



**Control
Robusto e Inteligente de Buques de alta Velocidad**

DOCUMENTO N°:
CRIBAV/ 01-01
Fecha: 22/06/99
Código SubProyecto:

**Modelo Lineal
de un
Buque de Alta Velocidad
obtenido mediante
Algoritmos Genéticos**

Autores:

Bonifacio de Andrés y Toro
Jesús Manuel de la Cruz
Jose M^a Girón Sierra
Segundo Esteban San Román
José A. Lòpez Orozco
Daniel Rivera Menéndez
Cristina Fernández
José Luis Lugo

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

DOCUMENTO N°: **CRIBAV/ 01-01**

Fecha: **22/06/99**

Código SubProyecto:

**Modelo Lineal
de un
Buque de Alta Velocidad
obtenido mediante
Algoritmos Genéticos**

Autores:

Bonifacio de Andrés y Toro

Jesús Manuel de la Cruz

Jose M^a Girón Sierra

Segundo Esteban San Román

José A. Lòpez Orozco

Daniel Rivera Menéndez

Cristina Fernández

José Luis Lugo

Grupo: UCM

Responsable del Grupo:

Responsable del Informe: Bonifacio de Andrés y Toro

SubProyecto: Modelo Lineal de un buque de alta velocidad obtenido mediante Algoritmos Genéticos

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

Version: 1.0

Lista y Filiación de Autores:

Bonifacio de Andrés y Toro	deandres@dacya.ucm.es
Jesús Manuel de la Cruz	jmcruz@eucmax.sim.ucm.es
José María Girón Sierra	gironsi@dacya.ucm.es
Segundo Esteban San Román	segundo@dacya.ucm.es
José Antonio López Orozco	jalo@eucmax.sim.ucm.es
Daniel Rivera Menéndez	driveram@teleline.es

Agradecimientos:

Al centro de Cálculo de UCM por el uso de Seymour

A Iñaki y Manuel por enseñarnos a paralelizar los A.G.

A Cehipar que nos ha proporcionado los datos experimentales

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 Sánchez Moreno	jsanchez@dia.uned.es
Francisco Jesús Velasco	velasco@teisa.unican.es

Resumen:

Este documento presenta un estudio del modelo lineal para los movimientos Heave y Pitch y para las fuerzas Heave y los momentos Pitch de un barco de alta velocidad. Para ello se han tomado los datos experimentales a las velocidades de 20, 30 y 40 nudos. Con estos datos se ha realizado la identificación de los parámetros del mismo mediante Algoritmos Genéticos. Para ello se han estudiado distintos modelos haciendo variar el número de ceros y polos de la F.T en un rango bastante amplio.

Con todos los modelos estudiados se presenta una propuesta de los más aceptables, teniendo en cuenta el valor de la función de coste y su correspondencia a las distintas velocidades.

Los modelos se han validado con los datos experimentales dados por el CEHIPAR y PRECAL.

Finalmente se han obtenido unos modelos paralelizando los algoritmos genéticos y ampliando el rango de posibilidades de los ceros y los polos.

Summary:

