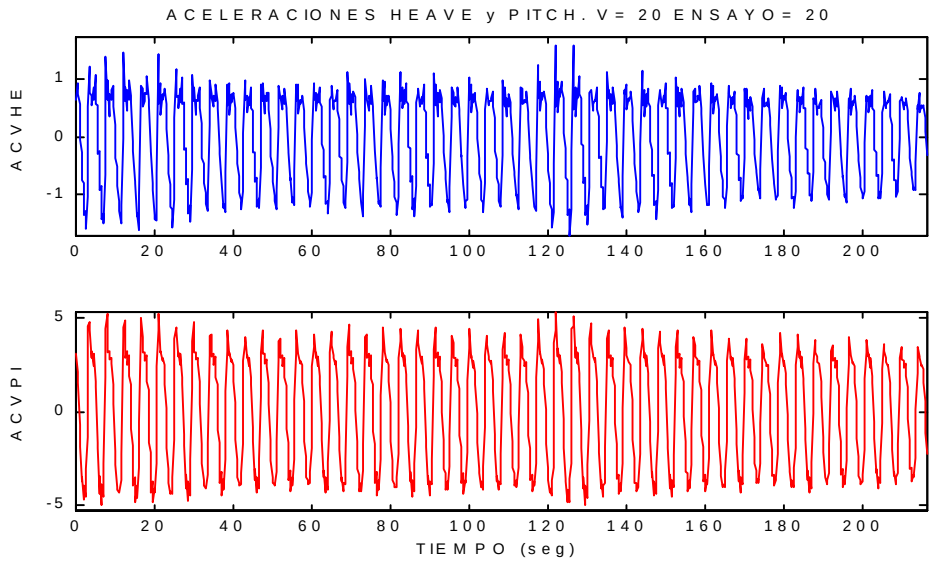


Figura 5.64: Series temporales de las aceleraciones de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 20.

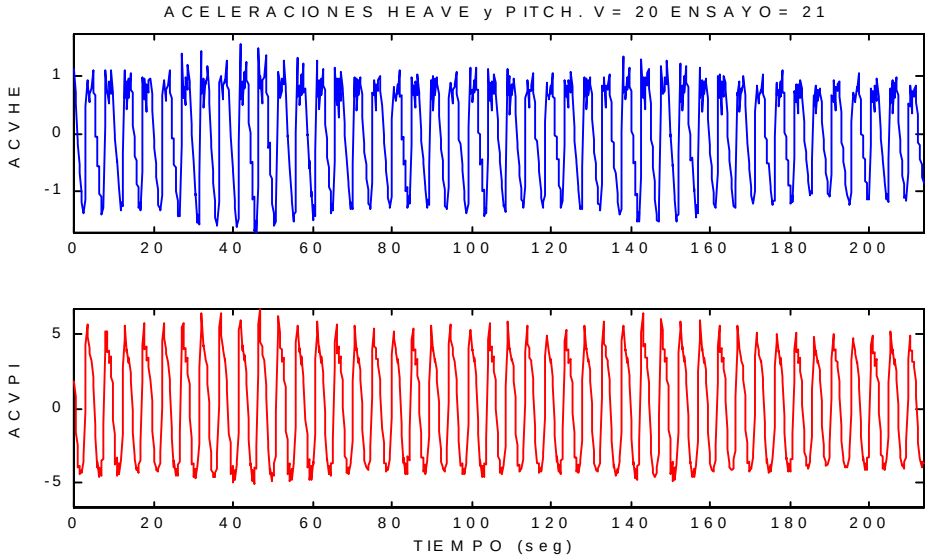


Figura 5.65: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 21.

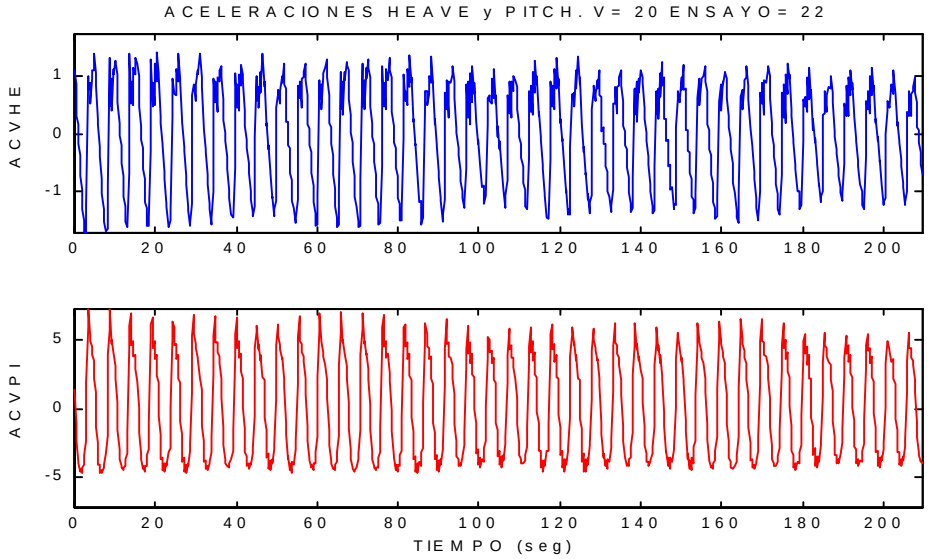


Figura 5.66: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 22.

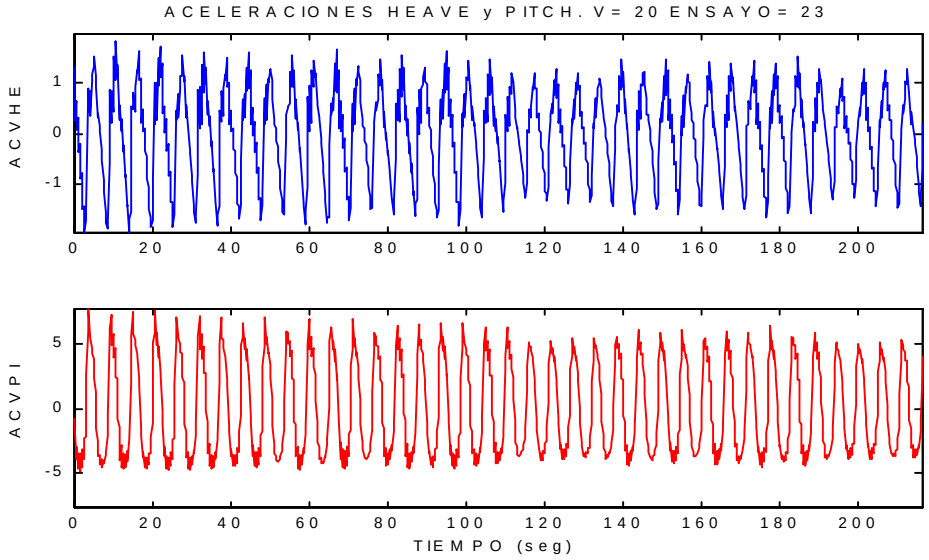


Figura 5.67: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 23.

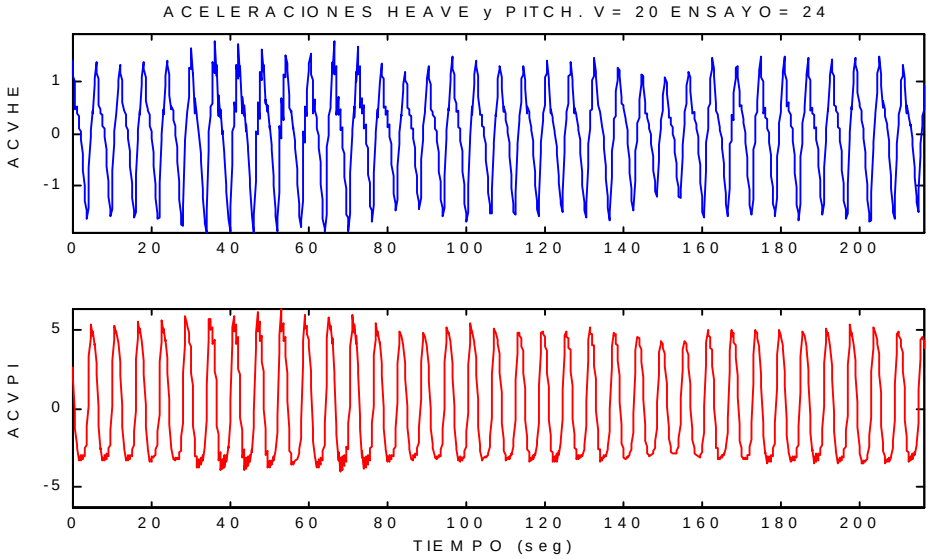


Figura 5.68: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 24.

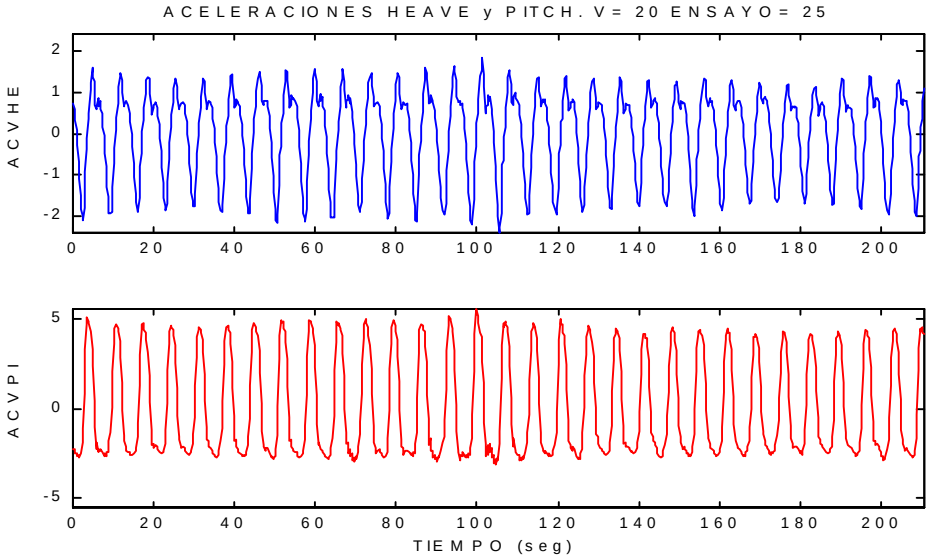


Figura 5.69: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 25.

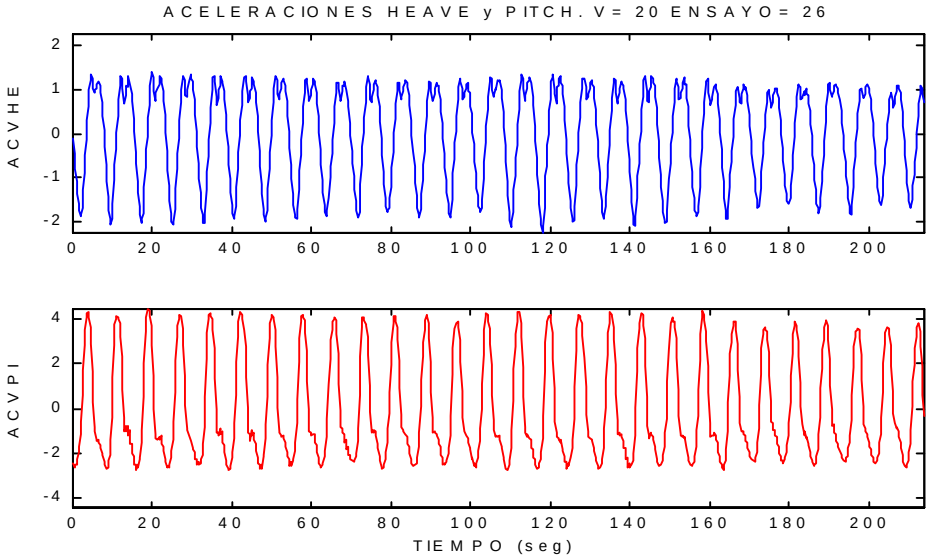


Figura 5.70: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 26.

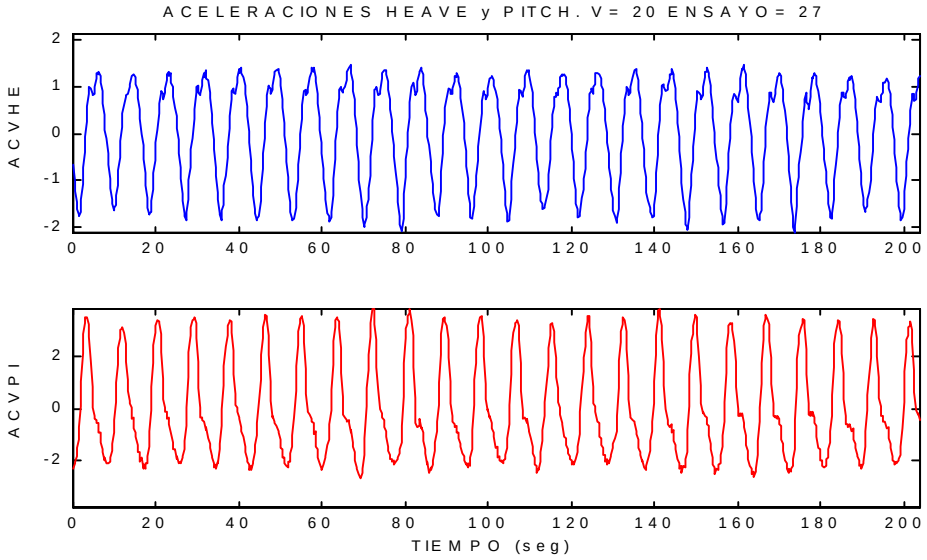


Figura 5.71: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 27.

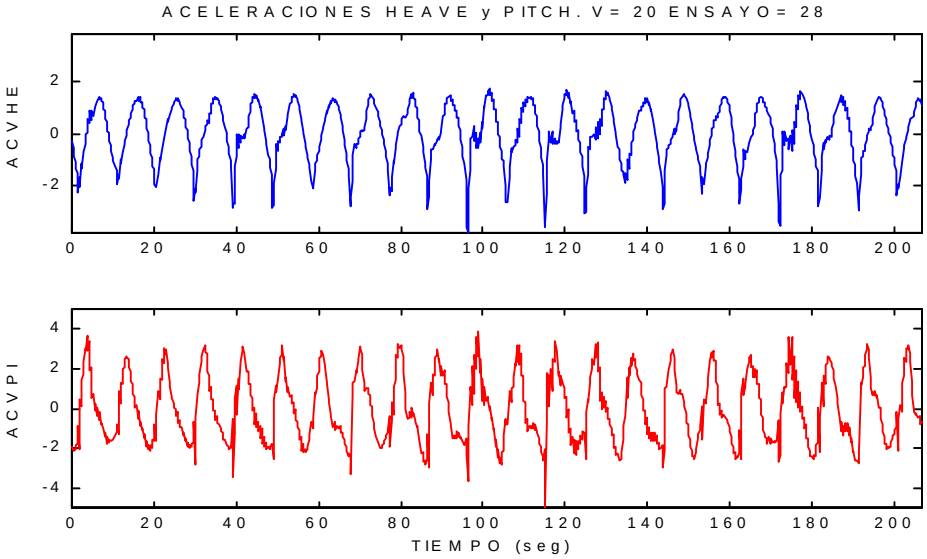


Figura 5.72: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 28.

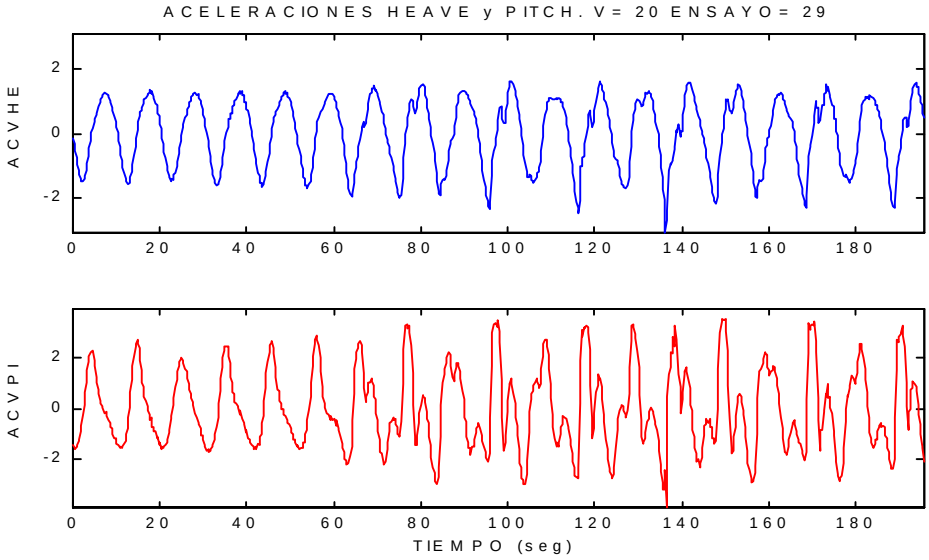


Figura 5.73: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 29.

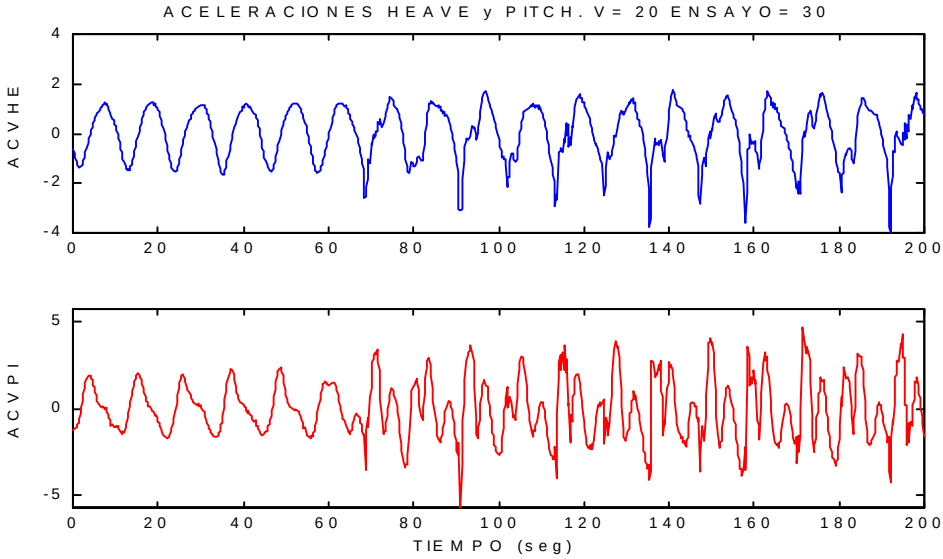


Figura 5.74: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 20 nudos y ensayo 30.

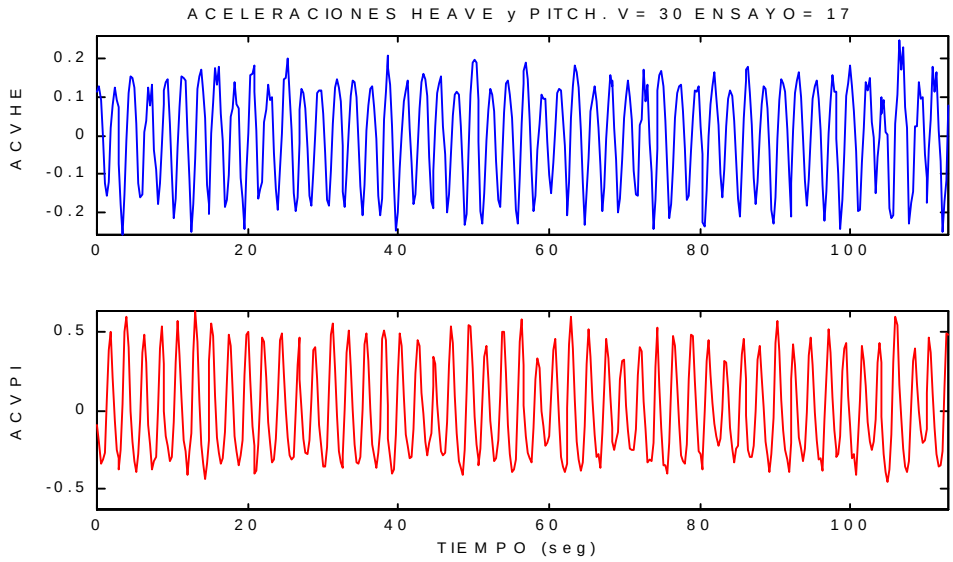


Figura 5.75: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 17.

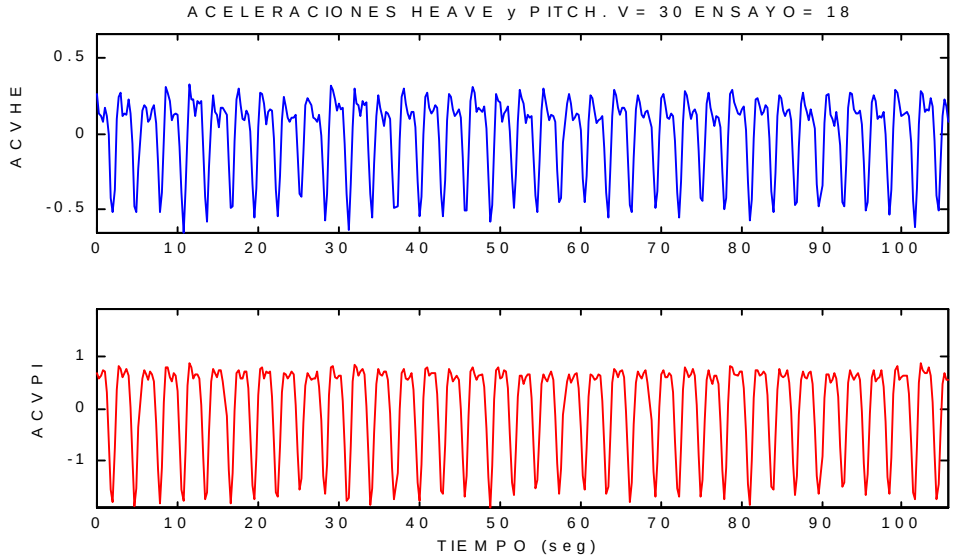


Figura 5.76: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 18.

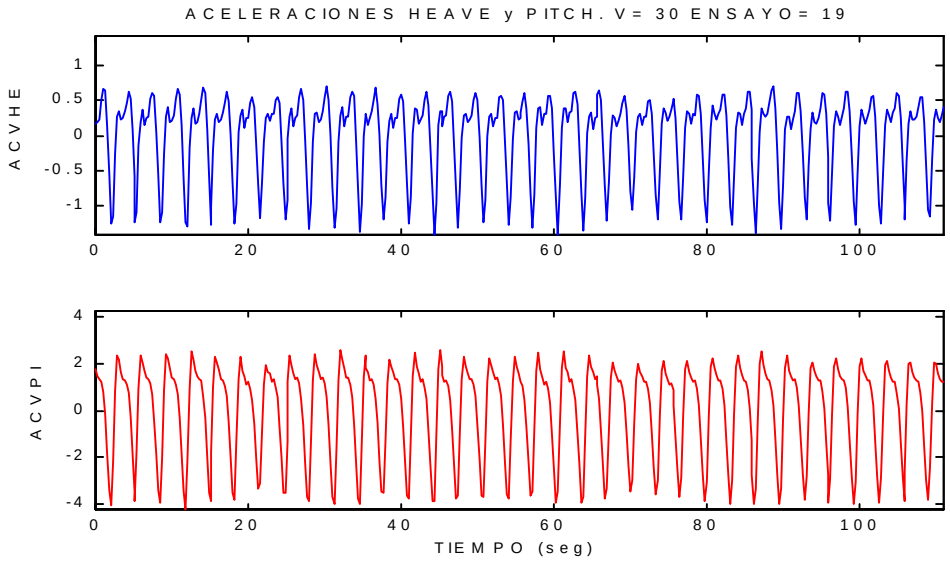


Figura 5.77: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 19.