CONTENIDO

1	HISTORIA DE LOS DATOS DADOS POR EL CEHIPAR	11
1.1	DATOS OLAS – HEAVE - PITCH	12
1.1.1	Datos a 20 nudos	12
1.1.1.1	PRECAL	12
1.1.1.2	Marzo 1999	12
1.1.1.3	Marzo 1998	13
1.1.1.4	Resumen gráfico de los tres apartados anteriores	13
1.1.2	Datos a 30 nudos	14
1.1.2.1	PRECAL	14
1.1.2.2	Marzo 1999	14
1.1.2.3	Marzo 1998	15
1.1.2.4	resumen gráfico de los tres apartados anteriores	15
1.1.3	Datos a 40 nudos	16
1.1.3.1	PRECAL	16
1.1.3.2	Marzo 1999	16
1.1.3.3	Marzo 1998	17
1.1.3.4	Resumen gráfico de los tres apartados anteriores	17
1.1.4	datos originados por precal trasladados a proa	18
1.1.4.1	Para la velocidad de 20 nudos	19
1.1.4.2	Para la velocidad de 30 nudos	20
1.1.4.3	Para la velocidad de 40 nudos	21
1.2	DATOS OLAS – FUERZAS HEAVE –MOMENTOS PITCH	22
1.2.1	Datos de precal para las fuerzas heave y momentos pitch	22
1.2.1.1	Velocidad de 20 nudos	22
1.2.1.2	Velocidad de 30 nudos	24
1.2.1.3	Velocidad de 40 nudos	25
1.2.2	Datos obtenidos de los experimentos hechos por CEHIPAR 1999 para las fuerzas heave y momentos pitch	27
1.2.2.1	Velocidad de 20 nudos	27
1.2.2.2	Velocidad de 30 nudos	28
1.2.2.3	Velocidad de 40 nudos	30
2	PLANTEAMIENTOS GENERALES	33
2.1	MODELO MATEMÁTICO	34
2.2	LA IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO	35
2.2.1	el método de los Algoritmos genéticos	35
2.2.1.1	Ideas generales	35
2.2.1.2	Descripción del cromosoma	35
2.2.1.3	La función de coste J	36
2.2.1.4	Especificaciones del A.G.	36
2.2.1.5	Algoritmo	36
2.3	MÉTODO DE ELABORACIÓN DE RESULTADOS	39
2.3.1	Para obtener los parámetros del heave y Pitch	39
2.3.2	Para obtener los parámetros de la fuerza heave y momento pitch	39
3	. RESULTADOS GENERALES	40
3.1	RESULTADOS PARA EL MODELO OLAS - HEAVE DEL BARCO	41
3.1.1	resultados para la velocidad de 20 nudos	41
3.1.2	resultados para la velocidad de 30 nudos	43
3.1.3	resultados para la velocidad de 40 nudos	45
3.2	RESULTADOS PARA EL MODELO OLAS - PITCH DEL BARCO	47
3.2.1	resultados para la velocidad de 20 nudos	47
3.2.2	resultados para la velocidad de 30 nudos	48