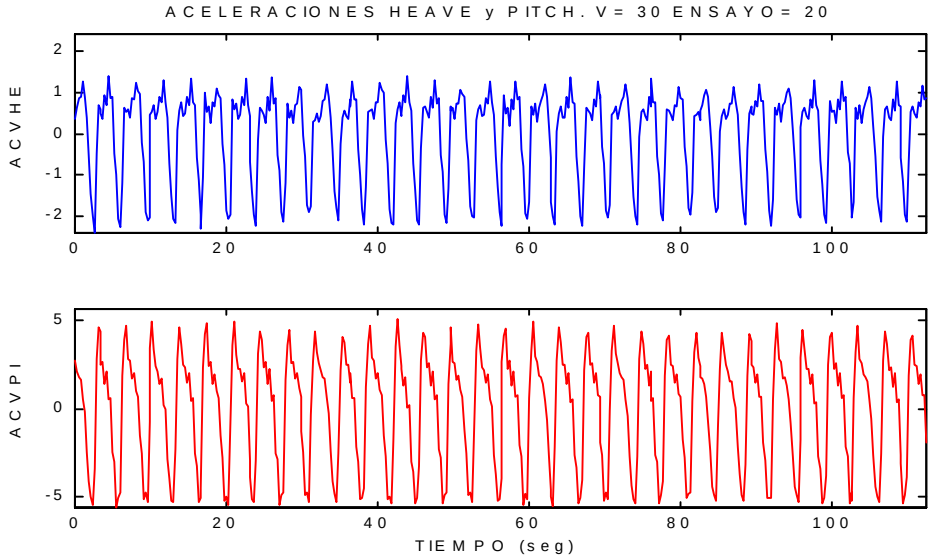


Figura 5.78: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 20.

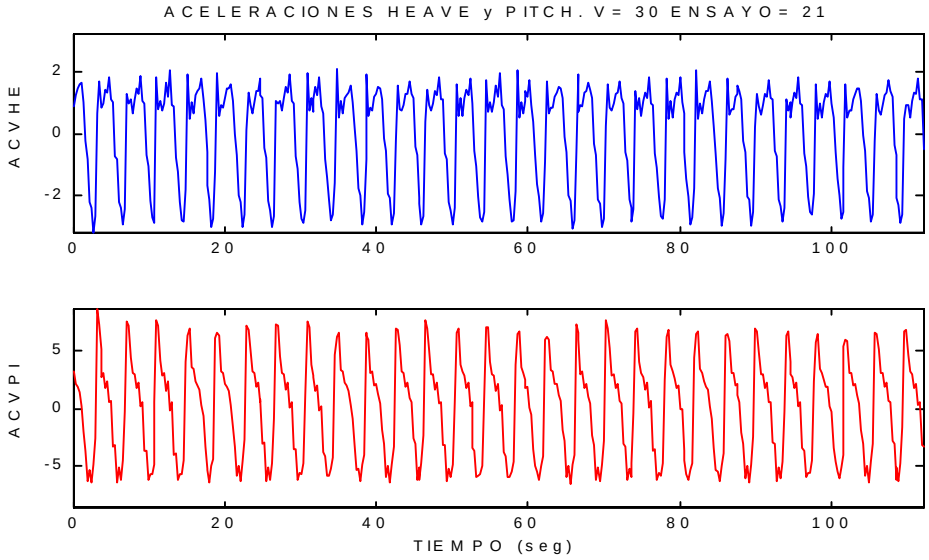


Figura 5.79: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 21.

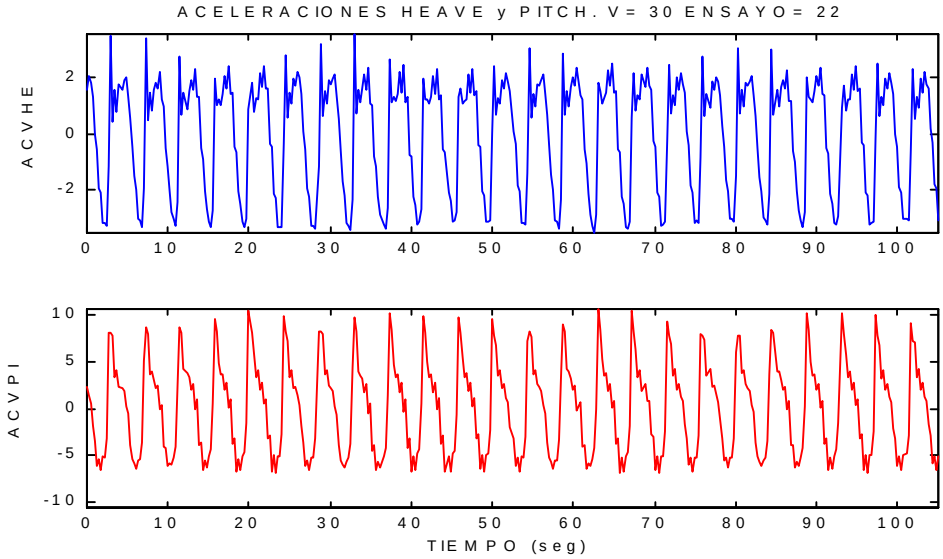


Figura 5.80: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 22.

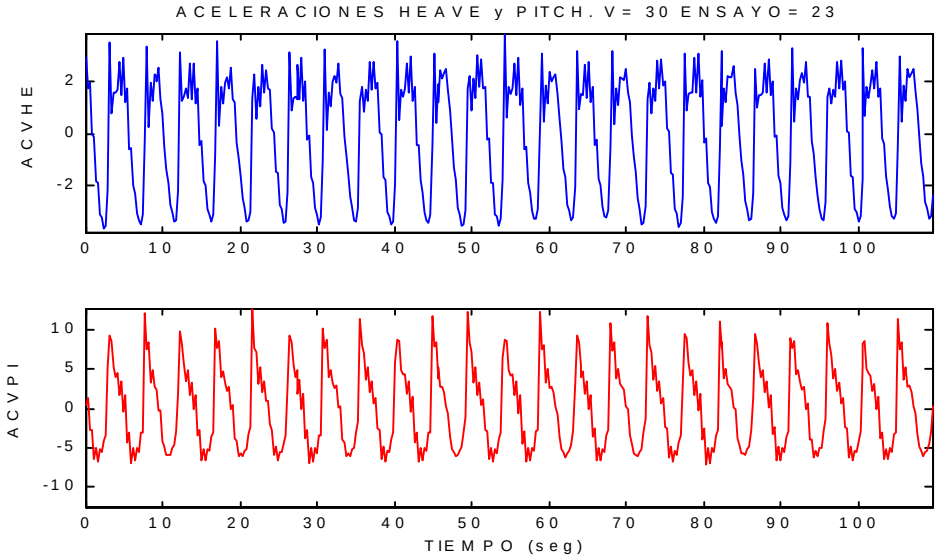


Figura 5.81: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 23.

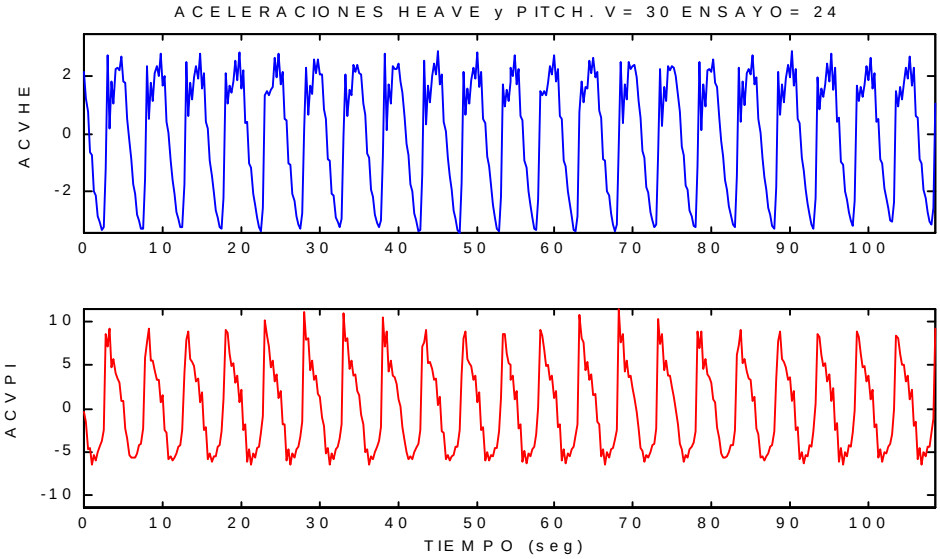


Figura 5.82: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 24.

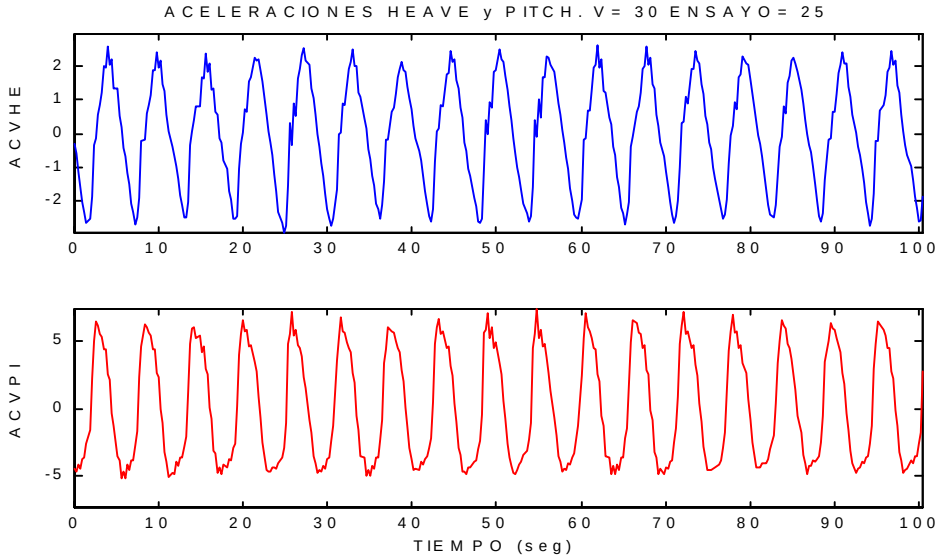


Figura 5.83: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 25.

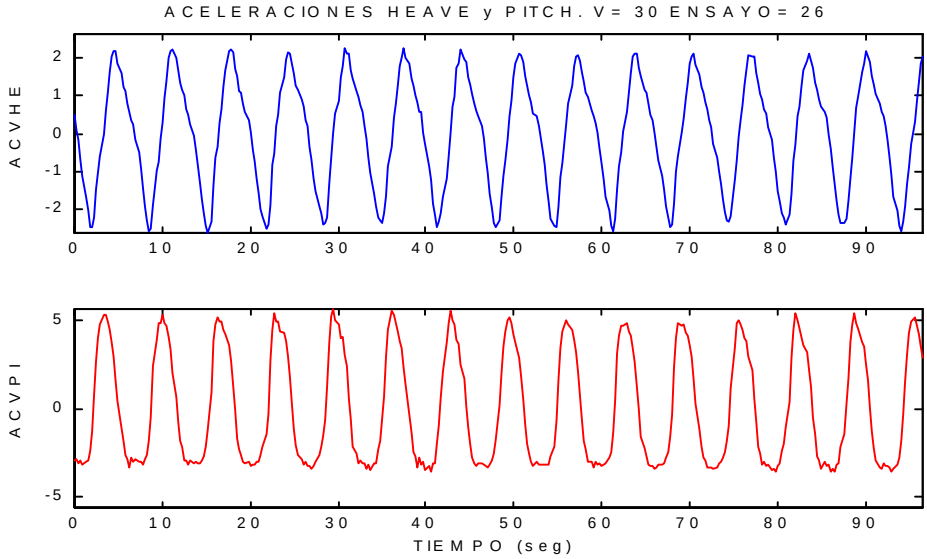


Figura 5.84: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 26.

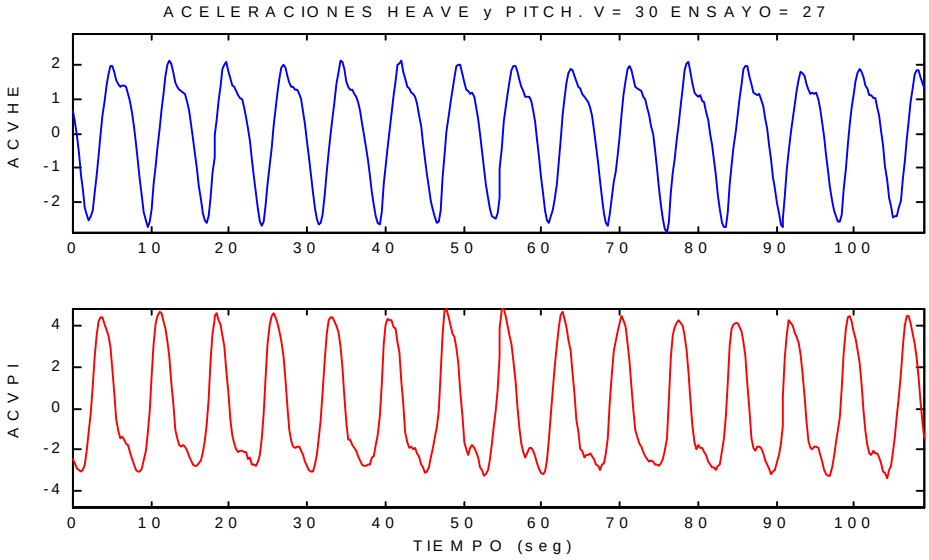


Figura 5.85: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 27.

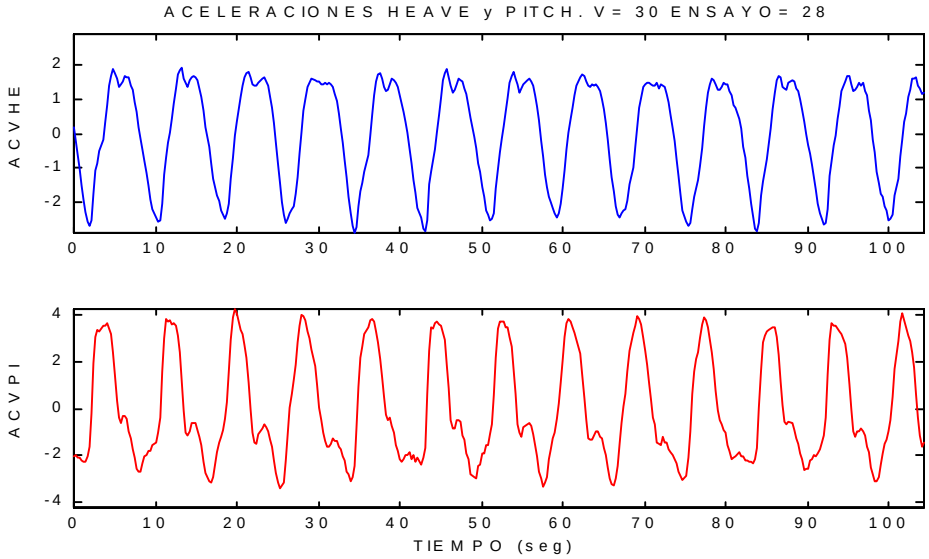


Figura 5.86: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 28.

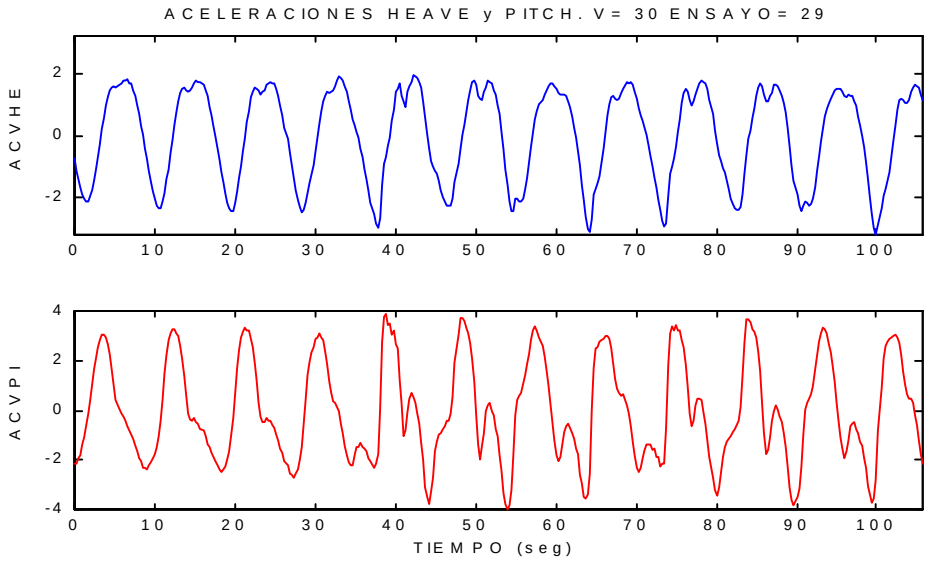


Figura 5.87: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 29.

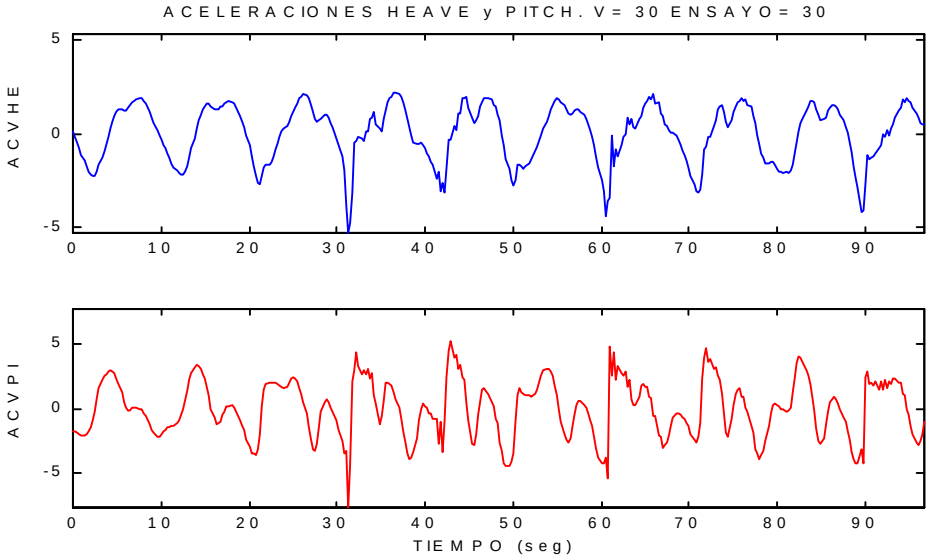


Figura 5.88: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 30 nudos y ensayo 30.

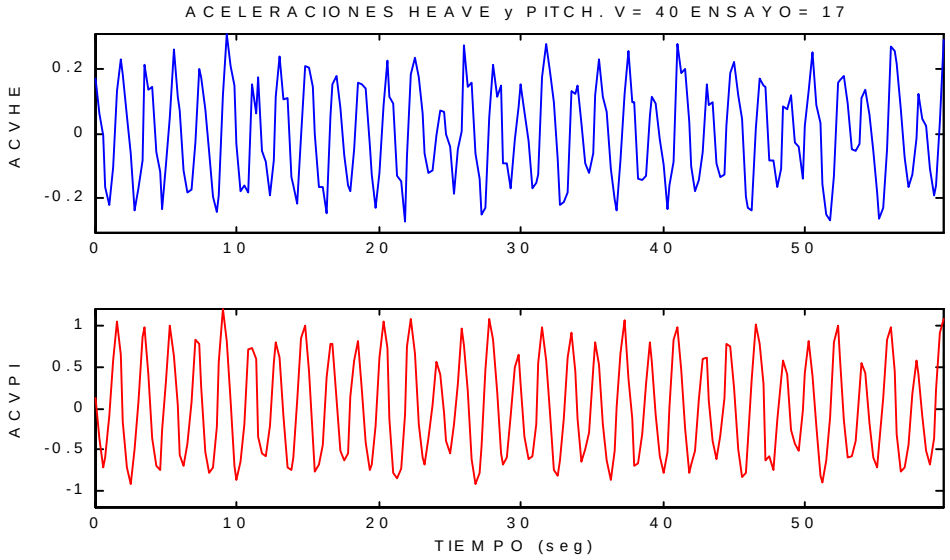


Figura 5.89: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 17.

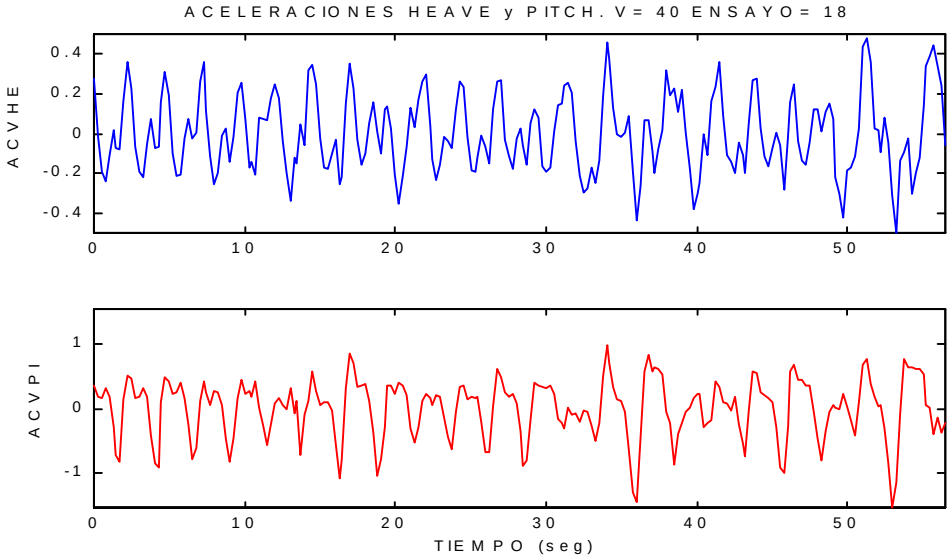


Figura 5.90: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 18.

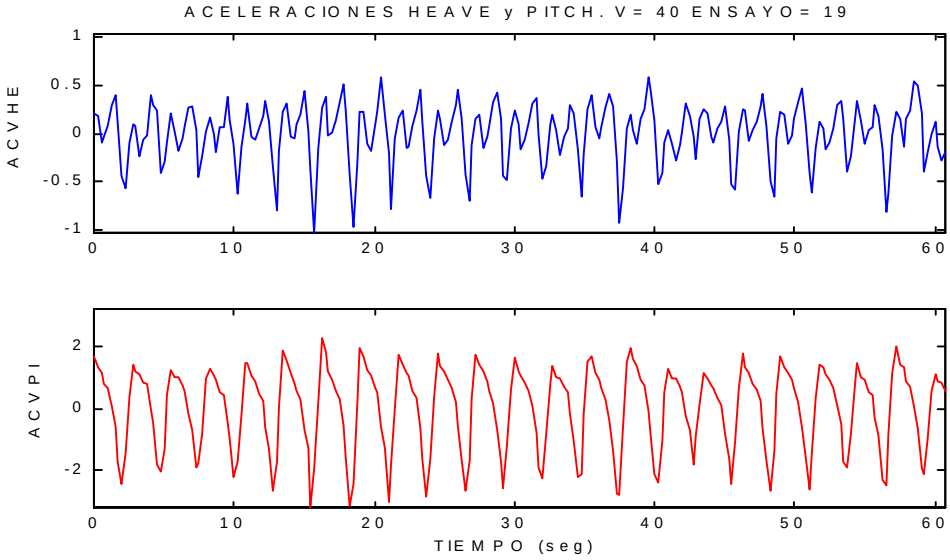


Figura 5.91: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 19.