3.2.3	<i>resultados para la velocidad de 40 nudos</i>	50
3.3	RESULTADOS PARA EL MODELO OLAS - FUERZA HEAVE.....	52
3.3.1	<i>A partir de los datos precal</i>	52
3.3.1.1	Resultados para la velocidad de 20 nudos.....	52
3.3.1.2	Resultados para la velocidad de 30 nudos.....	53
3.3.1.3	Resultados para la velocidad de 40 nudos.....	53
3.3.2	<i>A partir de los datos experimentales del año 1998</i>	54
3.3.2.1	Resultados para la velocidad de 20 nudos.....	54
3.3.2.2	Resultados para la velocidad de 30 nudos.....	54
3.3.2.3	Resultados para la velocidad de 40 nudos.....	54
3.4	RESULTADOS PARA EL MODELO OLAS – MOMENTOS PITCH.....	55
3.4.1	<i>A partir de los datos precal</i>	55
3.4.1.1	Resultados para la velocidad de 20 nudos.....	55
3.4.1.2	Resultados para la velocidad de 30 nudos.....	55
3.4.1.3	Resultados para la velocidad de 40 nudos.....	55
3.4.2	<i>A partir de los datos experimentales del año 1998</i>	56
3.4.2.1	Resultados para la velocidad de 20 nudos.....	56
3.4.2.2	Resultados para la velocidad de 30 nudos.....	56
3.4.2.3	Resultados para la velocidad de 40 nudos.....	56
4	. RESUMEN DE LOS RESULTADOS Y PRESENTACIÓN DE LOS MEJORES MODELOS CON SUS CARACTERÍSTICAS.....	58
4.1	LOS MEJORES MODELOS ORDENADOS POR SU J.....	59
4.1.1	<i>Resultados para el modelo olas - heave</i>	59
4.1.1.1	Resultados para la velocidad de 20 nudos.....	59
4.1.1.2	Resultados para la velocidad de 30 nudos.....	59
4.1.1.3	Resultados para la velocidad de 40 nudos.....	60
4.1.2	<i>Resultados para el modelo olas - pitch</i>	60
4.1.2.1	Resultados para la velocidad de 20 nudos.....	60
4.1.2.2	Resultados para la velocidad de 30 nudos.....	61
4.1.2.3	Para 40 nudos.....	61
4.2	LOS MEJORES MODELOS DESPUÉS DE SER TRATADOS CON ALGORITMOS DE MEJORAS CON SEMILLAS.....	62
4.2.1	<i>Los modelos olas - Heave</i>	62
4.2.1.1	Velocidad de 20 nudos.....	62
4.2.1.2	Velocidad de 30 nudos.....	62
4.2.1.3	Velocidad de 40 nudos.....	62
4.2.2	<i>Los modelos olas - pitch</i>	63
4.2.2.1	Velocidad de 20 nudos.....	63
4.2.2.2	Velocidad de 30 nudos.....	63
4.2.2.3	Velocidad de 40 nudos.....	63
4.3	ESTUDIO DE LOS MEJORES MODELOS.....	64
4.3.1	<i>Modelos para el heave del barco</i>	64
4.3.1.1	Velocidad de 20 nudos.....	64
4.3.1.2	Velocidad de 30 nudos.....	68
4.3.1.3	Velocidad de 40 nudos.....	72
4.3.2	<i>Comparación de la posición de polos y ceros del heave a 20, 30 y 40 nudos</i>	76
4.3.2.1	Modelo hxm-04-06.....	76
4.3.2.2	Modelo hxm-14-06.....	76
4.3.2.3	Modelo hxm - 04-14.....	77
4.3.3	<i>Modelos para el pitch del barco</i>	78
4.3.3.1	Velocidad de 20 nudos.....	78
4.3.3.2	Velocidad de 30 nudos.....	80
4.3.3.3	Velocidad de 40 nudos.....	82
4.3.4	<i>Comparación de la posición de polos y ceros del pitch a 20, 30 y 40 nudos</i>	83
4.3.4.1	Modelo pxm-14-06.....	83
4.3.4.2	Modelo pxm-04-06.....	83
4.3.4.3	Modelo pxm-12-06.....	84
5	. VALIDACIÓN.....	86
5.1	VALIDACIÓN DE LOS MODELOS OLAS - HEAVE.....	87