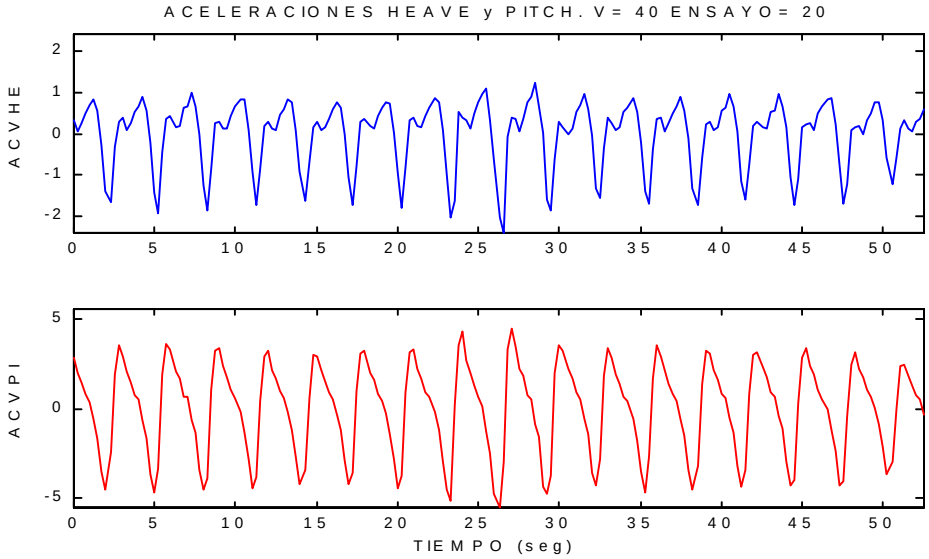


Figura 5.92: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 20.

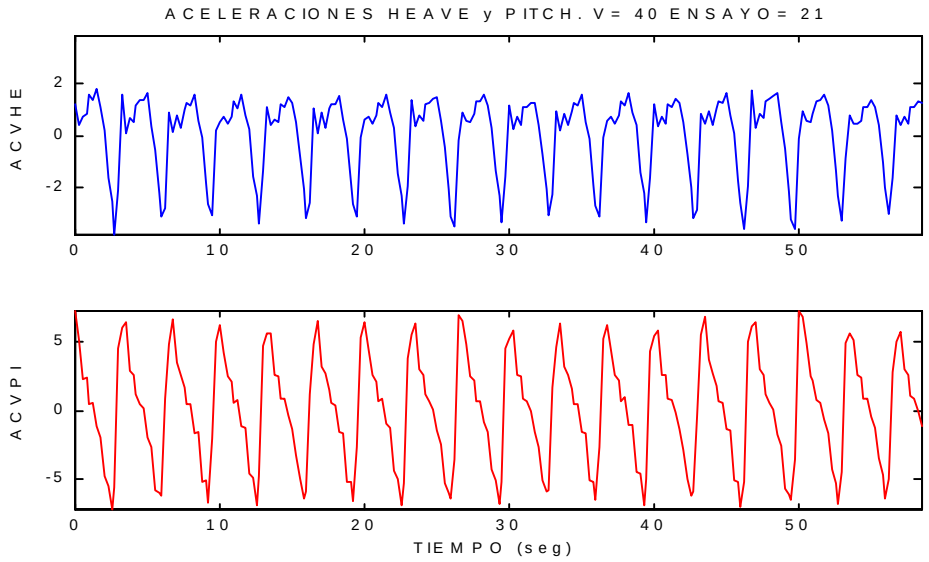


Figura 5.93: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 21.

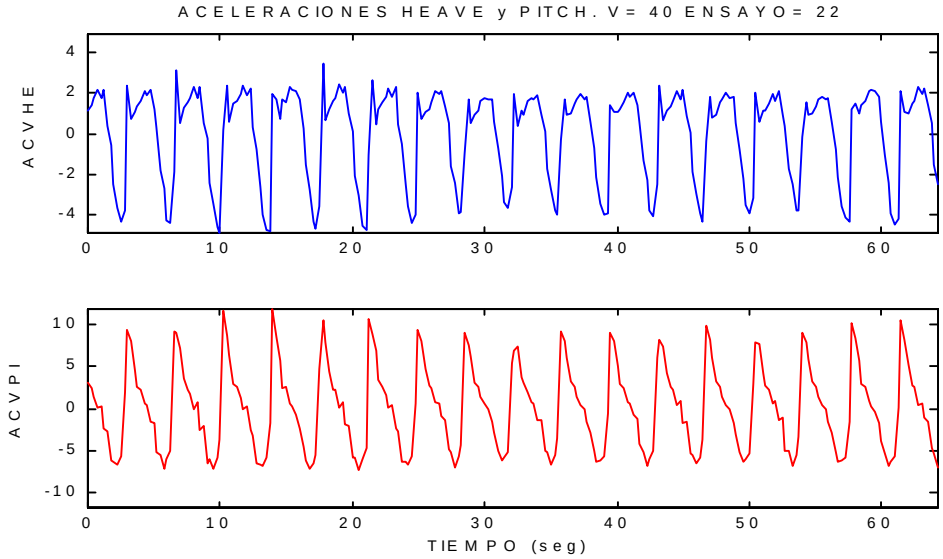


Figura 5.94: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 22.

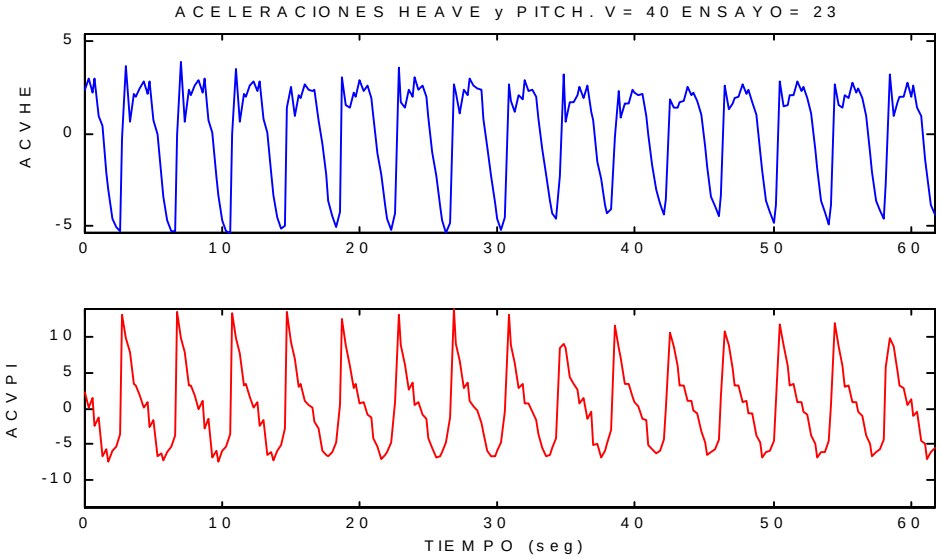


Figura 5.95: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 23.

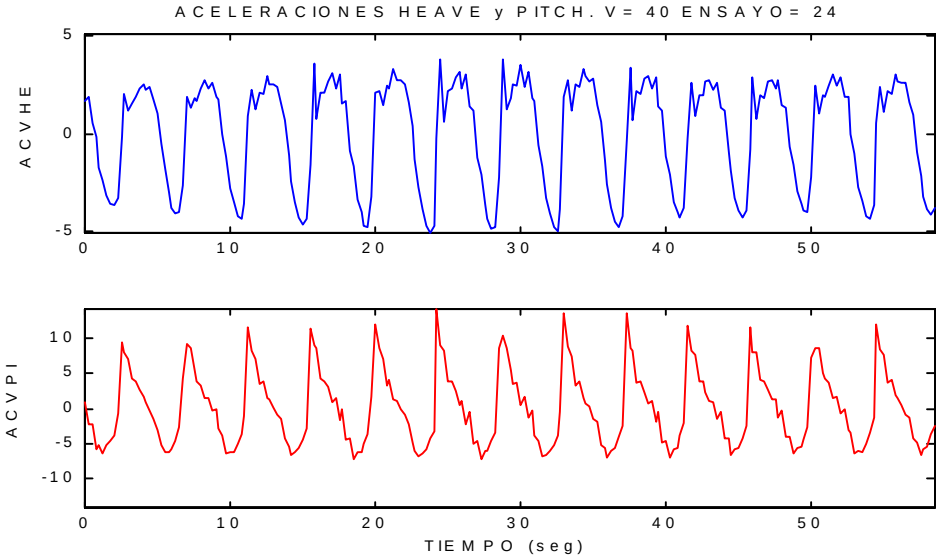


Figura 5.96: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 24.

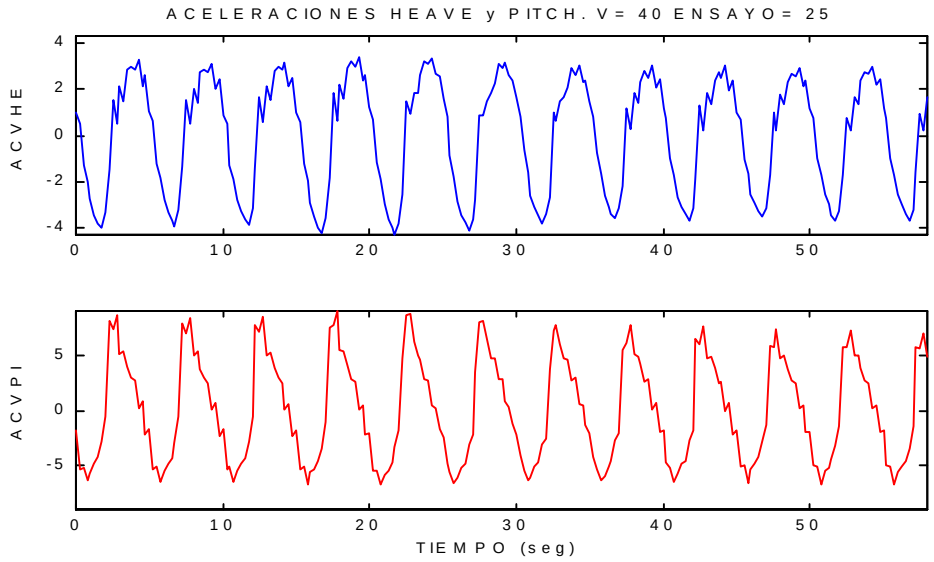


Figura 5.97: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 25.

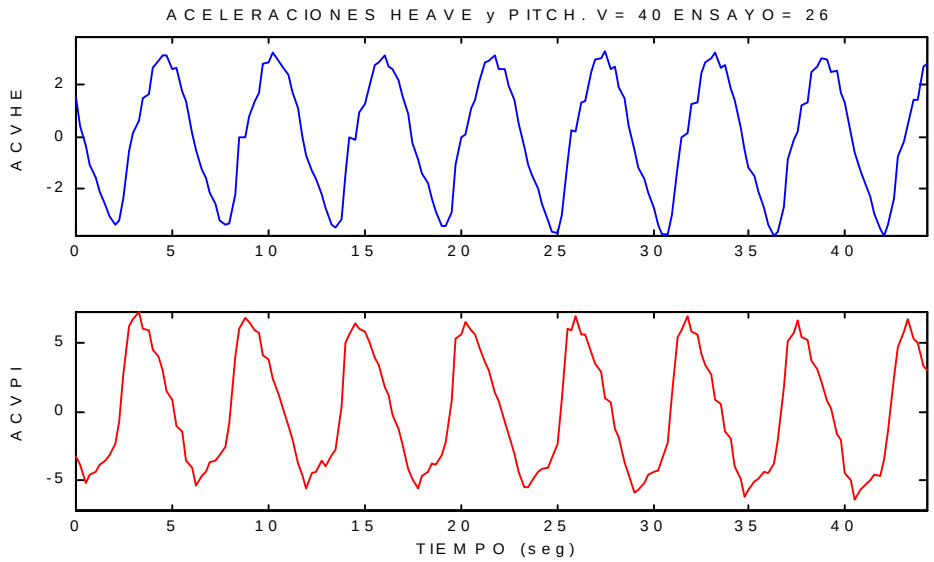


Figura 5.98: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 26.

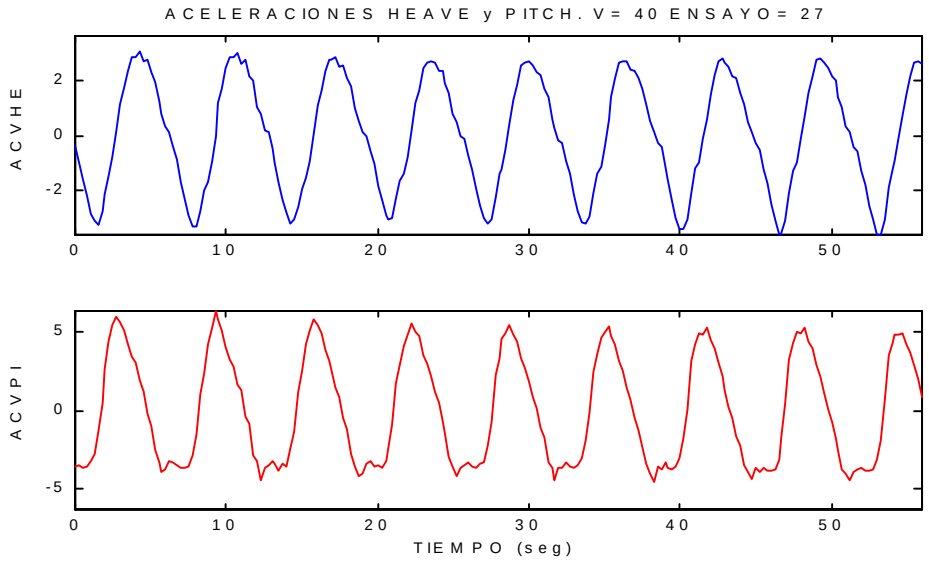


Figura 5.99: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 27.

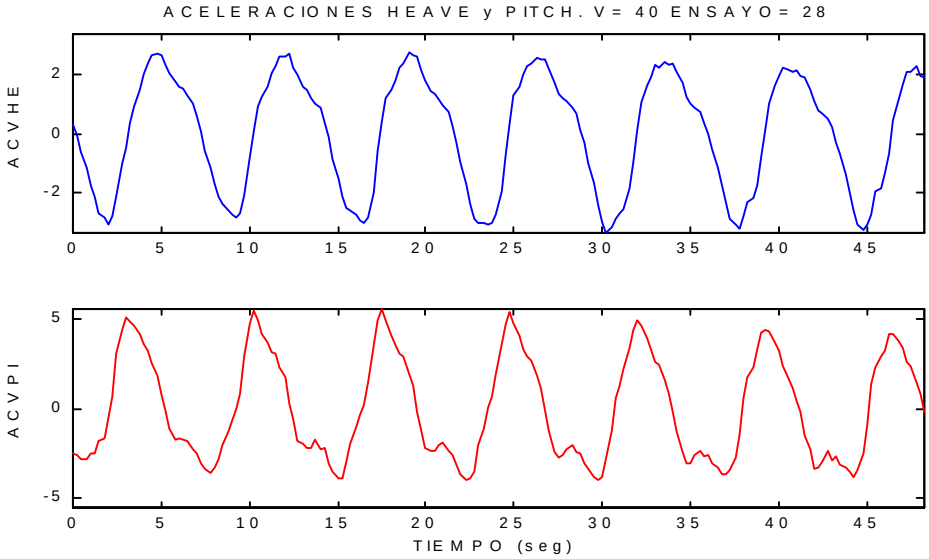


Figura 5.100: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 28.

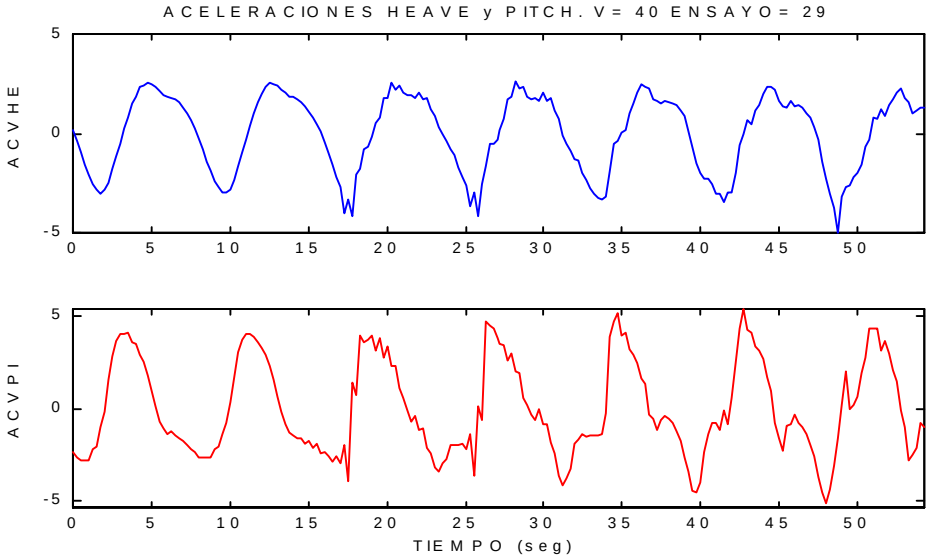


Figura 5.101: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 29.

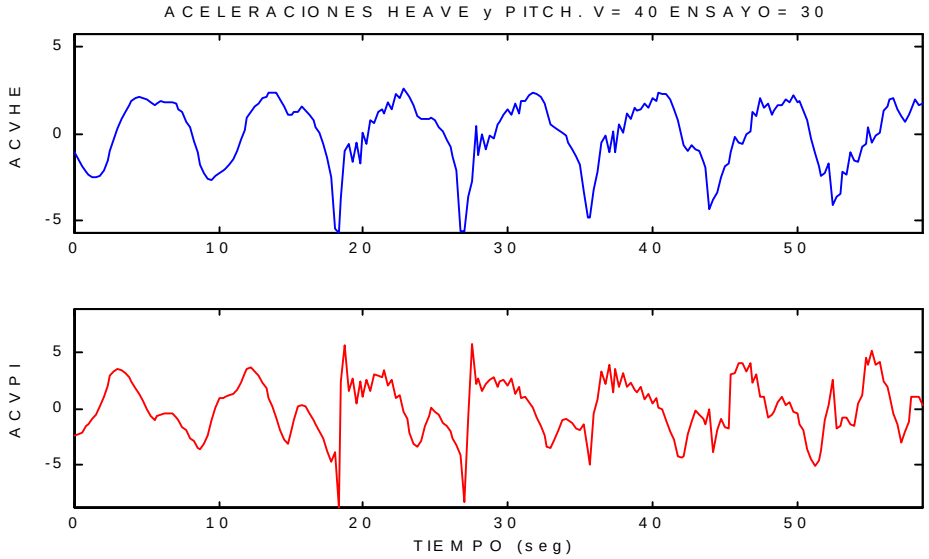


Figura 5.102: Series temporales de las aceleraciones verticales de heave (m/seg^2) y de pitch (grado/seg^2) para velocidad 40 nudos y ensayo 30.

5.3 GRAFICAS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.

Las series temporales que se corrigieron a proa fueron las que entregó CEHIPAR en julio de1998. Los espectros de las series temporales corregidas a proa son iguales que los representados en las Figuras 3.52 a 3.62, esto es así porque para calcular el espectro únicamente se tiene en cuenta el módulo, que no se ve afectado al hacer la corrección a proa. Recuérdese que al medir la ola en un punto distinto al centro de gravedad se refleja en un retardo que afecta únicamente a la fase.

5.3.1 RESPUESTA EN FRECUENCIA ESTIMADA CON LA FUNCION SPA.

En las Figuras 5.103 a 5.111 se muestra el diagrama de Bode estimado con la función **spa.m** a partir de :

a) Entrada : serie temporal de altura de olas. Salida : serie temporal movimiento heave
b) Entrada : serie temporal de altura de olas. Salida : serie temporal movimiento pitch

Estas series temporales fueron medidas con oleaje irregular.