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

5.1.1	Validación del modelo h2m-04-06 (20 nudos)	87
5.1.2	Validación del modelo h3m-04-06 (30 nudos)	90
	Validación del modelo h4m-04-06 (40 nudos)	93
5.2	VALIDACIÓN DE LOS MODELOS OLAS - PITCH	96
5.2.1	Modelo p2m-14-06 (20 nudos) $J = 1084.79$	96
5.2.2	Modelo p3m-14-06 (30 nudos) $J = 1255.06$	98
5.2.3	Modelo p4m-14-06 (40 nudos) $J = 1463.55$	100
6	. ESTUDIO DE LOS MODELOS OLAS - FUERZAS – HEAVE Y OLAS - MOMENTOS - PITCH	
	102	
6.1	OLAS FUERZAS - HEAVE	103
6.1.1	velocidad de 20 nudos	103
6.1.1.1	Modelo f2m-04-04	103
6.1.1.2	Modelo f2m-02-04	106
6.1.2	Velocidad de 30 nudos	107
6.1.2.1	Modelo f3m-04-04	107
	B.- Validación	108
6.1.2.2	Modelo f3m-02-04	110
	A.- Datos del modelo	110
6.1.3	Velocidad de 40 nudos	111
6.1.3.1	Modelo f4m-04-04	111
	A.- Datos del modelo	111
	B.- Validación	112
6.1.3.2	Modelo f4m-02-04	114
	A.- Datos del modelo	114
6.2	OLAS MOMENTOS PITCH	115
6.2.1	velocidad de 20 nudos	115
6.2.1.1	Modelo m2m-12-14	115
	B.- Validación	116
6.2.2	velocidad de 30 nudos	118
6.2.2.1	Modelo m3m-12-14	118
	B.- Validación	119
6.2.3	velocidad de 40 nudos	121
6.2.3.1	Modelo m4m-12-14	121
	B.- Validación	122
7	VALIDACIÓN DE UN ÚNICO MODELO PARA LAS VELOCIDADES DE 20, 30 Y 40 NUDOS	124
7.1	HEAVE MODELO H3M0406	124
7.2	HEAVE MODELO H3M1406	125
7.3	PITCH MODELO P3M1406	126
7.4	PITCH MODELO P3M0406	127
8	REFERENCIAS	128
9	APÉNDICE I	129
	MODELOS OBTENIDOS MEDIANTE LA PARALELIZACIÓN DE LOS ALGORITMOS	
	GENÉTICOS	129
9.1	MODELOS PARA CONSTRUIR LOS FILTROS G1 Y G	131
9.1.1	Modelos para el Filtro "olas fuerzas heave"	131
9.1.2	Modelos para el filtro "Olas heave"	131
9.1.3	Modelos para el filtro "Olas momentos pitch"	131
9.1.4	Modelos para el filtro "Olas pitch"	132
9.2	MODELOS PARA CONSTRUIR LOS FILTROS G DE MODO DIRECTO SIN EVOLUCIÓN DE UN FILTRO INFERIOR	132
9.2.1	Modelos para el filtro "Olas Heave" sin evolución de un filtro inferior	132
9.2.2	Modelos para el filtro "Olas pitch" sin evolución de un filtro inferior	132
9.3	PRESENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN MODELO SENCILLO PARA EL HEAVE	133

CRIBAV
 CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

Modelos Olas Heave $G(s) = wxh1406$	133
9.3.1 Velocidad de 20 nudos	133
9.3.1.1 Ecuaciones del modelo a 20 nudos.....	133
9.3.1.2 Gráficas de resultados	133
9.3.2 Velocidad de 30 nudos	135
9.3.2.1 Ecuaciones del modelo a 30 nudos.....	135
-1.05e+001 - 6.96e-001i 9.98e-001 1.05e+001	135
-1.05e+001 + 6.96e-001i 9.98e-001 1.05e+001.....	135
-3.70e-001 - 1.46e+000i 2.45e-001 1.51e+000.....	135
-7.71e-001 - 7.76e-001i 7.05e-001 1.09e+000	135
-3.70e-001 + 1.46e+000i 2.45e-001 1.51e+000.....	135
-7.71e-001 + 7.76e-001i 7.05e-001 1.09e+000.....	135
9.3.2.2 Gráficas de resultados para el modelo olas MOMENTO w4m1204	135
9.3.3 Velocidad de 40 nudos	137
9.3.3.1 Ecuaciones del modelo a 40 nudos.....	137
9.3.3.2 Gráficas de resultados para el modelo olas MOMENTO w4m1204	137
9.4 PRESENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN MODELO SENCILLO PARA EL PITCH	139
MODELOS $G(s) = wxP1416$	139
9.4.1 Velocidad de 20 nudos	139
9.4.1.1 Ecuaciones del modelo a 20 nudos.....	139
9.4.1.2 Gráficas de resultados para el modelo olas pitch w2p1416.....	139
9.4.2 Velocidad de 30 nudos	141
9.4.2.1 Ecuaciones del modelo a 30 nudos.....	141
9.4.2.2 Gráficas de resultados para el modelo olas pitch w3p1416.....	141
9.4.3 Velocidad de 40 nudos	143
9.4.3.1 Ecuaciones del modelo a 40 nudos.....	143
9.4.3.2 Gráficas de resultados para el modelo olas pitch w4p1416.....	143

INTRODUCCIÓN

Este documento describe el proceso seguido para obtener un modelo lineal de un barco de alta velocidad TF-120. El modelo sólo contempla el movimiento vertical del centro de gravedad 'heave' y el movimiento de cabeceo 'pitch'. Está basado en los datos PRECAL. Estos datos se han trasladado a proa.