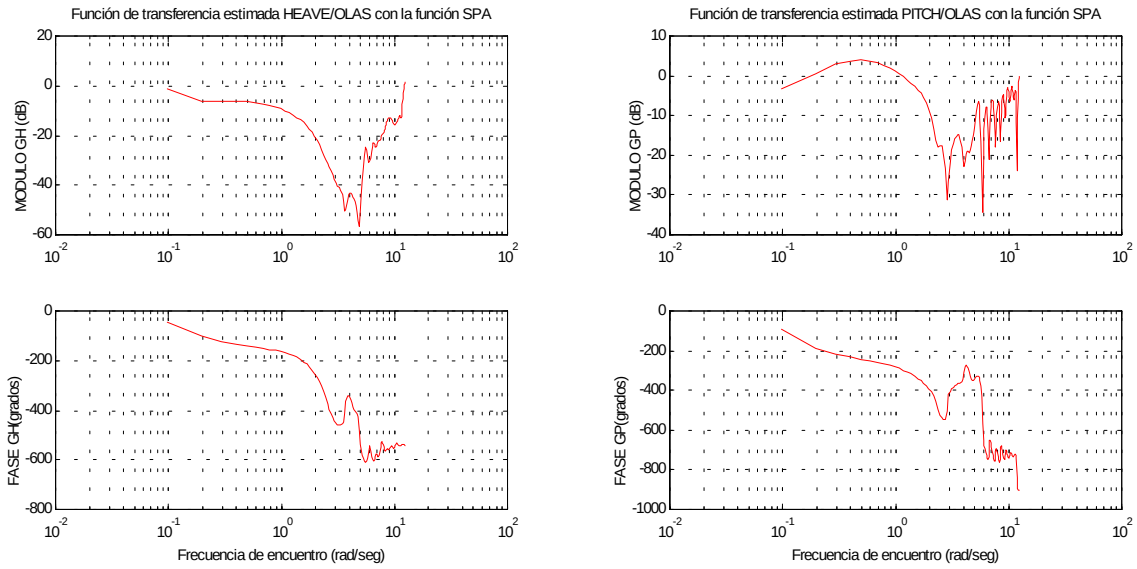


Figura 5.103: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 20 nudos y SSN=4. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

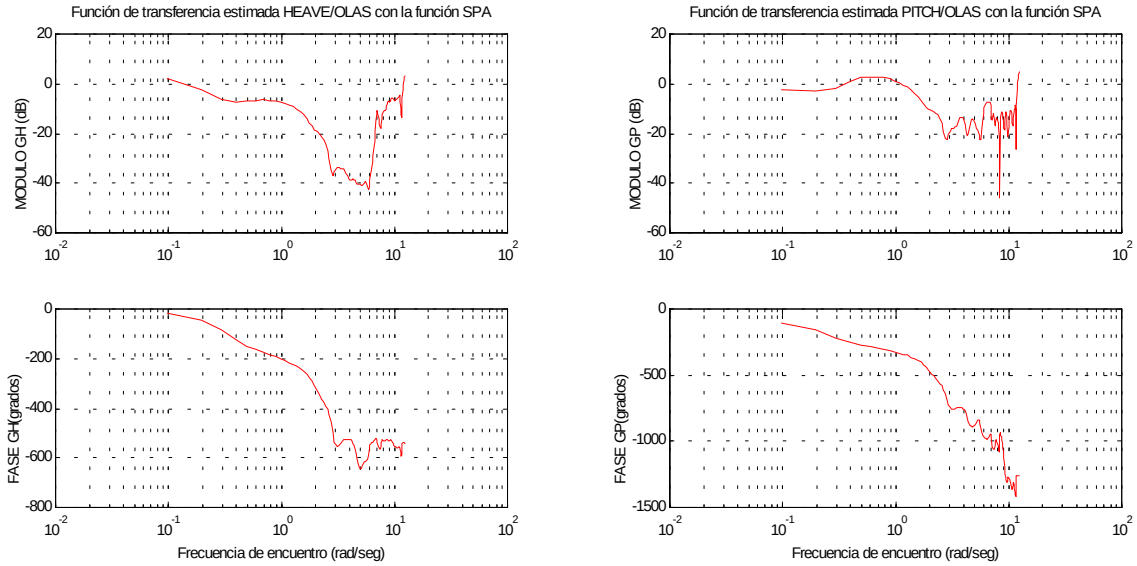


Figura 5.104: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 30 nudos y SSN=4. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

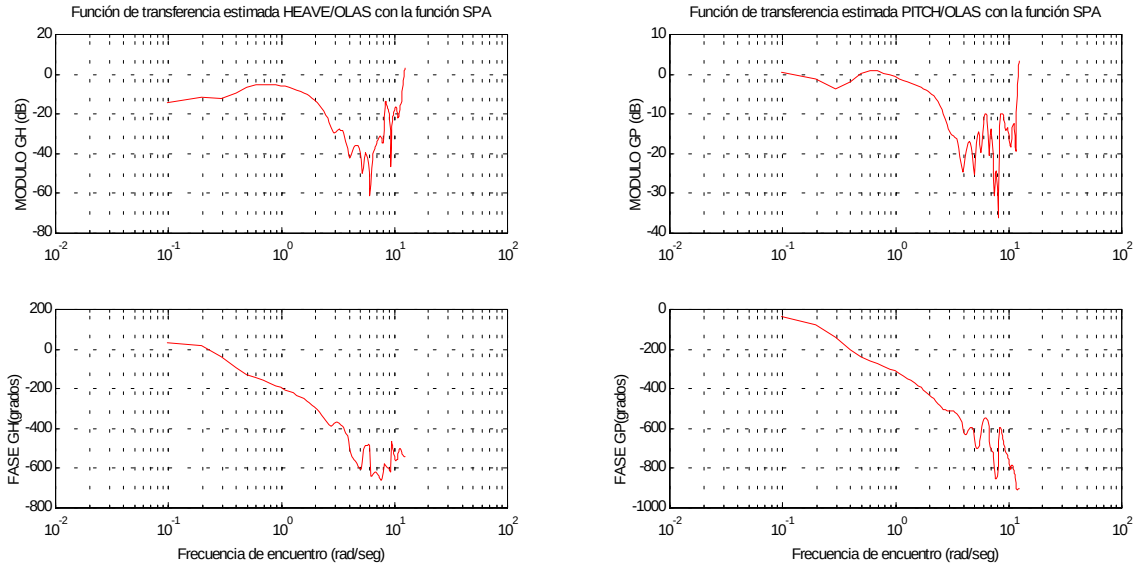


Figura 5.105: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 40 nudos y SSN=4. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

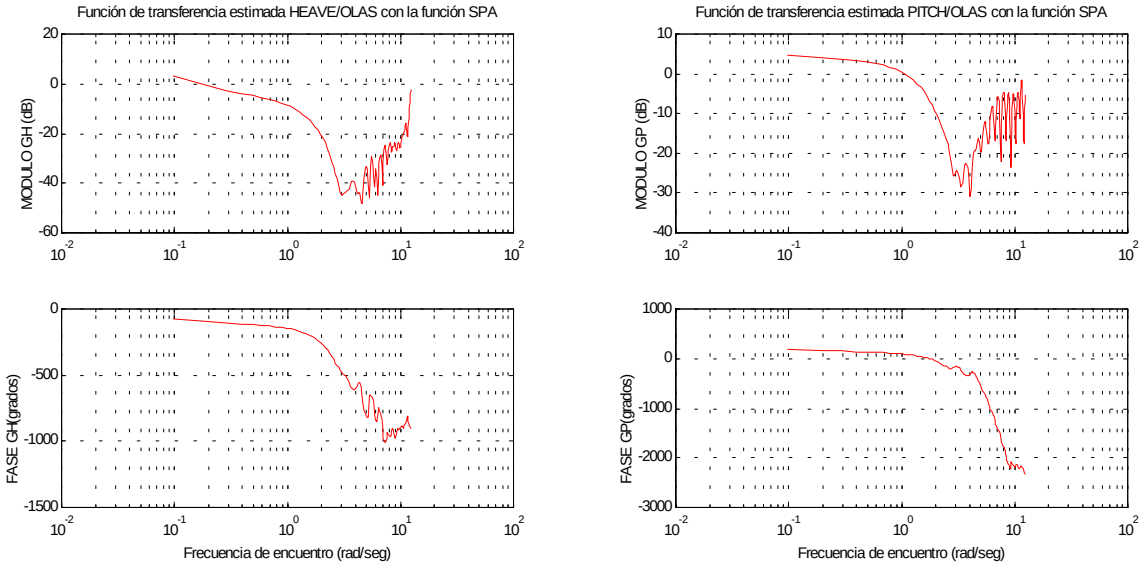


Figura 5.106: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 20 nudos y SSN=5. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

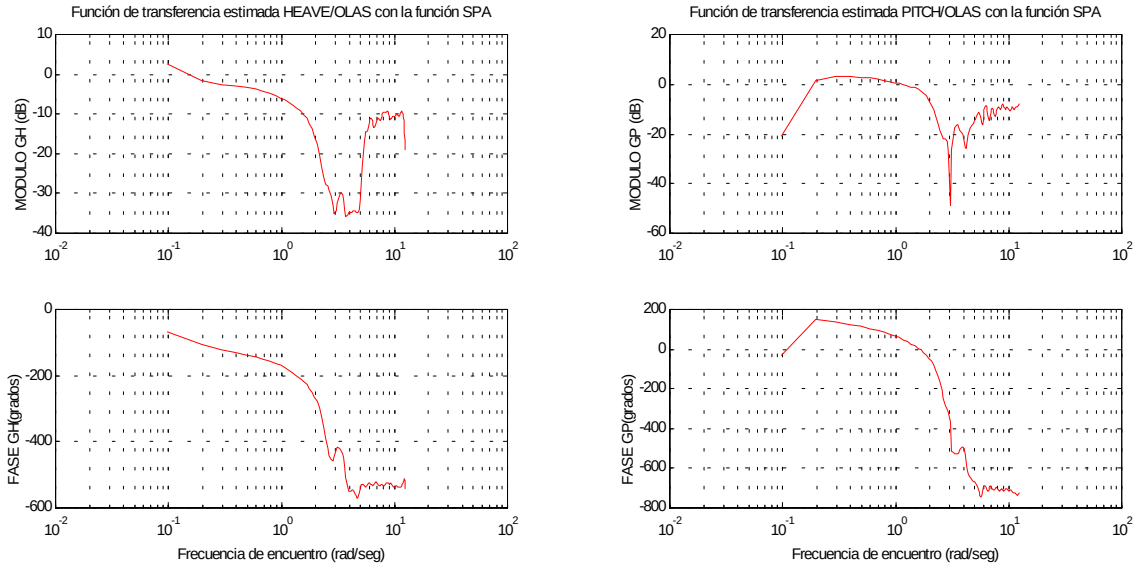


Figura 5.107: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 30 nudos y SSN=5. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

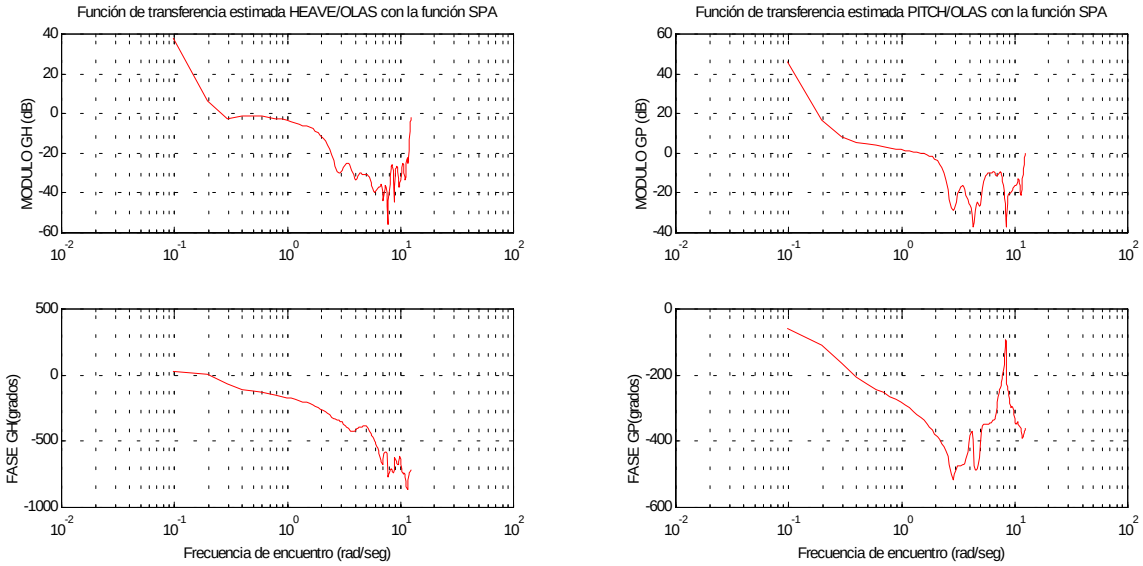


Figura 5.108: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 40 nudos y SSN=5. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

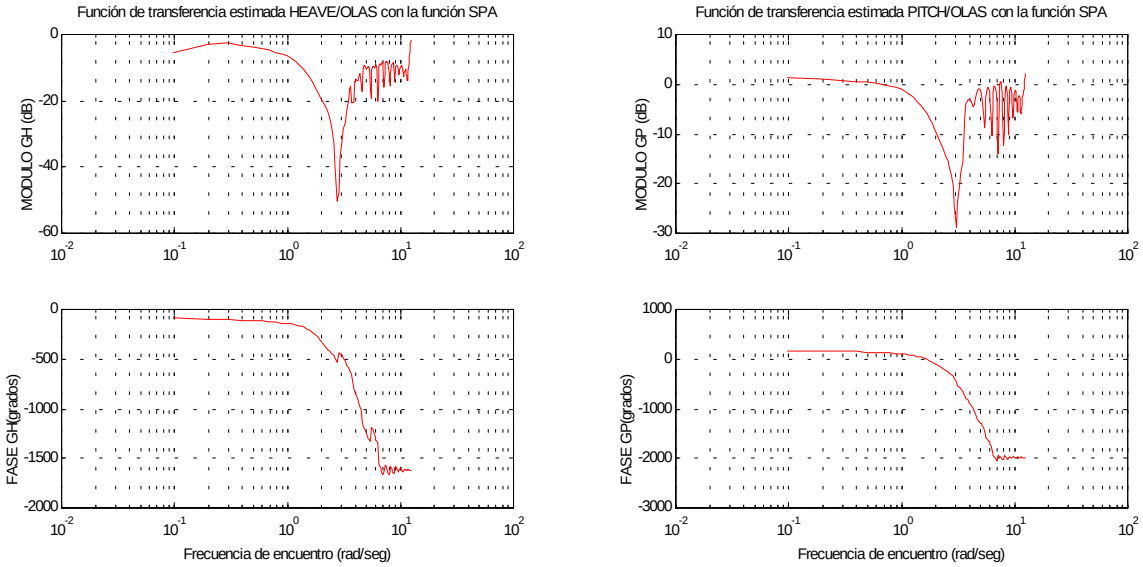


Figura 5.109: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 20 nudos y SSN=6. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

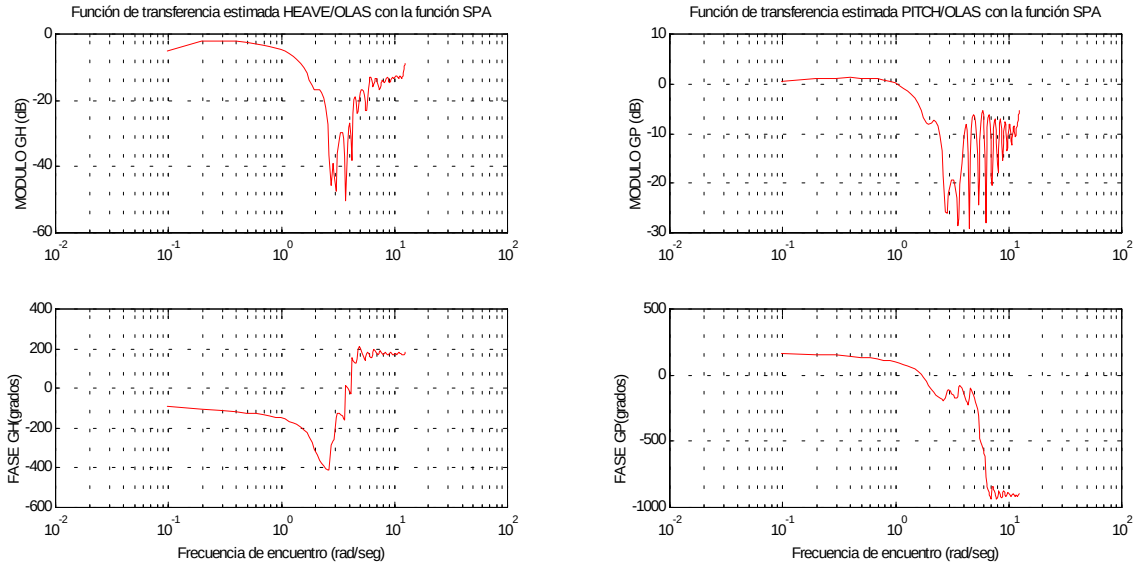


Figura 5.110: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 30 nudos y SSN=6. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

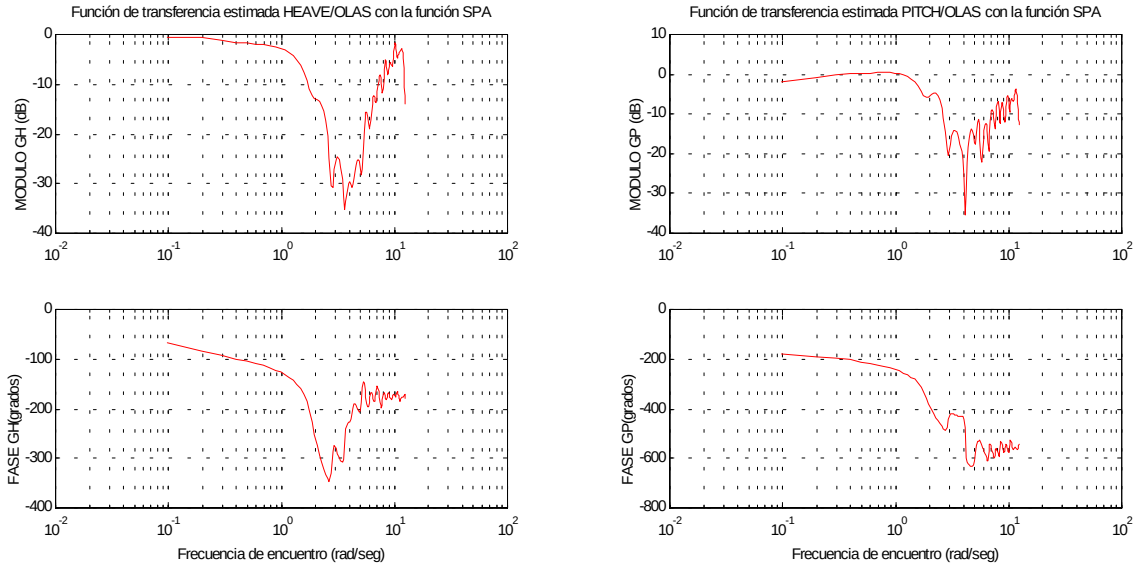


Figura 5.111: Respuesta en frecuencia estimada para velocidad 40 nudos y SSN=6. (a) Heave/olas. (b) Pitch/olas.

6. DATOS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.

En la identificación de modelos lineales continuos ([3], [5] y [6]) de la dinámica vertical del buque TF-120 se trabaja con puntos experimentales de magnitud y de fase para $G_{O2FH}(j\omega_e)$, $G_{O2MP}(j\omega_e)$, $G_{O2H}(j\omega_e)$ y $G_{O2P}(j\omega_e)$ donde :

$G_{O2FH}(j\omega_e)$ es la función de transferencia experimental evaluada en la frecuencia de encuentro ω_e del sistema que tiene como entrada a la altura de olas y como salida la fuerza que origina el heave.
$G_{O2MP}(j\omega_e)$ es función de transferencia experimental evaluada en la frecuencia de encuentro ω_e del sistema que tiene como entrada a la altura de olas y como salida el momento que origina el pitch.
$G_{O2H}(j\omega_e)$ es la función de transferencia experimental evaluada en la frecuencia de encuentro ω_e del sistema que tiene como entrada a la altura de olas y como salida al movimiento de heave.
$G_{O2P}(j\omega_e)$ es función de transferencia experimental evaluada en la frecuencia de encuentro ω_e del sistema que tiene como entrada a la altura de olas y como salida al movimiento de pitch.

En las siguientes secciones se van a presentar una serie de tablas y figuras, donde se utiliza también la siguiente notación :

ω_{ola}	frecuencia de la ola
ω_e	frecuencia de encuentro ola – barco
mod-h	módulo G_H
fase-h	fase de G_H
mod-p	módulo de G_P
fase-p	fase de G_P

6.1 NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS CON LOS DATOS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.

6.1.1 ARCHIVO DE DATOS CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PROGRAMA DE SIMULACION PRECAL

El CEHIPAR en julio de 1998, entregó conjuntamente con los resultados de los ensayos realizados los resultados de las simulaciones realizadas con el programa PRECAL [2]. Estos resultados se encuentran almacenados en el archivo **2613ab.txt** en formato ASCII. Los resultados que se muestran son de tres tipos :

- Coeficientes de las ecuaciones diferenciales que rigen la dinámica del buque (ver Apéndice E).
- Amplitud y fase a distintas frecuencias de las funciones de transferencia de entrada altura de olas y salidas fuerzas y momentos totales que actúan sobre el buque
- Amplitud y fase a distintas frecuencias de las funciones de transferencia de entrada altura de olas y salidas los seis movimientos del buque.

Todos estos valores para distintos ángulos de incidencia y para las velocidades de 20, 30 y 40 nudos. Se ha de indicar que todos estos datos fueron obtenidos considerando oleaje medido en el centro de gravedad del buque.

6.1.2 ARCHIVOS MATLAB CON LOS DATOS DE PRECAL CORREGIDOS A PROA.

Puesto que la identificación se decidió llevarla a cabo en la proa del buque y utilizando los datos proporcionados por PRECAL se hizo necesario trasladar las fases del centro de gravedad a proa, el mecanismo de paso a proa se explica en el apéndice C. Se generaron 6 archivos en formato Matlab con la siguiente nomenclatura :

crrp____[M][XX].mat

donde :
[M] es un identificador que puede tomar el valor 'p' para el movimiento pitch o 'h' para el movimiento heave.
[XX] hace referencia a la velocidad 20, 30 o 40 nudos.

Cada uno de estos archivos contiene tres variables :
FREQ vector de frecuencias de encuentro ω_e, sus unidades son rad/seg.
MODU vector modulo de la función de transferencia $G_{O2H}(j\omega_e)$, medido en m/m o $G_{O2P}(j\omega_e)$, medido en grado/m.
FASE vector fase la función de transferencia $G_{O2H}(j\omega_e)$ o $G_{O2P}(j\omega_e)$, medido en grados corregidas a proa.

La dimensión de los vectores FREQ, MODU, FASE es 25 x 1.

Por ejemplo, crrp____h20 se refiere al heave a la velocidad de 20 nudos.

Se generaron también 3 archivos MATLAB, para las datos de módulo y fase, corregidas a proa de las funciones de transferencia $G_{O2FH}(j\omega_e)$ y $G_{O2MP}(j\omega_e)$ con la siguiente nomenclatura :

fuerza_momento_[XX].mat

cada uno de estos 3 archivos contiene 6 variables
w[XX] frecuencia absoluta de la ola .
we[XX] frecuencia de encuentro a la velocidad [XX].
modGFh módulo de la función de transferencia $G_{O2FH}(j\omega_e)$ medido en kN/m
fGFh_aproa fase corregida a proa de la función de transferencia $G_{O2FH}(j\omega_e)$, medida en grados
modGMp módulo de la función de transferencia $G_{O2MP}(j\omega_e)$ medido en kN·m/m
fGMp_aproa fase corregida a proa de la función de transferencia $G_{O2MP}(j\omega_e)$, medida en grados.

donde :
[XX] hace referencia a la velocidad 20, 30 o 40 nudos.

6.2 COMPARACION ENTRE DATOS PRECAL Y DATOS OBTENIDOS CON LOS ENSAYOS REGULARES.

En esta sección se pretende comparar a distintas velocidades tres tipos de datos de modulo-fase: los obtenidos con las series regulares de julio-98, los obtenidos con las series regulares de marzo-99 y los obtenidos con PRECAL.
Se ha de indicar, que antes de identificar con los datos obtenidos con PRECAL, se utilizaron los puntos de amplitud y fase obtenidos a partir de las series temporales regulares, tanto las entregadas en julio de 1998 como las entregadas en marzo de 1999. Conocidos el modulo y la fase de la altura de olas, movimiento heave y movimiento pitch (ver Tablas 3.1, 3.2, 3.3, 4.1, 4.2 y 4.3) de las series regulares es inmediato obtener los módulos y las fases experimentales de G_{O2H} y G_{O2P}.

6.2.1 VELOCIDAD 20 NUDOS

En la Tabla 6.1 se muestran los datos obtenidos a partir de las series regulares de julio-98 de modulo y de fase para G_{O2H} y G_{O2P} a distintas frecuencias de encuentro y velocidad 20 nudos.

Tabla 6.1: Datos obtenidos a partir de las series regulares de julio-98. Velocidad 20 nudos.

h-ola	i/lpp	w-ola	w-enc	mod-hea	fase-hea	mod-pit	fase-pit
1.12	0.51	1.0482	2.1919	0.0584	-113.1	0.1478	-222.7
1.54	0.70	0.8946	1.7277	0.1439	-12.0	0.4427	-199.4
1.76	0.80	0.8368	1.5658	0.2258	13.6	0.9090	-155.0
2.00	0.91	0.7847	1.4256	0.3302	45.8	1.2666	-106.4
2.27	1.03	0.7375	1.3037	0.4016	78.2	1.7185	-59.6
2.53	1.15	0.6980	1.2052	0.4377	104.8	1.8942	-21.7
2.82	1.28	0.6616	1.1173	0.4857	128.5	1.9759	14.3
3.12	1.42	0.6281	1.0389	0.5416	145.8	1.9271	44.0
3.78	1.72	0.5707	0.9099	0.6947	179.0	1.7406	88.4
4.49	2.04	0.5241	0.8099	0.8101	209.2	1.5397	121.8
5.28	2.40	0.4832	0.7262	0.8821	231.4	1.3502	146.1
6.12	2.78	0.4489	0.6588	0.9192	252.3	1.2016	167.3
7.02	3.19	0.4191	0.6019	0.9325	261.3	1.0450	176.8
7.99	3.63	0.3929	0.5536	0.9380	271.2	0.9430	187.6

En la Tabla 6.2 se muestran los datos obtenidos a partir de las series regulares de marzo-99 de modulo y de fase para G_{O2H} y G_{O2P} a distintas frecuencias de encuentro y velocidad 20 nudos.

Tabla 6.2: Datos obtenidos a partir de las series regulares de marzo-99. Velocidad 20 nudos.

h-ola	i/lpp	wo	we	mh	fh	mp	fp
1.12	0.51	1.0482	2.1919	0.0596	111.9	0.1510	-357.6
1.54	0.70	0.8946	1.7277	0.1467	56.7	0.4513	-135.0
1.76	0.80	0.8368	1.5658	0.2260	32.8	0.9096	-135.8
2.00	0.91	0.7847	1.4256	0.3297	16.2	1.3643	-136.1
2.27	1.03	0.7375	1.3037	0.4014	9.6	1.7176	-128.2
2.53	1.15	0.6980	1.2052	0.4382	8.9	1.8964	-117.6
2.82	1.28	0.6616	1.1173	0.4926	-0.9	2.0041	-115.1
3.12	1.42	0.6281	1.0389	0.5610	-4.4	1.9963	-106.2
3.78	1.72	0.5707	0.9099	0.6953	-6.8	1.7423	-97.5
4.49	2.04	0.5241	0.8099	0.8105	-4.8	1.5406	-92.2
5.28	2.40	0.4832	0.7262	0.8825	-2.7	1.3508	-87.9
6.12	2.78	0.4489	0.6588	0.9196	-1.2	1.2022	-86.3
7.02	3.19	0.4191	0.6019	0.9314	-7.9	1.0437	-92.4
7.99	3.63	0.3929	0.5536	0.9577	-6.5	0.9400	-90.0

En la Tabla 6.3 se muestran los datos obtenidos con PRECAL de modulo y de fase para G_{O2H} y G_{O2P} a distintas frecuencias de encuentro y velocidad 20 nudos.

Tabla 6.3: Datos obtenidos con PRECAL. Velocidad 20 nudos.

w-ola	w-enc.	mod-hea	fase-hea	mod-pit	fase-pit
0.393	0.555	0.9263	-12.1	0.9808	-100.5
0.406	0.579	0.9156	-12.8	1.054	-101.9
0.419	0.603	0.9052	-13.5	1.124	-103.6
0.434	0.632	0.8928	-14.3	1.204	-105.7
0.449	0.661	0.879	-15.2	1.282	-107.8
0.465	0.692	0.86	-16.1	1.367	-110.2
0.483	0.728	0.8427	-17.1	1.442	-113.4
0.503	0.769	0.824	-18.7	1.524	-115.5
0.524	0.812	0.7977	-20.4	1.607	-118.1
0.546	0.859	0.7636	-22.1	1.688	-121.2
0.571	0.913	0.7233	-24.3	1.785	-124.2
0.598	0.973	0.6725	-26.6	1.861	-127.7
0.628	1.042	0.6093	-29.5	1.954	-133.1
0.662	1.122	0.5349	-31.9	1.949	-140.2
0.698	1.212	0.4508	-35	1.929	-147.8
0.738	1.31	0.3528	-37.9	1.778	-157.9
0.76	1.366	0.2983	-39.1	1.643	-164.2
0.785	1.432	0.238	-39.2	1.444	-171
0.81	1.499	0.179	-35.8	1.197	-178.1
0.837	1.572	0.1304	-26.3	0.907	-184.4
0.865	1.65	0.1034	-9.1	0.6174	-187.1
0.895	1.736	0.097	7.7	0.3694	-180.5
0.965	1.943	0.0833	20.4	0.2207	-123.9
1.048	2.201	0.0418	34.8	0.1762	-107.8
1.147	2.528	0.0196	73.6	0.0539	-56.4

En las Figuras 6.1 y 6.2 se muestran representados gráficamente los datos de las Tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

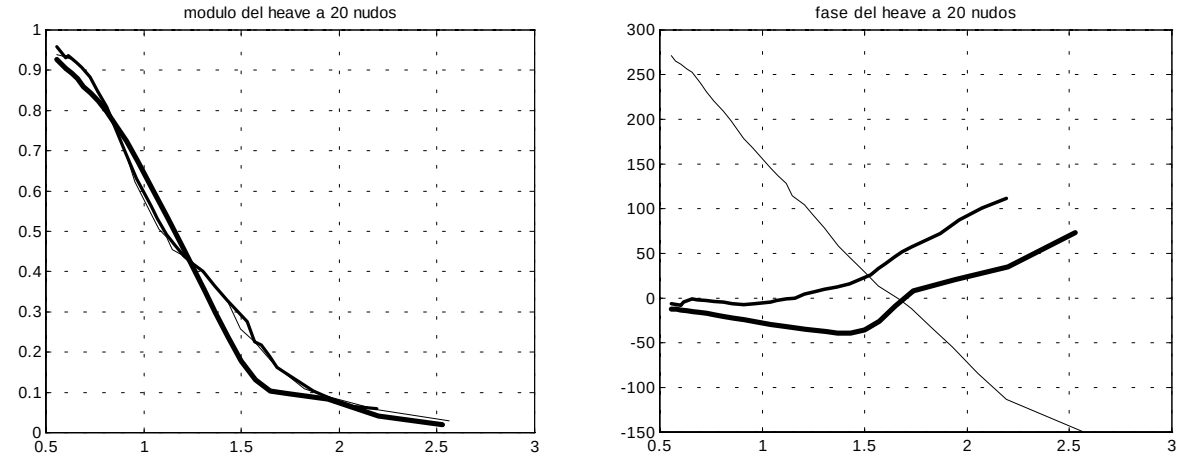


Figura 6.1:Linea fina datos 1998 - Linea media datos 1999 - Linea gruesa PRECAL

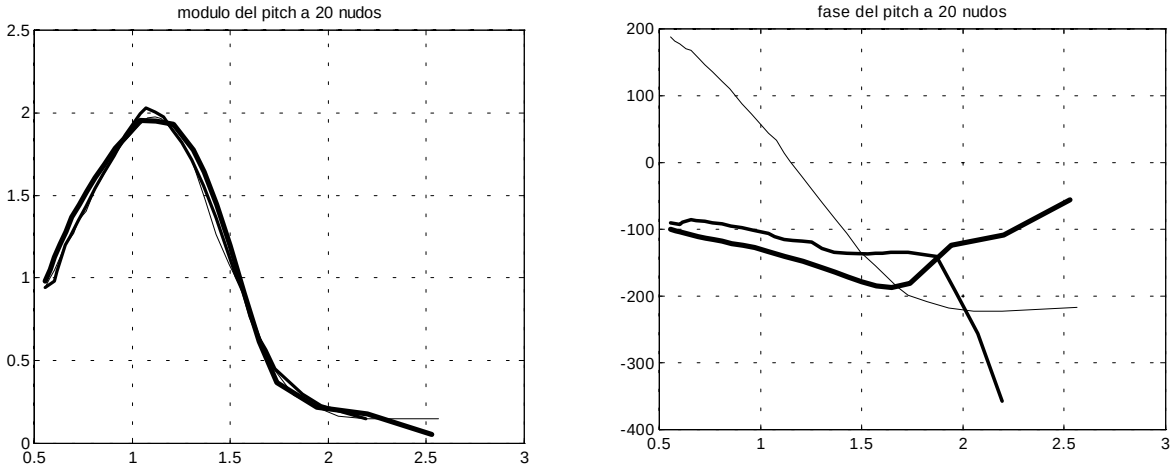


Figura 6.2:Linea fina datos 1998 - Linea media datos 1999 - Linea gruesa PRECAL

6.2.2 VELOCIDAD 30 NUDOS

En la Tabla 6.4 se muestran los datos obtenidos a partir de las series regulares de julio-98 de modulo y de fase para G_{O2H} y G_{O2P} a distintas frecuencias de encuentro y velocidad 30 nudos.

Tabla 6.4: Datos obtenidos a partir de las series regulares de julio-98. Velocidad 30 nudos.

h-ola	i/lpp	w-ola	w-enc	mod-hea	fase-hea	mod-pit	fase-pit
1.40	0.51	1.0482	2.7637	0.0341	-132.1	0.0726	-226.3
1.93	0.70	0.8946	2.1443	0.0588	-43.9	0.2385	-235.2
2.20	0.80	0.8368	1.9303	0.1414	-40.4	0.5654	-187.6
2.50	0.91	0.7847	1.7461	0.3038	-1.4	0.9702	-142.9
2.83	1.03	0.7375	1.5868	0.5064	41.2	1.3767	-98.5
3.16	1.15	0.6980	1.4588	0.6040	77.2	1.5390	-60.5
3.52	1.28	0.6616	1.3452	0.7873	111.6	1.8097	-25.7
3.91	1.42	0.6281	1.2443	0.8170	142.6	1.8968	8.1
4.73	1.72	0.5707	1.0794	0.7461	182.4	1.8196	61.5
5.61	2.04	0.5241	0.9529	0.7820	210.2	1.5928	102.9
6.60	2.40	0.4832	0.8477	0.8454	230.6	1.3671	128.6
7.65	2.78	0.4489	0.7636	0.8926	248.4	1.1969	146.9
8.77	3.19	0.4191	0.6923	0.9297	261.6	1.0537	163.3
9.98	3.63	0.3929	0.6339	0.9639	273.6	0.9471	176.6

En la Tabla 6.5 se muestran los datos obtenidos a partir de las series regulares de marzo-99 de modulo y de fase para G_{O2H} y G_{O2P} a distintas frecuencias de encuentro y velocidad 30 nudos.

Tabla 6.5: Datos obtenidos a partir de las series regulares de marzo-99.Velocidad 30 nudos.

h-ola	i/lpp	w-ola	w-enc	mod-hea	fase-hea	mod-pit	fase-pit
1.40	0.51	1.0482	2.7637	0.0250	-251.5	0.10	-369.6
1.93	0.70	0.8946	2.1443	0.0325	-233.3	0.07	-162.1
2.20	0.80	0.8368	1.9303	0.0308	-96.5	0.27	-198.4
2.50	0.91	0.7847	1.7461	0.1561	-70.7	0.58	-176.1
2.83	1.03	0.7375	1.5868	0.3583	-100.1	0.91	-210.2
3.16	1.15	0.6980	1.4588	0.5676	-87.9	1.19	-198.1
3.52	1.28	0.6616	1.3452	0.7625	-54.4	1.41	-165.7
3.91	1.42	0.6281	1.2443	0.7719	-33.8	1.39	-152.8
4.73	1.72	0.5707	1.0794	0.8553	-15.6	1.49	-131.8
5.61	2.04	0.5241	0.9529	0.9503	-13.8	1.60	-123.6
6.60	2.40	0.4832	0.8477	0.9275	21.9	1.41	-78.6
7.65	2.78	0.4489	0.7636	0.9434	-8.9	1.23	-103.1
8.77	3.19	0.4191	0.6933	0.9773	-18.6	1.08	-109.5
9.98	3.63	0.3929	0.6339	0.9411	19.5	0.94	-71.1

En la Tabla 6.6 se muestran los datos obtenidos con PRECAL de modulo y de fase para G_{O2H} y G_{O2P} a distintas frecuencias de encuentro y velocidad 30 nudos.

Tabla 6.6 : Datos obtenidos con PRECAL. Velocidad 30 nudos.

w-ola	w-enc.	mod-hea	fase-hea	mod-pit	fase-pit
0.393	0.636	0.954	-10.9	1.017	-107
0.406	0.666	0.952	-11.6	1.078	-109.2
0.419	0.695	0.9508	-12.3	1.128	-111.2
0.434	0.731	0.9421	-13.3	1.212	-114.2
0.449	0.766	0.9551	-14.4	1.174	-116.5
0.465	0.805	0.9271	-15.8	1.32	-116.5
0.483	0.85	0.922	-17.3	1.384	-118.7
0.503	0.901	0.9059	-19.3	1.484	-122.2
0.524	0.956	0.8881	-21.5	1.609	-124.1
0.546	1.015	0.8704	-23.6	1.691	-127.3
0.571	1.084	0.8433	-27.1	1.822	-132.5
0.598	1.161	0.8155	-30.6	1.949	-137.8
0.628	1.249	0.7707	-35.7	2.047	-144.7
0.662	1.352	0.7133	-43.8	2.098	-155.2
0.698	1.468	0.6222	-54.4	2.055	-168.2
0.738	1.596	0.4673	-68.9	1.774	-186.1
0.76	1.67	0.3658	-76.4	1.518	-196.1
0.785	1.755	0.2536	-82.1	1.178	-206
0.81	1.843	0.163	-81.4	0.8476	-210.7
0.837	1.94	0.101	-69.9	0.5558	-214.3
0.865	2.043	0.0729	-49.1	0.348	-207.4
0.895	2.156	0.0628	-30.9	0.2303	-198.9
0.965	2.431	0.0407	-9.7	0.1701	-151.6
1.048	2.777	0.0192	38.5	0.0886	-141.7
1.147	3.219	0.017	70	0.0278	-17.8

En las Figuras 6.3 y 6.4 se muestran representados gráficamente los datos de las Tablas 6.4, 6.5 y 6.6.

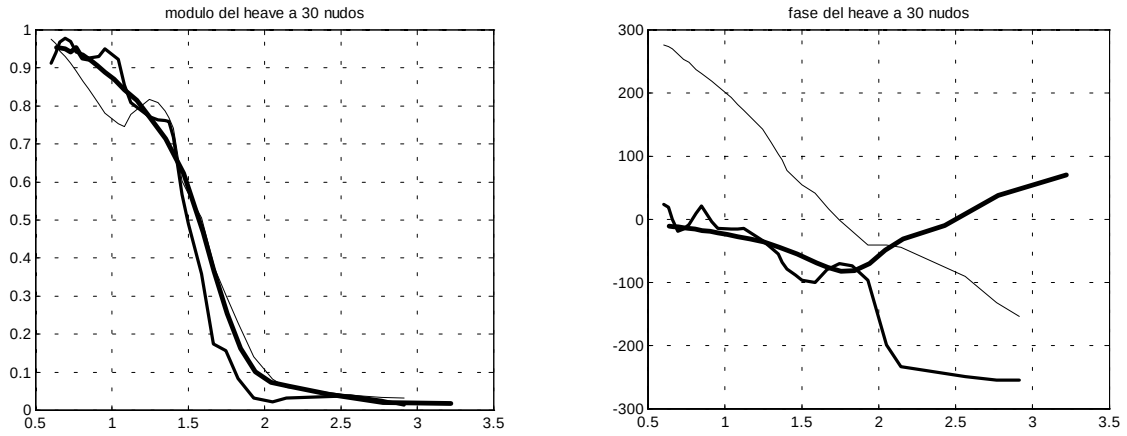


Figura 6.3:Línea fina datos1998 - Línea media datos 1999 - Línea gruesa datos PRECAL.

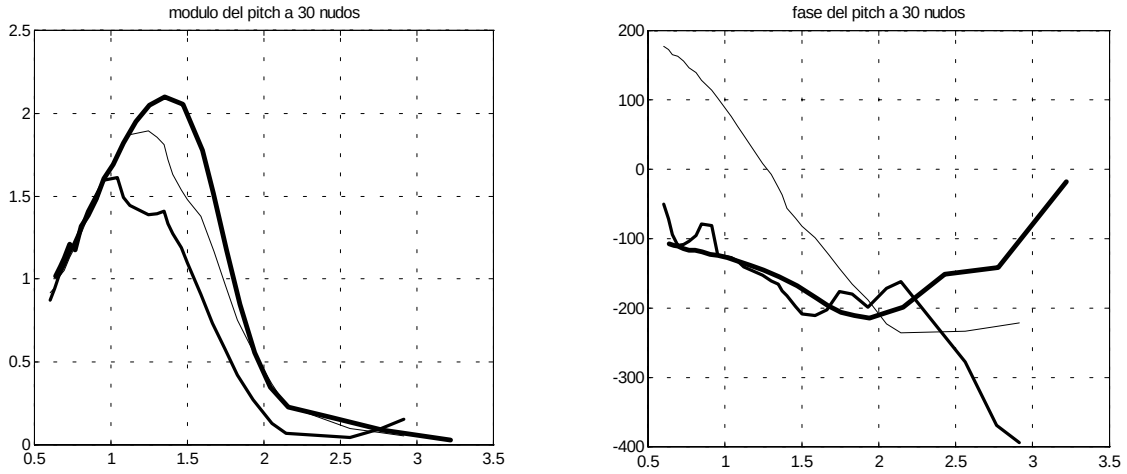


Figura 6.4: Línea fina datos1998 - Línea media datos 1999 - Línea gruesa datos PRECAL.

6.2.3 VELOCIDAD 40 NUDOS

En la Tabla 6.7 se muestran los datos obtenidos a partir de las series regulares de julio-98 de modulo y de fase para G_{O2H} y G_{O2P} a distintas frecuencias de encuentro y velocidad 20 nudos.

Tabla 6.7: Datos obtenidos a partir de las series regulares de julio-98. Velocidad 40 nudos.

h-ola	i/lpp	w-ola	w-enc	mod-hea	fase-hea	mod-pit	fase-pit
1.87	0.51	1.0482	3.3356	0.0239	-66.7	0.0969	-184.9
2.57	0.70	0.8946	2.5608	0.0306	-298.9	0.0662	-227.7
2.93	0.80	0.8368	2.2947	0.0297	-78.1	0.2619	-180.0
3.34	0.91	0.7847	2.0665	0.1526	-27.7	0.5686	-133.1
3.78	1.03	0.7375	1.8669	0.3548	11.2	0.8963	-98.9
4.22	1.15	0.6980	1.7124	0.5656	49.4	1.1854	-60.7
4.69	1.28	0.6616	1.5730	0.7733	82.7	1.4274	-28.6
5.21	1.42	0.6281	1.4497	0.9071	128.3	1.6330	9.3
6.31	1.72	0.5707	1.2490	0.9922	177.8	1.7319	61.6
7.48	2.04	0.5241	1.0950	0.9022	209.1	1.5510	99.3
8.80	2.40	0.4832	0.9693	0.8889	232.7	1.3514	132.1
10.19	2.78	0.4489	0.8685	0.9076	246.4	1.1836	152.3
11.70	3.19	0.4191	0.7840	0.9320	259.7	1.0335	168.8
13.31	3.63	0.3929	0.7142	0.9250	273.3	0.9286	182.8

En la Tabla 6.8 se muestran los datos obtenidos a partir de las series regulares de marzo-99 de modulo y de fase para G_{O2H} y G_{O2P} a distintas frecuencias de encuentro y velocidad 40 nudos.

Tabla 6.8: Datos obtenidos a partir de las series regulares de marzo-99. Velocidad 40 nudos.

h-ola	i/lpp	w-ola	w-enc	mod-hea	fase-hea	mod-pit	fase-pit
1.87	0.51	1.0482	3.3356	0.0258	-209.8	0.10	-328.1
2.57	0.70	0.8946	2.5608	0.0309	-236.5	0.07	-165.3
2.93	0.80	0.8368	2.2947	0.0309	-75.1	0.27	-177.0
3.34	0.91	0.7847	2.0665	0.1580	-74.9	0.59	-180.3
3.78	1.03	0.7375	1.8699	0.3673	-70.3	0.93	-180.3
4.22	1.15	0.6980	1.7124	0.5871	-61.1	1.23	-171.3
4.69	1.28	0.6616	1.5730	0.7806	-48.4	1.44	-159.7
5.21	1.42	0.6281	1.4477	0.9139	-27.6	1.65	-146.6
6.31	1.72	0.5707	1.2490	0.9915	-9.4	1.73	-125.6
7.48	2.04	0.5241	1.0950	0.9155	-15.7	1.54	-125.5
8.80	2.40	0.4832	0.9693	0.8936	-2.3	1.36	-102.8
10.19	2.78	0.4489	0.8685	0.9133	-7.4	1.19	-101.5
11.70	3.19	0.4191	0.7845	0.9390	-12.6	1.04	-103.5
13.31	3.63	0.3929	0.7142	0.9260	-7.2	0.93	-97.8

En la Tabla 6.9 se muestran los datos obtenidos con PRECAL de modulo y de fase para G_{O2H} y G_{O2P} a distintas frecuencias de encuentro y velocidad 40 nudos.

Tabla 6.9: Datos obtenidos con PRECAL. Velocidad 40 nudos.

w-ola	w-enc.	mod-hea	fase-hea	mod-pit	fase-pit
0.393	0.717	1.0160	-11.3	0.9389	-112.2
0.406	0.752	0.9909	-12.2	1.0690	-113.6
0.419	0.788	0.9968	-13.6	1.0780	-111.6
0.434	0.829	0.9999	-14.8	1.1450	-114.8
0.449	0.872	1.0170	-16.6	1.1620	-117.2
0.465	0.919	1.0070	-17.4	1.3070	-119.0
0.483	0.973	1.0000	-19.3	1.3690	-123.2
0.503	1.034	0.9955	-21.7	1.5360	-123.9
0.524	1.100	0.9922	-24.7	1.6570	-127.6
0.546	1.172	0.9861	-27.7	1.7940	-131.1
0.571	1.256	0.9891	-33.0	1.9750	-138.4
0.598	1.349	0.9848	-39.6	2.1390	-146.2
0.628	1.456	0.9679	-50.1	2.3040	-157.9
0.662	1.582	0.8859	-66.5	2.3590	-175.7
0.699	1.724	0.6826	-87.9	2.0680	-198.7
0.738	1.882	0.3895	-107.3	1.3920	-221.3
0.760	1.973	0.2606	-112.1	1.0290	-229.4
0.785	2.079	0.1586	-110.7	0.6982	-234.1
0.810	2.188	0.0980	-100.7	0.4592	-233.5
0.837	2.308	0.0661	-82.0	0.2900	-225.4
0.865	2.436	0.0527	-63.3	0.1948	-208.0
0.895	2.577	0.0440	-50.0	0.1568	-185.9
0.965	2.920	0.0214	-28.4	0.1288	-162.5
1.048	3.354	0.0125	57.8	0.0543	-159.6
1.147	3.909	0.0716	-114.6	0.1835	-217.1

En las Figuras 6.5 y 6.6 se muestran representados gráficamente los datos de las Tablas 6.7, 6.8 y 6.9.

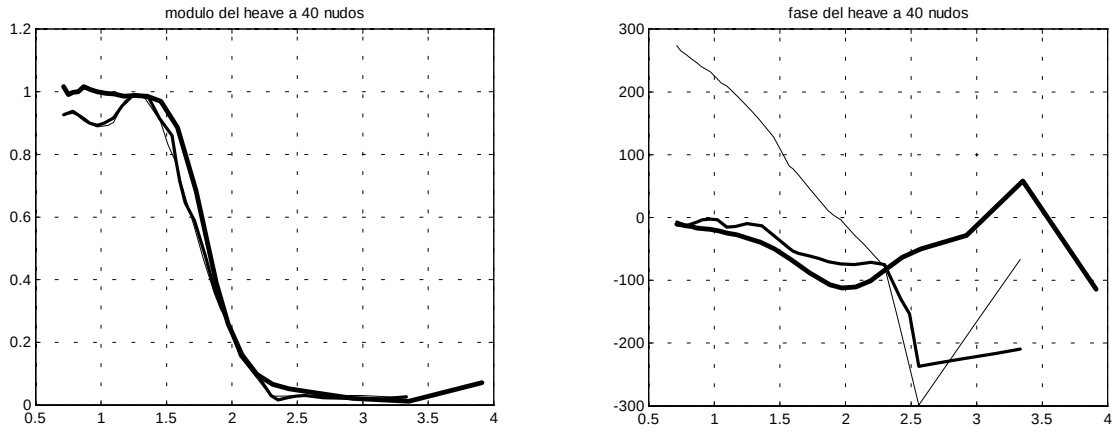


Figura 6.5: Línea fina datos1998 - Línea media datos 1999 - Línea gruesa datos PRECAL.

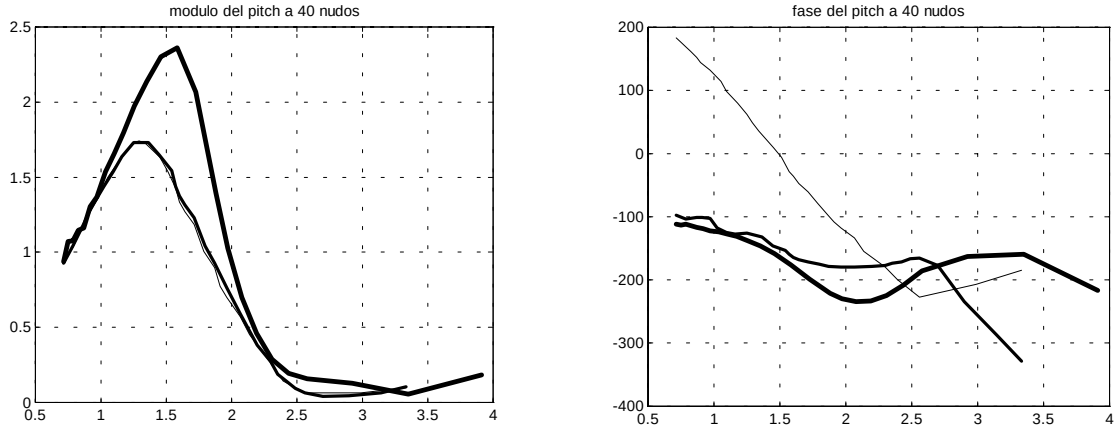


Figura 6.6: Línea fina datos 1998 - Línea media datos 1999 - Línea gruesa datos PRECAL

6.3 DATOS DE PRECAL PARA G_{O2H} Y G_{O2P} TRANSLADADOS A PROA.

Los datos obtenidos con PRECAL están medidos en el centro de gravedad del buque, la identificación de modelos en el centro de gravedad es complicada debido a la aparición de polos inestables. Es preferible identificar modelos referidos a la proa del buque, por eso se transladaron los puntos de PRECAL del centro de gravedad a proa, mediante el método que se explica en el apéndice C.

En la Tabla 6.10 se muestran los datos de PRECAL para G_{O2H} y G_{O2P} transladados a proa a la velocidad de 20 nudos.

Tabla 6.10: Datos PRECAL transladados a proa. Velocidad 20 nudos

w-ola	w-enc	mod-h	fase-h	mod-p	fase-p
0.3930	0.5538	0.9263	-74.18	0.9808	-162.58
0.4060	0.5776	0.9156	-79.055	1.0540	-168.16
0.4190	0.6017	0.9052	-84.066	1.1240	-174.17
0.4340	0.6300	0.8928	-90.009	1.2040	-181.41
0.4490	0.6588	0.8790	-96.233	1.2820	-188.83
0.4650	0.6901	0.8600	-103.01	1.3670	-197.11
0.4830	0.7258	0.8427	-110.87	1.4420	-207.17
0.5030	0.7663	0.8240	-120.4	1.5240	-217.20
0.5240	0.8098	0.7977	-130.77	1.6070	-228.47
0.5460	0.8563	0.7636	-141.93	1.6880	-241.03
0.5710	0.9104	0.7233	-155.35	1.7850	-255.25
0.5980	0.9702	0.6725	-170.34	1.8610	-271.44
0.6280	1.0385	0.6093	-188.02	1.9540	-291.62
0.6620	1.1181	0.5349	-208.05	1.9490	-316.35
0.6980	1.2051	0.4508	-230.83	1.9290	-343.63
0.7380	1.3049	0.3528	-256.82	1.7780	-376.82
0.7600	1.3612	0.2983	-271.26	1.6430	-396.36
0.7850	1.4264	0.2380	-286.89	1.4440	-418.69
0.8100	1.4929	0.1790	-299.52	1.1970	-441.82
0.8370	1.5662	0.1304	-307.89	0.9073	-465.99
0.8650	1.6438	0.1034	-309.85	0.6174	-487.85
0.8950	1.7287	0.0970	-314.27	0.3694	-502.47
0.9650	1.9342	0.0833	-353.9	0.2207	-498.20
1.0480	2.1911	0.0418	-406.66	0.1762	-549.26
1.1470	2.5163	0.0196	-455.21	0.0539	-585.21

En la Tabla 6.11 se muestran los datos de PRECAL para G_{O2H} y G_{O2P} corregidos a proa a la velocidad de 30 nudos.

Tabla 6.11: Datos PRECAL transladados a proa. Velocidad 30 nudos

w-ola	w-enc	mod-h	fase-h	mod-p	fase-p
0.3930	0.6341	0.9540	-72.98	1.0170	-169.08
0.4060	0.6634	0.9520	-77.86	1.0780	-175.46
0.4190	0.6931	0.9508	-82.87	1.1280	-181.77
0.4340	0.7281	0.9421	-89.01	1.2120	-189.91
0.4490	0.7637	0.9551	-95.43	1.1740	-197.53
0.4650	0.8026	0.9271	-102.71	1.3200	-203.41
0.4830	0.8472	0.9220	-111.07	1.3840	-212.47
0.5030	0.8980	0.9059	-121.00	1.4840	-223.90
0.5240	0.9527	0.8881	-131.87	1.6090	-234.47
0.5460	1.0114	0.8704	-143.43	1.6910	-247.13
0.5710	1.0800	0.8433	-158.15	1.8220	-263.55
0.5980	1.1563	0.8155	-174.34	1.9490	-281.54
0.6280	1.2437	0.7707	-194.22	2.0470	-303.22
0.6620	1.3462	0.7133	-219.95	2.0980	-331.35
0.6980	1.4586	0.6222	-250.23	2.0550	-364.03
0.7380	1.5883	0.4673	-287.82	1.7740	-405.02
0.7600	1.6618	0.3658	-308.56	1.5180	-428.26
0.7850	1.7471	0.2536	-329.79	1.1780	-453.69
0.8100	1.8343	0.1630	-345.12	0.8476	-476.42
0.8370	1.9307	0.1010	-351.49	0.5558	-495.89
0.8650	2.0331	0.0729	-349.85	0.3480	-508.15
0.8950	2.1456	0.0628	-352.87	0.2303	-510.87
0.9650	2.4189	0.0407	-384.00	0.1701	-525.90
1.0480	2.7627	0.0193	-402.96	0.0886	-583.16
1.1470	3.2010	0.0170	-458.81	0.0278	-546.61

En la Tabla 6.12 se muestran los datos de PRECAL para G_{O2H} y G_{O2P} corregidos a proa a la velocidad de 40 nudos.

Tabla 6.12: Datos PRECAL transladados a proa. Velocidad 40 nudos

w-ola	w-enc	mod-h	fase-h	mod-p	fase-p
0.3930	0.7145	1.0160	-73.38	0.9389	-174.28
0.4060	0.7491	0.9909	-78.46	1.0690	-179.86
0.4190	0.7845	0.9968	-84.17	1.0780	-182.17
0.4340	0.8261	0.9999	-90.51	1.1450	-190.51
0.4490	0.8687	1.0170	-97.63	1.1620	-198.23
0.4650	0.9151	1.0070	-104.31	1.3070	-205.91
0.4830	0.9686	1.0000	-113.07	1.3690	-216.97
0.5030	1.0297	0.9955	-123.40	1.5360	-225.60
0.5240	1.0956	0.9922	-135.07	1.6570	-237.97
0.5460	1.1666	0.9861	-147.53	1.7940	-250.93
0.5710	1.2497	0.9891	-164.05	1.9750	-269.45
0.5980	1.3424	0.9848	-183.34	2.1390	-289.94
0.6280	1.4490	0.9679	-208.62	2.3040	-316.42
0.6620	1.5743	0.8859	-242.65	2.3590	-351.85
0.6980	1.7122	0.6826	-283.73	2.0680	-394.53
0.7380	1.8717	0.3895	-326.22	1.3920	-440.22
0.7600	1.9624	0.2606	-344.26	1.0290	-461.56
0.7850	2.0678	0.1586	-358.39	0.6982	-481.79
0.8100	2.1758	0.0980	-364.42	0.4592	-497.22
0.8370	2.2953	0.0661	-363.59	0.2900	-506.99
0.8650	2.4225	0.0527	-364.05	0.1948	-508.75
0.8950	2.5624	0.0440	-371.97	0.1568	-507.87
0.9650	2.9035	0.0214	-402.70	0.1288	-536.80
1.0480	3.3343	0.0125	-383.66	0.0543	-601.06
1.1470	3.8856	0.0716	-643.41	0.1835	-385.91

En las Figuras 6.7 y 6.8 se muestra el modulo y la fase, respectivamente, para los datos PRECAL corregidos a proa de G_{O2H} a las velocidades de 20, 30 y 40 nudos.

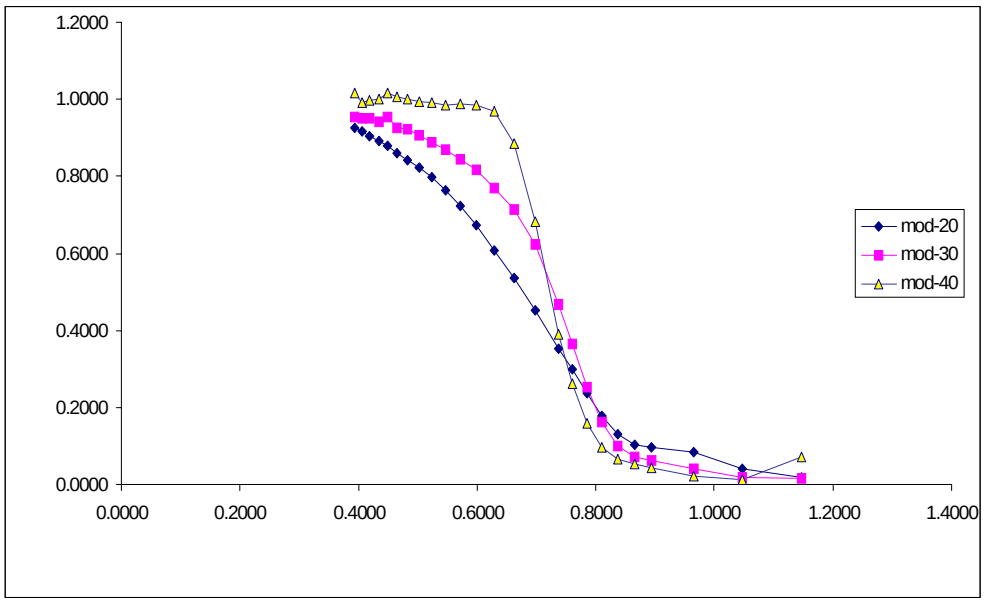


Figura 6.7:Modulos de G_{O2H} a 20, 30 y 40 nudos.

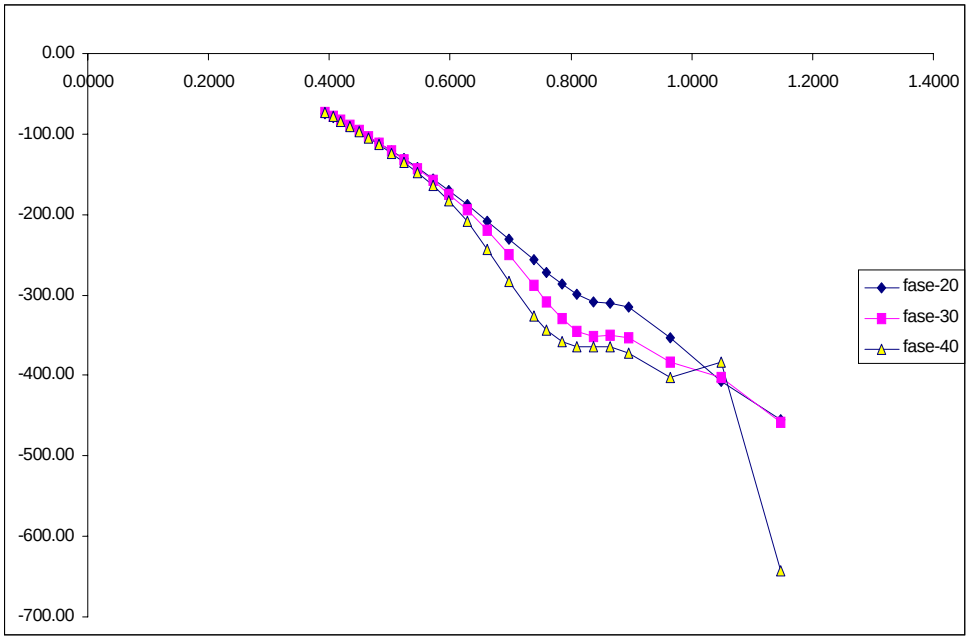


Figura 6.8 :Fases de G_{O2H} a 20, 30 y 40 nudos.

En las Figuras 6.9 y 6.10 se muestra el modulo y la fase, respectivamente, para los datos PRECAL corregidos a proa de G_{O2P} a las velocidades de 20, 30 y 40 nudos.

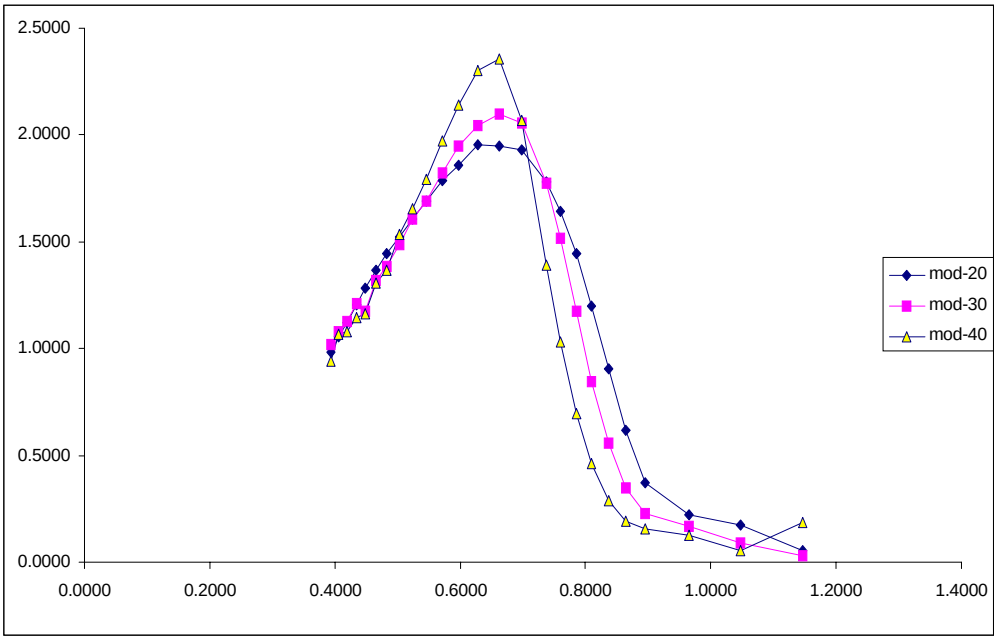


Figura 6.9: Modulos de G_{O2P} a 20, 30 y 40 nudos.

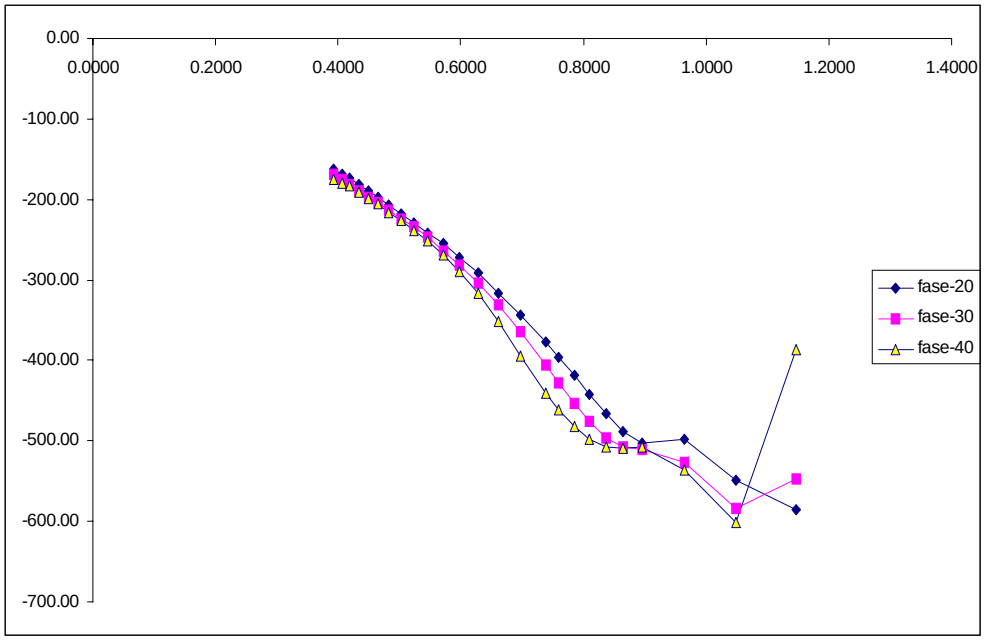


Figura 6.10: Fases de G_{O2P} a 20, 30 y 40 nudos.

6.4 DATOS DE PRECAL PARA G_{O2FH} Y G_{O2MP} TRANSLADADOS A PROA.

PRECAL proporciona las fases del filtro de fuerzas suponiendo que la ola es medida en el CG. Para obtener un modelo lineal es necesario considerar la ola en proa. Dependiendo de la frecuencia de la ola y de la velocidad del barco la ola tarda más o menos tiempo en ir desde la proa al CG. Este tiempo se traduce en un aumento de desfase. En el apéndice C se explica el método utilizado para realizar la corrección a proa.

En la Tabla 6.13 se muestran los datos PRECAL para G_{O2FH} y G_{O2MP} transladados a proa a la velocidad de 20 nudos.

Tabla 6.13: Datos PRECAL para G_{O2FH} y G_{O2MP} transladados a proa. Velocidad 20 nudos

w-ola	w-enc	mod f-h	fase f-h	mod m-p	fase m-p
0.3930	0.5538	8823.0	-60.88	151700.0	-179.18
0.4060	0.5776	8669.0	-64.66	154200.0	-183.26
0.4190	0.6017	8516.0	-68.67	156300.0	-187.37
0.4340	0.6300	8336.0	-73.41	158300.0	-192.01
0.4490	0.6588	8150.0	-78.53	160000.0	-196.73
0.4650	0.6901	7941.0	-84.21	161400.0	-201.71
0.4830	0.7258	7691.0	-90.97	162900.0	-207.27
0.5030	0.7663	7369.0	-98.90	164800.0	-213.50
0.5240	0.8098	7000.0	-107.77	167400.0	-220.37
0.5460	0.8563	6581.0	-117.43	169900.0	-227.93
0.5710	0.9104	6058.0	-128.85	172600.0	-237.55
0.5980	0.9702	5443.0	-141.94	173800.0	-248.74
0.6280	1.0385	4719.0	-157.02	172200.0	-262.12
0.6620	1.1181	3854.0	-174.85	167000.0	-278.15
0.6980	1.2051	2927.0	-194.33	157400.0	-296.33
0.7380	1.3049	1937.0	-216.12	141100.0	-317.62
0.7600	1.3612	1424.0	-227.36	129800.0	-329.76
0.7850	1.4264	891.2	-237.39	115400.0	-343.69
0.8100	1.4929	442.8	-236.32	99610.0	-357.62
0.8370	1.5662	258.8	-180.29	81600.0	-372.19
0.8650	1.6438	509.5	-156.65	62840.0	-385.85
0.8950	1.7287	757.8	-167.77	44310.0	-396.67
0.9650	1.9342	902.7	-211.50	23680.0	-385.10
1.0480	2.1911	576.0	-614.76	27630.0	-406.56
1.1470	2.5163	462.8	-656.31	11090.0	-428.11

En la Tabla 6.14 se muestran los datos PRECAL para G_{O2FH} y G_{O2MP} transladados a proa a la velocidad de 30 nudos.

Tabla 6.14: Datos PRECAL para G_{O2FH} y G_{O2MP} transladados a proa. Velocidad 30 nudos

w-ola	w-enc	mod f-h	fase f-h	mod m-p	fase m-p
0.3930	0.6341	8942.0	-59.38	165000.0	-182.38
0.4060	0.6634	8805.0	-63.36	167300.0	-186.26
0.4190	0.6931	8666.0	-67.37	168600.0	-190.27
0.4340	0.7281	8505.0	-72.51	168100.0	-194.71
0.4490	0.7637	8341.0	-76.93	171500.0	-201.43
0.4650	0.8026	8081.0	-83.91	170700.0	-203.11
0.4830	0.8472	7787.0	-90.77	173800.0	-208.47
0.5030	0.8980	7423.0	-99.00	176500.0	-214.80
0.5240	0.9527	7008.0	-107.87	179400.0	-222.07
0.5460	1.0114	6538.0	-117.53	181400.0	-230.23
0.5710	1.0800	5968.0	-128.95	182200.0	-240.15
0.5980	1.1563	5303.0	-141.84	181200.0	-251.34
0.6280	1.2437	4528.0	-156.62	177900.0	-264.72
0.6620	1.3462	3630.0	-173.95	169900.0	-281.05
0.6980	1.4586	2678.0	-192.23	156900.0	-299.13
0.7380	1.5883	1687.0	-210.62	136700.0	-320.22
0.7600	1.6618	1205.0	-217.86	123200.0	-331.96
0.7850	1.7471	751.0	-218.39	106500.0	-345.29
0.8100	1.8343	487.1	-200.42	88760.0	-357.82
0.8370	1.9307	518.7	-174.19	69670.0	-369.59
0.8650	2.0331	681.1	-171.45	51810.0	-377.65
0.8950	2.1456	791.1	-182.27	38120.0	-378.07
0.9650	2.4189	657.3	-214.50	36550.0	-375.20
1.0480	2.7627	561.0	-575.46	31100.0	-425.96
1.1470	3.2010	809.3	-651.81	10300.0	-358.81

En la Tabla 6.15 se muestran los datos PRECAL para G_{O2FH} y G_{O2MP} transladados a proa a la velocidad de 40 nudos.

Tabla 6.15: Datos PRECAL para G_{O2FH} y G_{O2MP} transladados a proa. Velocidad 40 nudos

w-ola	w-enc	mod f-h	fase f-h	mod m-p	fase m-p
0.3930	0.7145	9059.0	-58.68	177200.0	-184.28
0.4060	0.7491	8941.0	-62.86	174600.0	-188.66
0.4190	0.7845	8786.0	-67.27	175100.0	-192.07
0.4340	0.8261	8581.0	-72.51	176700.0	-195.81
0.4490	0.8687	8445.0	-77.13	181100.0	-202.63
0.4650	0.9151	8111.0	-83.61	182600.0	-205.31
0.4830	0.9686	7758.0	-90.87	184100.0	-209.97
0.5030	1.0297	7361.0	-99.00	186500.0	-216.50
0.5240	1.0956	6919.0	-107.77	188000.0	-223.97
0.5460	1.1666	6414.0	-117.43	189100.0	-232.13
0.5710	1.2497	5801.0	-128.85	189100.0	-242.05
0.5980	1.3424	5095.0	-141.54	186900.0	-253.44
0.6280	1.4490	4285.0	-155.92	181200.0	-267.02
0.6620	1.5743	3347.0	-172.25	170800.0	-283.35
0.6980	1.7122	2387.0	-188.43	154300.0	-301.63
0.7380	1.8717	1452.0	-201.12	129900.0	-322.52
0.7600	1.9624	1052.0	-201.96	114200.0	-333.86
0.7850	2.0678	768.3	-193.49	95160.0	-345.99
0.8100	2.1758	705.0	-180.32	76030.0	-356.32
0.8370	2.2953	776.1	-175.99	57180.0	-363.39
0.8650	2.4225	837.4	-182.85	43050.0	-362.75
0.8950	2.5624	805.7	-196.07	38400.0	-355.07
0.9650	2.9035	383.1	-215.20	49080.0	-371.80
1.0480	3.3343	762.5	-550.86	33890.0	-436.96
1.1470	3.8856	5844.0	-471.91	267800.0	-571.31

En las Figuras 6.11 y 6.12 se muestra el modulo y la fase, respectivamente, para los datos PRECAL corregidos a proa de G_{O2FH} a las velocidades de 20, 30 y 40 nudos.

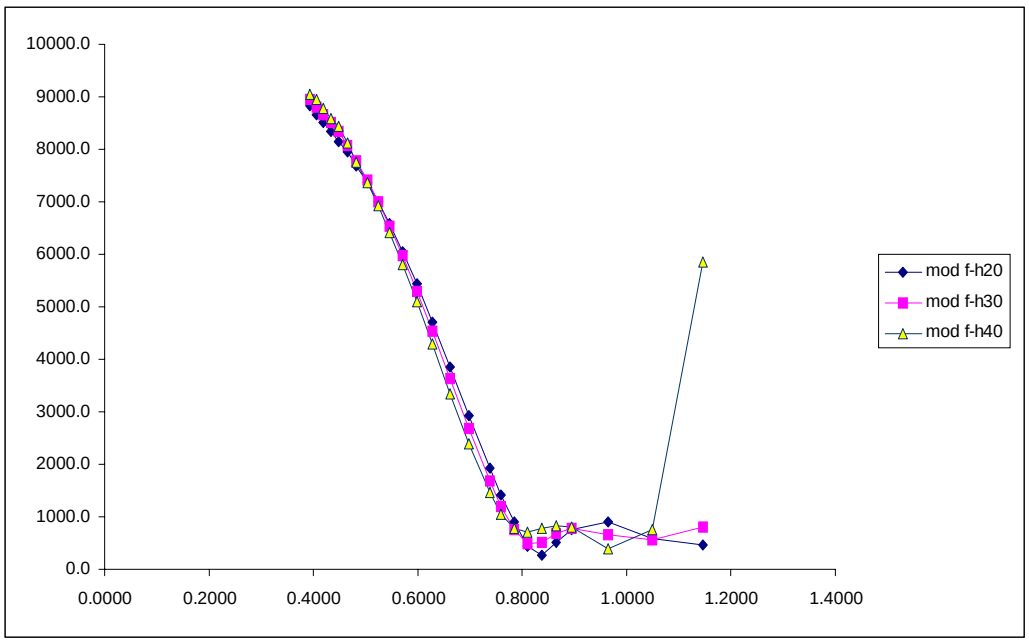


Figura 6.11: Modulos de G_{O2FH} a 20, 30 y 40 nudos.

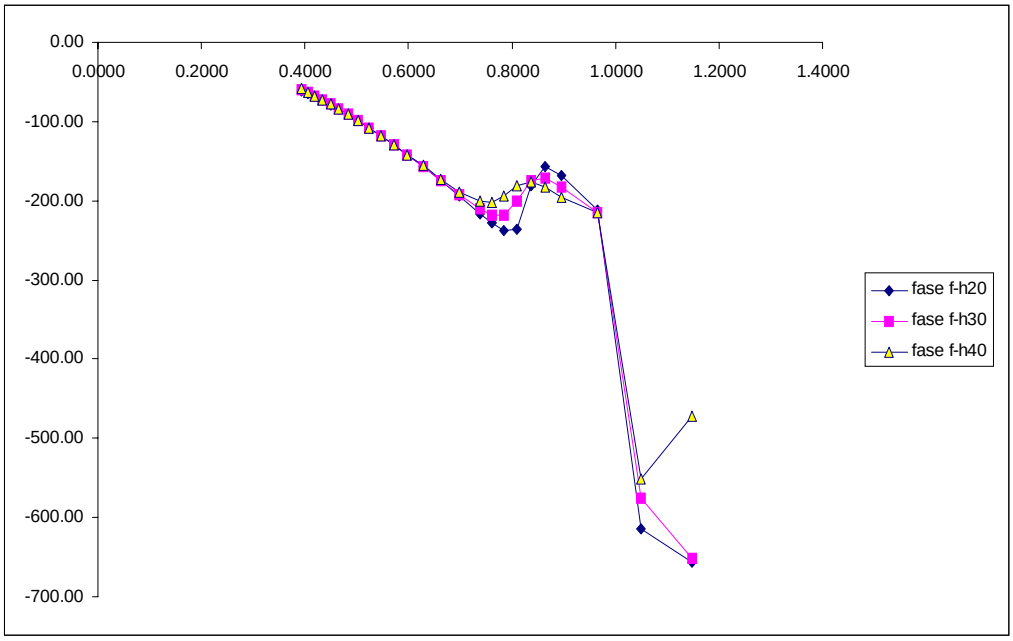


Figura 6.12: Fases de G_{O2FH} a 20, 30 y 40 nudos.

En las Figuras 6.13 y 6.14 se muestra el modulo y la fase, respectivamente, para los datos PRECAL corregidos a proa de G_{O2MP} a las velocidades de 20, 30 y 40 nudos.

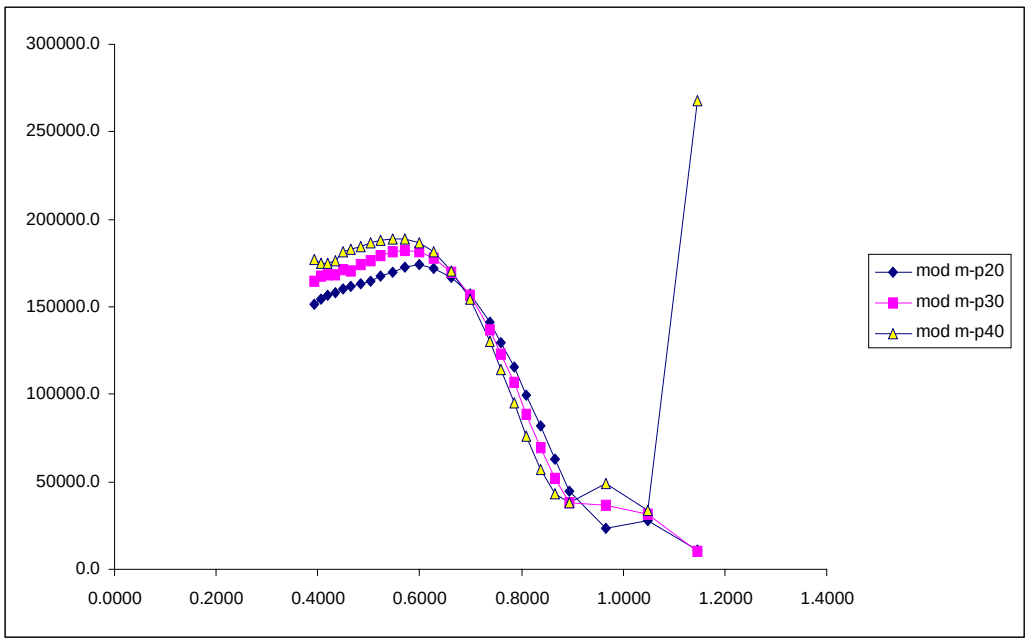


Figura 6.13: Modulos de G_{O2MP} a 20, 30 y 40 nudos.

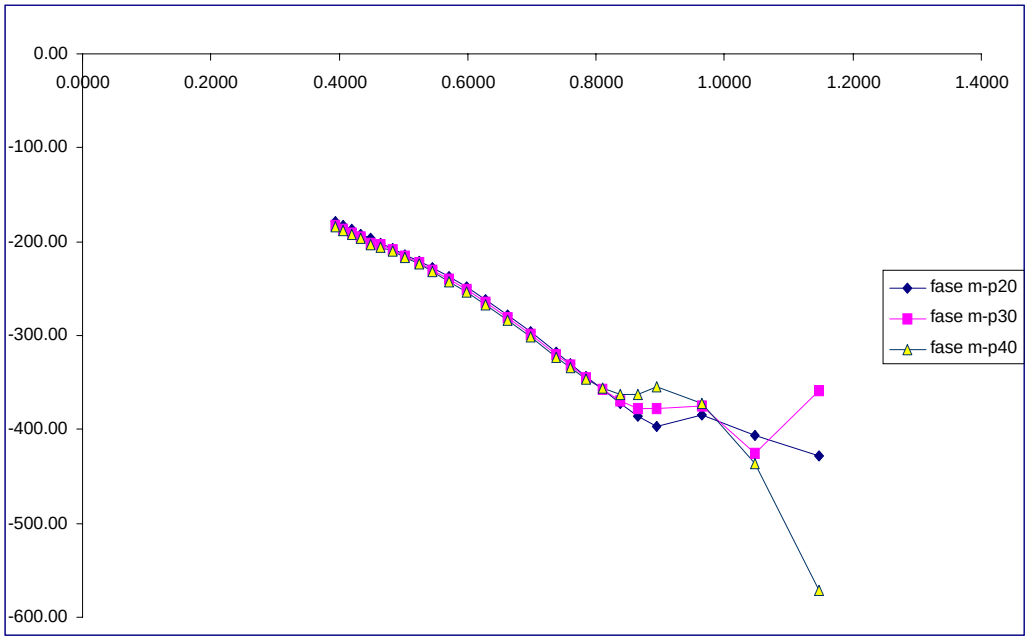


Figura 6.14: Fases de G_{O2MP} a 20, 30 y 40 nudos.

6.5 DATOS OBTENIDOS DE LOS EXPERIMENTOS HECHOS POR CEHIPAR EN MARZO-99 PARA G_{O2FH} Y G_{O2MP}.

Utilizando las series temporales de las aceleraciones verticales medidas en las distintas cuadernas del buque utilizando oleaje regular e irregular se calcularon datos para el modulo y la fase de G_{O2Fh} y G_{O2MP} a distintas velocidades.

En la Tabla 6.16 se muestran el módulos y la fase de G_{O2Fh} y G_{O2MP} a la velocidad de 20 nudos.

Tabla 6.16. Datos del modulo y la fase de G_{O2Fh} y G_{O2MP}. Velocidad 20 nudos.

we	mod.F-H	fase F-H	mod M-P	fase M-P
0.5506	0.0479	-272.0	0.0630	-183.0
0.5742	0.0511	-278.0	0.0790	-187.5
0.5981	0.0531	-282.0	0.1062	-191.3
0.6019	0.0548	-281.0	0.0980	-193.0
0.6547	0.0631	-290.0	0.1248	-204.0
0.6856	0.0692	-299.0	0.1419	-212.8
0.7262	0.0734	-311.0	0.1683	-225.0
0.7612	0.0783	-314.0	0.1996	-230.8
0.8099	0.0851	-322.0	0.2393	-237.0
0.8502	0.0900	-335.0	0.2710	-246.8
0.9099	0.0942	-350.0	0.3436	-268.0
0.9629	0.0992	-364.0	0.4110	-285.5
1.0389	0.1061	-381.0	0.4971	-311.0
1.1173	0.1124	-386.0	0.5811	-329.2
1.2052	0.1194	-404.0	0.6511	-358.0
1.3037	0.1238	-430.0	0.6938	-393.0
1.3494	0.1244	-445.0	0.6950	-412.5
1.4256	0.1222	-461.0	0.6707	-438.0
1.4795	0.1140	-468.0	0.6360	-446.5
1.5658	0.1013	-471.0	0.5402	-459.0
1.6285	0.0916	-480.0	0.4520	-473.4
1.7277	0.0760	-490.0	0.3201	-493.2
1.9152	0.0411	-513.0	0.2340	-493.0
2.1919	0.0245	-539.0	0.1600	-473.0
2.4895	0.0210	-560.0	0.1290	-435.0

En la Figura 6.15 y 6.16 se muestran gráficamente el módulos y la fase de G_{O2Fh} y G_{O2MP} a la velocidad de 20 nudos.

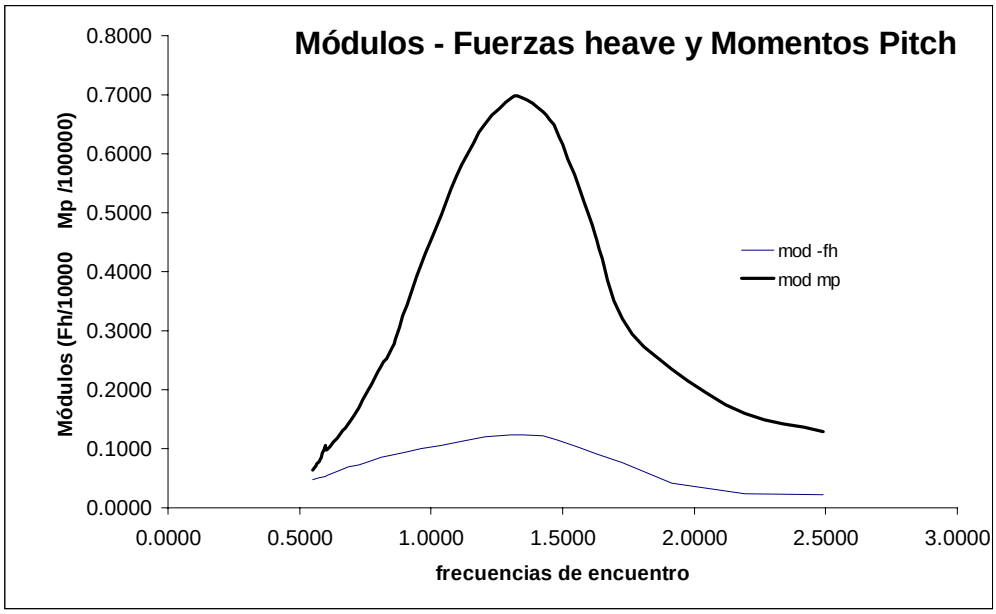


Figura 6.15: Módulo de G_{O2Fh} y G_{O2MP}. Velocidad 20 nudos.

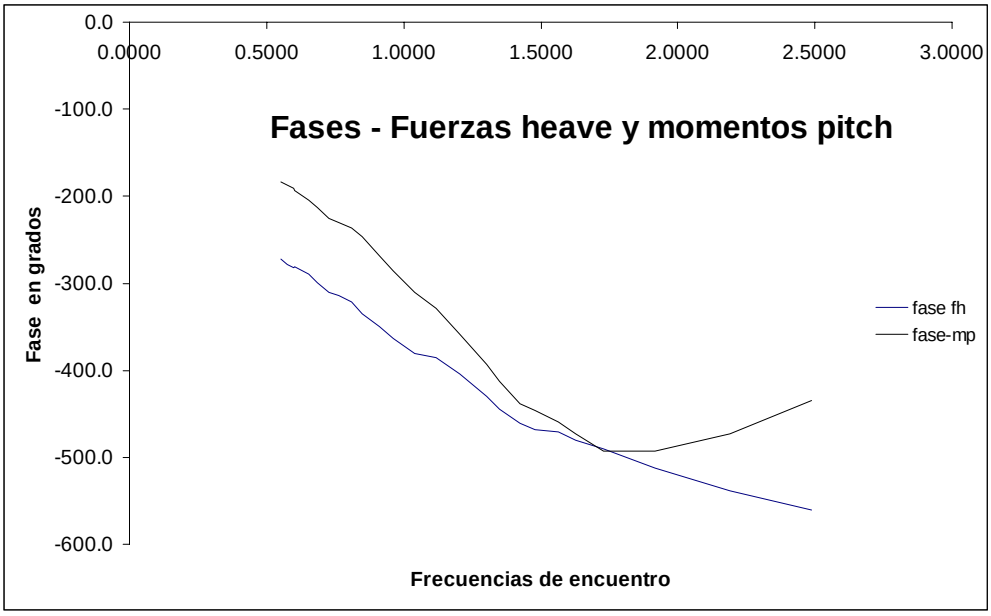


Figura 6.16: Módulo de G_{O2Fh} y G_{O2MP}. Velocidad 20 nudos.

En la Tabla 6.17 se muestran el módulos y la fase de G_{O2Fh} y G_{O2MP} a la velocidad de 30 nudos.

Tabla 6.17. Datos del modulo y la fase de G_{O2Fh} y G_{O2MP}. Velocidad 30 nudos.

we	mod.F-H	fase F-H	mod M-P	fase M-P
0.6339	0.0652	-265.0	0.0955	-186.0
0.6583	0.0687	-277.0	0.1050	-192.0
0.6933	0.0754	-281.0	0.1248	-197.0
0.7223	0.0800	-286.0	0.1380	-204.0
0.7637	0.0878	-295.0	0.1695	-212.0
0.7960	0.0910	-298.0	0.1900	-215.0
0.8477	0.1029	-300.0	0.2384	-219.0
0.8903	0.1080	-310.0	0.2700	-231.0
0.9529	0.1213	-320.0	0.3475	-243.0
1.0023	0.1290	-338.0	0.3980	-250.0
1.0794	0.1528	-359.0	0.5161	-274.0
1.1454	0.1780	-370.0	0.5920	-293.0
1.2443	0.2213	-386.0	0.7051	-335.0
1.3452	0.2532	-397.0	0.7803	-348.0
1.4588	0.2562	-429.0	0.8322	-380.0
1.5868	0.2308	-462.0	0.8133	-413.0
1.6441	0.2000	-478.0	0.7770	-431.0
1.7070	0.1750	-494.0	0.7410	-444.0
1.7350	0.1714	-500.0	0.7168	-452.0
1.8142	0.1430	-520.0	0.6280	-473.0
1.9303	0.0994	-535.0	0.5071	-491.0
2.1443	0.0530	-544.0	0.2596	-534.0
2.3903	0.0280	-553.0	0.1840	-525.0
2.6660	0.0376	-566.0	0.1420	-503.0
2.7637	0.0431	-567.0	0.1358	-464.0

En la Figura 6.17 y 6.18 se muestran gráficamente el módulos y la fase de G_{O2Fh} y G_{O2MP} a la velocidad de 30 nudos.

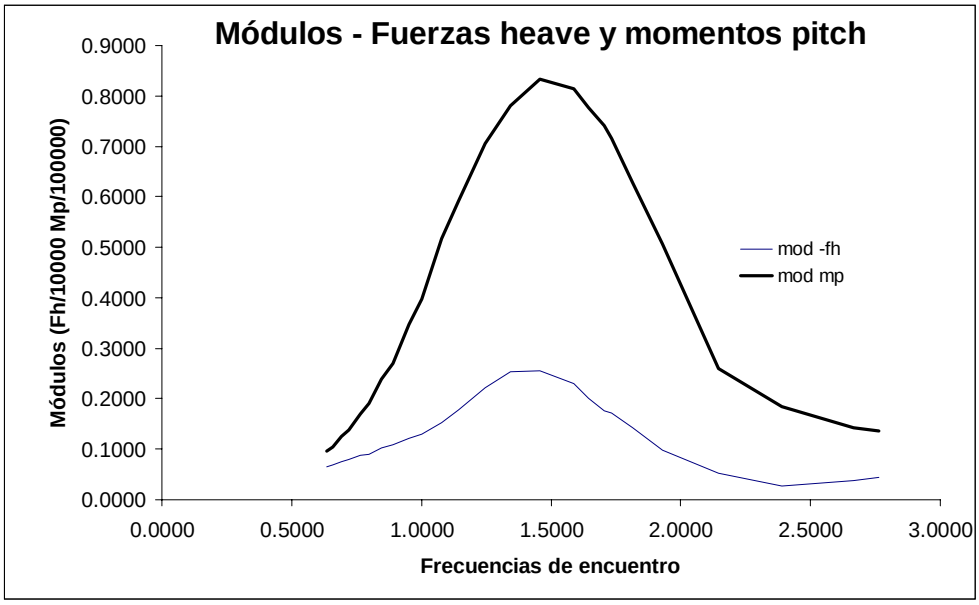


Figura 6.17: Módulo de G_{O2Fh} y G_{O2MP}. Velocidad 30 nudos.

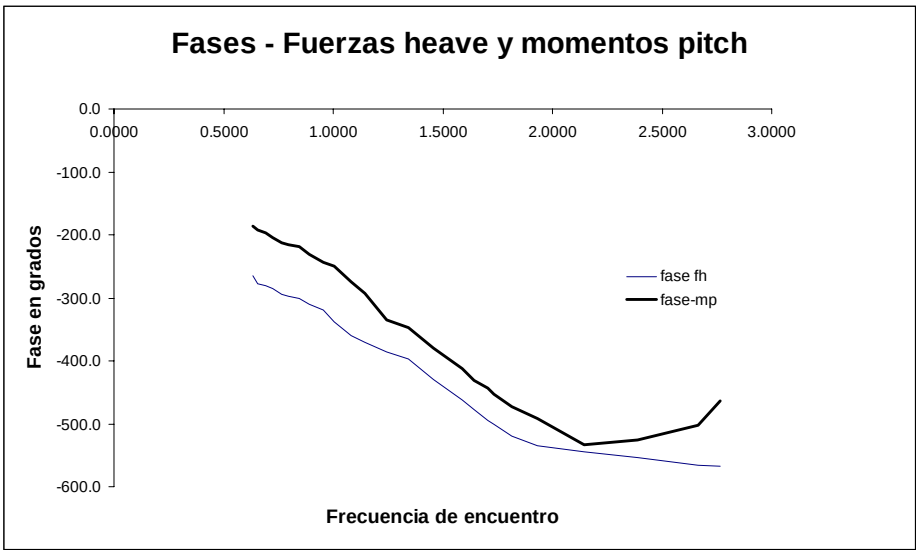


Figura 6.18: Módulo de G_{O2Fh} y G_{O2MP}. Velocidad 30 nudos.

En la Tabla 6.18 se muestran el módulos y la fase de G_{O2Fh} y G_{O2MP} a la velocidad de 40 nudos.

Tabla 6.18. Datos del modulo y la fase de G_{O2Fh} y G_{O2MP}. Velocidad 40 nudos.

we	mod.F-H	fase F-H	mod M-P	fase M-P
0.7142	0.0777	-270.0	0.1157	-190.0
0.7424	0.0840	-273.0	0.1299	-196.0
0.7847	0.0930	-284.0	0.1555	-204.0
0.8184	0.0986	-290.0	0.1761	-212.0
0.8685	0.1115	-296.0	0.2135	-219.0
0.9063	0.1200	-303.0	0.2470	-233.0
0.9693	0.1363	-311.4	0.3031	-239.0
1.0160	0.1786	-336.0	0.4060	-270.0
1.0844	0.2300	-346.0	0.5149	-280.0
1.1544	0.2880	-356.0	0.5754	-298.0
1.2491	0.3187	-369.0	0.6539	-311.0
1.3278	0.3306	-384.0	0.7187	-327.0
1.4497	0.3357	-400.0	0.8182	-344.0
1.5731	0.3211	-445.0	0.8254	-385.0
1.6450	0.2932	-458.0	0.8164	-396.0
1.7124	0.2793	-476.0	0.8032	-413.0
1.8699	0.2090	-511.0	0.7431	-447.0
2.0665	0.1150	-548.0	0.5697	-483.0
2.1490	0.0758	-578.0	0.4600	-506.0
2.2310	0.0374	-590.0	0.3490	-510.0
2.2947	0.0295	-582.0	0.3267	-523.0
2.4640	0.0237	-492.0	0.1540	-551.0
2.5608	0.0237	-470.0	0.1000	-559.0
3.2000	0.0429	-506.0	0.1940	-511.0
3.3356	0.0477	-536.0	0.2667	-469.0

En la Figura 6.19 y 6.20 se muestran gráficamente el módulos y la fase de G_{O2Fh} y G_{O2MP} a la velocidad de 40 nudos.

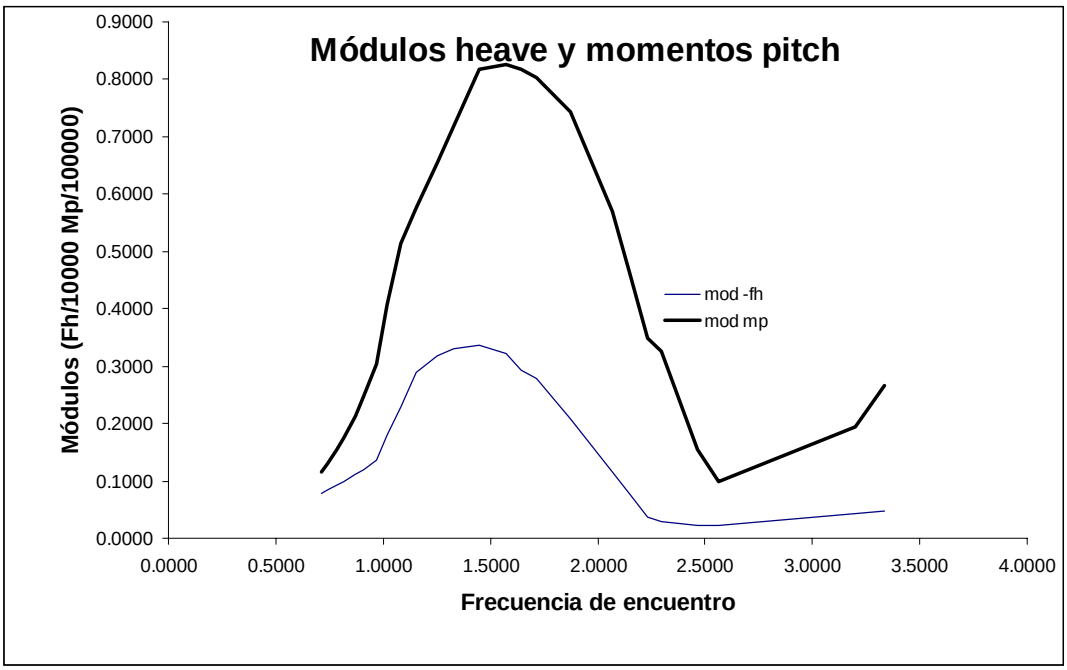


Figura 6.19: Módulo de G_{O2Fh} y G_{O2MP}. Velocidad 40 nudos.

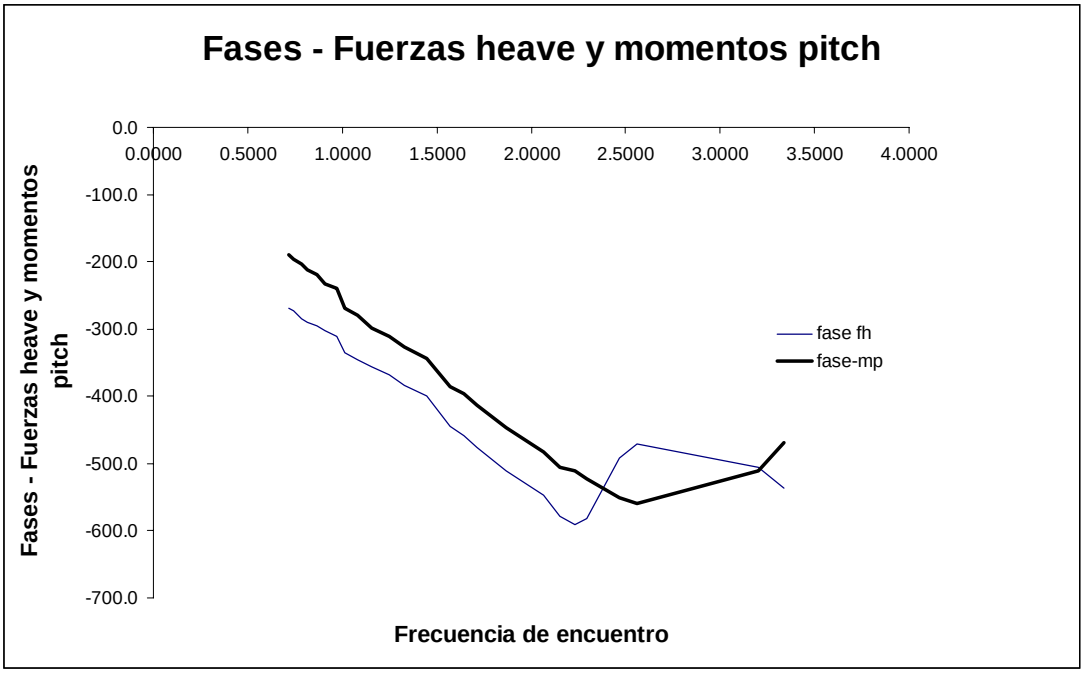


Figura 6.20: Módulo de G_{O2Fh} y G_{O2MP}. Velocidad 40 nudos.

Apéndice A :FRECUENCIA DE ENCUENTRO

Sea un buque moviéndose con una velocidad U, expresada en metros por segundo, sobre la superficie del mar. El frente de las olas se desplaza con una velocidad c. Las olas inciden sobre el buque formando un ángulo μ con la dirección de movimiento del barco, como se muestra en la Figura A.1:

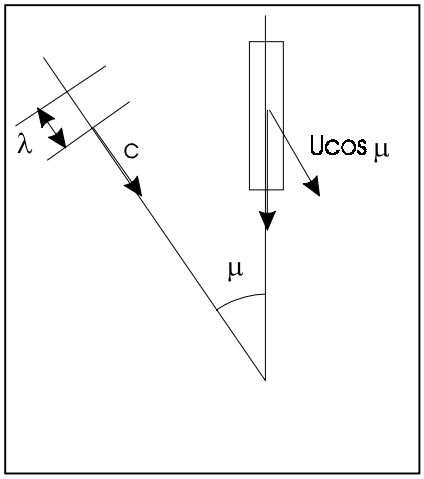


Figura A.1: Olas incidiendo sobre un buque formando un ángulo μ

El tren de olas regulares posee una frecuencia ω, es uno de sus parámetros más importantes. Esta frecuencia ω tiene influencia directa sobre el movimiento del barco. Los movimientos propios de un barco dependen críticamente de la frecuencia a la cual un barco en movimiento se encuentra con estas olas regulares, es la denominada frecuencia de encuentro ω_e .

De la Figura A.1 se puede ver que la componente de la velocidad del barco en la dirección de incidencia de la onda es Ucosμ, y que las olas pasaran el barco con una velocidad relativa de c - Ucosμ.

Puesto que las crestas de las olas se encuentran apartadas entre si una distancia λ, una cresta se encontrará con el barco con un periodo de encuentro T_e .

$$T_e = \frac{\lambda}{c - U\cos\mu}$$

En aguas profundas se obtiene que la frecuencia de encuentro es:

$$\omega_e = \omega - kU\cos\mu = \omega - \frac{\omega^2 U}{g}\cos\mu \quad \text{(A.1)}$$

donde g es la aceleración de la gravedad. Para mar de proa μ=180º la ecuación (A.1) toma la forma :

$$\omega_e = \omega + kU = \omega + \frac{\omega^2 U}{g} \quad \text{(A,2)}$$

Apéndice B :MÉTODO DE AJUSTE A TRES COSENOS.

Los ensayos realizados con oleaje regular generan series temporales medidas que no poseen una única componente en frecuencia pero que si pueden ser ajustadas a una función de la forma :

$$s(t) = A\cos(\omega_{e1}t + \phi_1) + A_2\cos(\omega_{e2}t + \phi_2) + A_3\cos(\omega_{e3}t + \phi_3) \quad \text{(B.1)}$$

Es decir una función constituida por la suma de tres señales coseno cada una con amplitud, fase y frecuencia distinta .Habría que determinar nueve parámetros **P**=(A, ω_{e1}, ϕ, A_2, ω_{e2}, ϕ_2, A_3, ω_{e3}, ϕ_3).
Se comprueba que $\omega_{e2}=2\omega_{e1}$ y $\omega_{e3}=3\omega_{e1}$ son frecuencias múltiplo de la frecuencia fundamental que es ω_{e1}. Por lo que solo habría que determinar 7 parámetros. El problema por tanto consiste en determinar el vector de parámetros **P** que minimiza la función de coste siguiente:

$$F(\vec{P}) = \frac{1}{N}\vec{E}^T \cdot \vec{E} \quad \text{(B.2)}$$

Donde **E** es el vector error, diferencia entre la señal regular medida y la estimada con la forma (B.1)

Es decir se consideraban tres armónicos para el ajuste. Como la señal que presenta el armónico principal es mucho mayor en amplitud que los otros dos, las series temporales medidas se pueden aproximar por :

$$s(t) \approx A\cos(\omega_{e1}t + \phi) \quad \text{(B.3)}$$

La función implementada en MATLAB para llevar a cabo el ajuste es **cal_amp_fase.m** que utiliza a su vez las funciones **ajuste_3cos.m** y **a3cos.m.**
El código de la función **cal_amp_fase.m** es :

```
function  cal_Amp_fase(nombre,k1,A)
load  datsimreg

test=k1;
   k1=num2str(k1)
ins=['u=o' nombre 'd(:,' k1 ');'];
eval(ins)
U=nombre(1,2:3)
ins=['frec=we' U ';'];
eval(ins)
exp=nombre(1,4:5);
i=str2num(exp)
if test==1
     K=abs(max(u))

[x,V,uest3,t]=ajuste_3cos(u/K,A*(i-16),frec(i-16,1));
matriz(i-16,1)=x(1)*K;
matriz(i-16,2)=x(2)*180/pi;
matriz(i-16,3)=V;
figure(1)
plot(t,u,'r:',t,uest3*K,'b-')
legend('u','uest3')

uest1=x(1)*K*cos(frec(i-16,1).*t+x(2));
figure(2)
plot(t,u,'r:',t,uest1,'b-')
legend('u','uest1')

%axis([0,50,-K,K])
matriz
save TEMP matriz -append
else
[x,V,uest,t]=ajuste_3cos(u,A*(i-16),frec(i-16,1));
```

```
matriz(i-16,1)=x(1);
matriz(i-16,2)=x(2)*180/pi;
matriz(i-16,3)=V;
yest1=x(1)*cos(frec(i-16,1).*t+x(2));
figure(1)
plot(t,u,'r',t,uest,'b:')
axis([0,100,-(i-15),(i-15)])

figure(2)
plot(t,u,'r:',t,yest1,'b-')
axis([0,100,-(i-15),(i-15)])

matriz
save TEMP matriz -append
end
```

El código de la funciones **ajuste_3cos.m** y **a3cos.m** es :

```
%ajuste_3cos         Esta función ajusta a una función constituida de tres cosenos de
la forma:
%                 f=A1·cos(we·t+fi1)+A2·cos(2·we·t+fi2)+A3·cos(3·we·t+fi3)
%
%[x,V,uest,t]=ajuste_3cos(u,A,we)
%
%u       serie temporal
%A       valor inicial que se asigna a las amplitudes
%we      frecuencia de encuentro.
%
%x       vector que contiene los parametros del ajuste
%                x=[A1,f1,A2,f2,A3,f3,w]
%V       valor de la fucnión de coste.
%uest    serie temporal generada con los parámetros estimados.
%t       vector de tiempo

function [x,V,uest,t]=ajuste_3cos(u,A,we)

N=length(u);
t=(0:0.25:(N-1)*0.25)';
options=foptions;
options(1)=1;
options(14)=5000;%Número máximo de iteraciones
options(2)=0.0001;%tres cifras decimales exactas
options(3)=0.0001;%tres cifras decimales exactas
x0=[A,unifrnd(pi/20,2*pi,1,1),A/2,unifrnd(pi/20,2*pi,1,1),A/3,unifrnd(pi/20,2*pi,1,1)
,we,2*we,3*we]';
x=curvefit('a3cos',x0,t,u,options);
for k=1:N,
uest(k,1)=x(1)*cos(x(7)*t(k)+x(2))+x(3)*cos(x(8)*t(k)+x(4))+x(5)*cos(x(9)*t(k)+x(6));
end

f=a3cos(x,t);
e=u-f;
V=e'*e
[x(1) x(7) x(2)*180/pi;x(3) x(8) x(4)*180/pi;x(5) x(9) x(6)*180/pi]

function f=a3cos(x,t)
f=x(1)*cos(x(7)*t+x(2))+x(3)*cos(x(8)*t+x(4))+x(5)*cos(x(9)*t+x(6));
```

Apéndice C : CORRECCION DE FASES A PROA.

La altura de olas en el CG se puede aproximar por :

$$s(t,x) = A\cos(\omega_e t - kx_{CG}) \qquad \text{(C.1)}$$

La distancia del CG, ver Figura C.1, a la perpendicular de proa es :

d=68.75 metros.

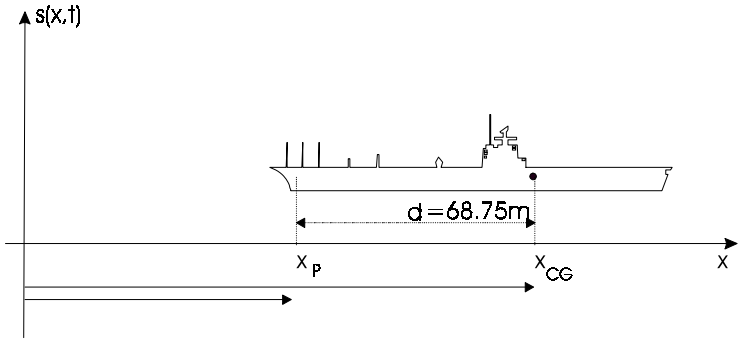


Figura C.1: Esquema de la distancia del centro de gravedad del buque a proa.

Luego se tendrá que :

$$s(t,x_P) = A\cos(\omega_e t - kx_P) = A\cos(\omega_e t - kx_{CG} + kd) \qquad \text{(C.2)}$$

La corrección de fase introducida es de la forma :

$$\begin{aligned} \theta &= k \cdot d \quad (rad) \\ \theta &= k \cdot d \cdot \frac{180^{\circ}}{\pi} \quad (^{\circ}) \end{aligned} \qquad \text{(C.3)}$$

El número de ondas k en aguas profundas es :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega^2}{g} \qquad (4)$$

En la Figura C.2 se muestra la corrección de fase introducida θ, en función de la velocidad angular de la ola.

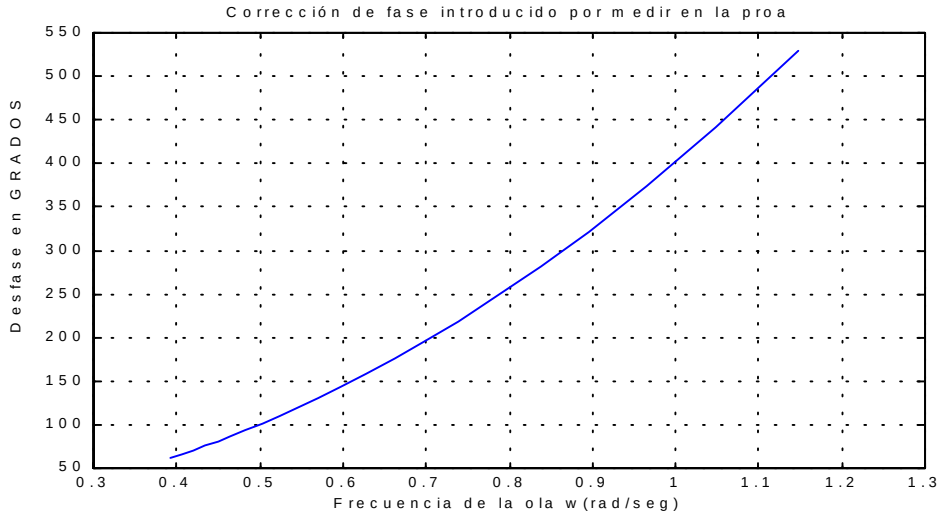


Figura C.2: Corrección de fase introducida θ, en función de la velocidad angular de la ola ω.

La fase en el centro de gravedad es :

$$FASECG=(\phi_h-\phi_{oCG}) \qquad (C.5)$$

La fase que se tiene tras corregir a proa es :

$$FASEP=\phi_h-(\phi_{oCG}+\theta)=FASECG - \theta \qquad (C.6)$$

En la Tabla C.1 aparece el retardo que se introduce en función de la frecuencia absoluta.

Tabla C.1: Retardo -θ en función e la frecuencia absoluta ω

ω(rad/seg)	-θ (º)
0.3930	-62.0804
0.4060	-66.2554
0.4190	-70.5663
0.4340	-75.7092
0.4490	-81.0330
0.4650	-86.9111
0.4830	-93.7699
0.5030	-101.6963
0.5240	-110.3651
0.5460	-119.8270
0.5710	-131.0513
0.5980	-143.7380
0.6280	-158.5216
0.6620	-176.1511
0.6980	-195.8304
0.7380	-218.9183
0.7600	-232.1648
0.7850	-247.6901
0.8100	-263.7177
0.8370	-281.5919
0.8650	-300.7471
0.8950	-321.9699
0.9650	-374.3035
1.0480	-441.4605
1.1470	-528.8057

Se implemento en Matlab la función **corr_proa.m** que dado un vector de fases en el centro de gravedad, devuelve un vector de fases corregido a proa. El código de esta función es :

```
function [TH,fasec]=corr_proa(w,fase,d)

g=9.8;
k=w.^2/g;

TH1=k*d;%(en rad)

TH=TH1*180/pi;
ds=num2str(d);
figure(7),plot(w,TH,'*'),grid
ins=['Corrección de fase introducido por medir a ' ds ' del CG'];
title(ins)
xlabel('Frecuencia de la ola w(rad/seg)')
ylabel ('Desfase en GRADOS')

fasec=fase-TH;
```

Apéndice D :CORRECCION DE LAS SERIES TEMPORALES A PROA.

Esta función en MATLAB se implemento para trasladar las series temporales a proa. Los parámetros de entrada son :

experi	fichero original
expero	fichero nuevo
wo	pulsación de la ola
nudos	velocidad del barco.

El código de la función **v2p.m** es :

```
function []=v2p(experi,expero,wo,Nudos)
%Pasa datos antiguos a proa.
%Ejemplo de parámetros
%experi='Exper4e6.mat'; Fichero original
%expero='Exp4e6.mat';  Fichero final
%wo=1.2576;                Pulsación de la ola
%Nudos=40;

load (experi);
exper=sprintf('%s\\%s',cd,expero);
%las medida está 41.25m por delante de proa
exceso=41.25;
T=0.25;
g=9.8;
Vo=g/wo,
Vb=Nudos*0.5,
Ve=Vb+Vo,
texc=exceso/Ve,
Texc=round(texc/T),
t=t(1:size(t,1)-Texc);
ola=ola(1:size(ola,1)-Texc);
heave=heave(Texc+1:size(heave,1));
pitch=pitch(Texc+1:size(pitch,1));
acvhe=acvhe(Texc+1:size(acvhe,1));
acvpi=acvpi(Texc+1:size(acvpi,1));
Fh=Fh(Texc+1:size(Fh,1));
Fp=Fp(Texc+1:size(Fp,1));
clear experi wo exceso T g Vb Vo Ve texc Texc;
save(exper);
plot(t,ola,'y',t,heave,'c',t,pitch,'g');
zoom;
clear all;
end
```

Apéndice E :COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES PRECAL.

PRECAL [2] separa el modelo en dos partes, una la respuesta libre del sistema y otra la parte excitadora, y propone un modelo con la siguiente estructura:

$$(m_{33}+a_{33})\ddot{x}_3+b_{33}\dot{x}_3+c_{33}x_3+a_{35}\ddot{x}_5+b_{35}\dot{x}_5+c_{35}x_5=(F_3U)_{\gamma 3} \qquad \text{(E.1)}$$

$$(m_{55}+a_{55})\ddot{x}_5+b_{55}\dot{x}_5+c_{55}x_5+a_{53}\ddot{x}_3+b_{53}\dot{x}_3+c_{53}x_3=(F_5U)_{\gamma 5} \qquad \text{(E.2)}$$

Para la parte izquierda de las ecuaciones da los coeficientes de forma explícita, mientras que para la parte derecha da solamente ganancias y fases. Las m_{ij} , masas y momentos de inercia, y las c_{ij} , coeficientes de restauración tiene valores fijos, mientras que el resto son función de la velocidad y de la frecuencia de encuentro.

Tabla E.1: Coeficientes constantes del modelo Precal.

M_{33}	1770.7
M_{55}	1339100
C_{33}	12128
C_{55}	8419000
C_{35}	-22857
C_{53}	-22857

Los valores de los otros coeficientes se representan de forma gráfica, un valor numérico se puede obtener en el fichero **2613ab.txt.** En la Figura E.1 van incluidos los diferentes ajustes que se han hecho. Los diferentes tipos de puntos que se han utilizado significan: o=20Knot,x=30Knot,*=40Knot.

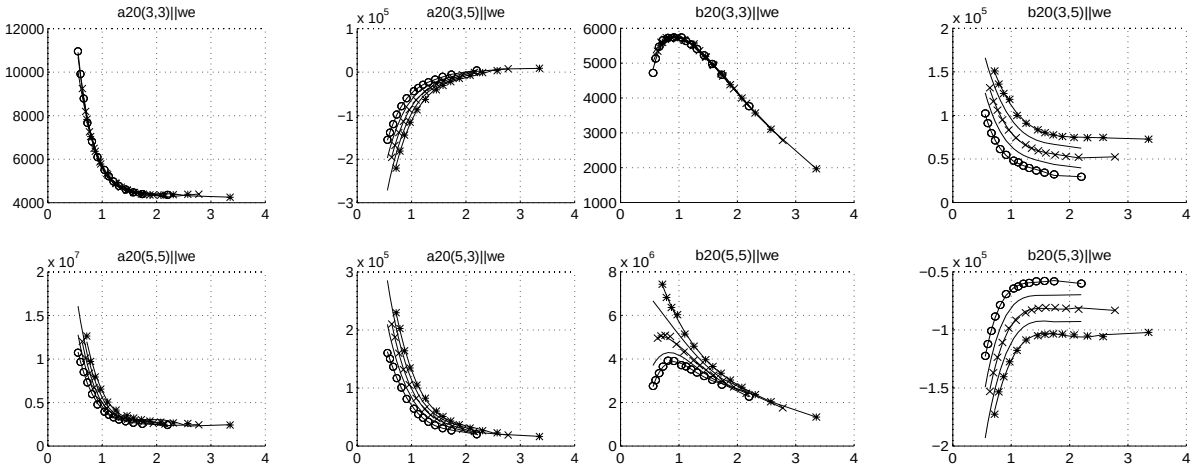


Figura E.1:Coeficientes variables del modelo Precal

BIBLIOGRAFIA

[1] CEHIPAR (1998) Informe OTI-2135-CM-1 de los ensayos de comportamiento en la mar del Ferry TF-120 para investigación sobre control.

[2] CEHIPAR (1998) Informe OTI-2135-CM-2 de los resultados del programa de comportamiento en la mar PRECAL del Ferry TF-120 para investigación sobre control.

[3] B. de Andrés, J.M. De la Cruz, J.M. Girón, S. Esteban, J. A. López, D. Rivera. (1999). Modelo lineal de un buque de alta velocidad obtenido mediante genéticos. Documento CRIBAV

[4] J. Aranda, J.M. De la Cruz, J.M. Diaz., P.Ruipérez (1999) Identificación de modelos lineales para la dinámica vertical del buque TF-120. Documento CRIBAV.

[5] J. Aranda, J.M. De la Cruz, J.M. Diaz., P.Ruipérez (1999) Identificación de modelos lineales continuos con intervalos de confianza para la dinámica vertical del buque TF-120. Documento CRIBAV.

[6] S. Esteban, J.M. Girón, L. Grau, J.M. De la Cruz. (1999).Modelo basado en Precal. Documento CRIBAV.