Un primer modelo considera como entrada las olas y como salidas el heave y el pitch del barco.

Un segundo modelo considera como entrada las olas y como salidas las fuerzas heave y los momentos pitch del barco.

Los modelos se van a obtener identificando los parámetros con Algoritmos Genéticos (A.G)

Nos hemos propuesto los siguientes **objetivos**.

- 1.- Obtener distintos tipos de modelos para entrada olas y salida el heave y el pitch.
- 2.- De esos modelos seleccionar los más adecuados atendiendo a
 - ◆ El valor de la función de coste
 - ◆ Correspondencia análoga de tipo a distintas velocidades
 - ◆ Correspondencia análoga de tipo para el pitch y el heave
- 3.- Obtener distintos tipos de modelos para entrada olas y salida fuerzas y momentos.
- 4.- De esos modelos seleccionar los más adecuados atendiendo a
 - ◆ El valor de la función de coste
 - ◆ Correspondencia análoga de tipo a distintas velocidades
 - ◆ Correspondencia análoga fuerza – heave
momento – pitch
- 5.- Obtener un modelo en Simulink entradas olas
salidas heave y pitch
con bloque intermedio de fuerzas y momentos
- 6.- Validación de los modelos

Este trabajo es un primer paso para hacer el control de dichos movimientos.

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

CAPÍTULO

PRIMERO

DATOS USADOS

PARA

LA VALIDACION E IDENTIFICACIÓN

HISTORIA DE LOS DATOS DADOS POR EL CEHIPAR

Datos olas – heave - Pitch

Datos a 20 nudos

PRECAL

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

Tabla 1: Datos olas – heave – Pitch. Velocidad de 20 nudos

Marzo 1999

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

Tabla 2: : Datos olas – heave – Pitch. Velocidad de 20 nudos

Marzo 1998

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
			0.9529	0.6240	168.2	1.8220	72.1
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

Tabla 3: : Datos olas – heave – Pitch. Velocidad de 20 nudos.

Resumen gráfico de los tres apartados anteriores

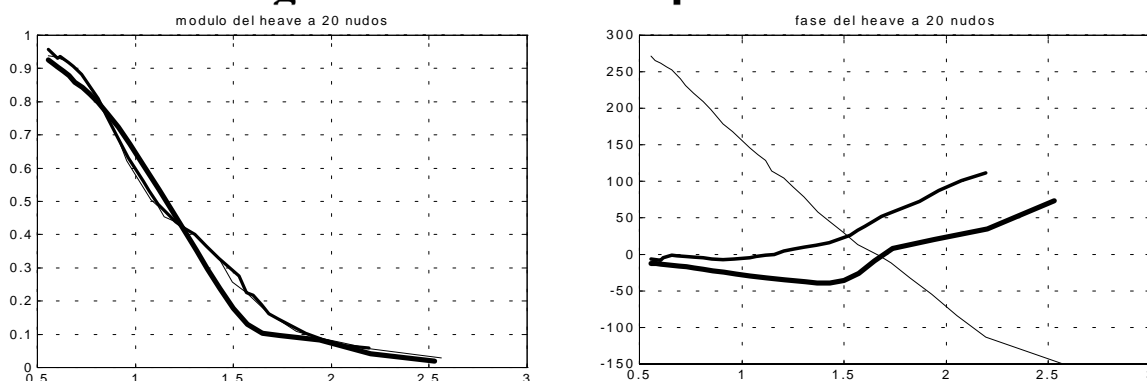


Figura 1: Línea fina datos1998 - Línea media datos 1999 - Línea gruesa datos PRECAL.

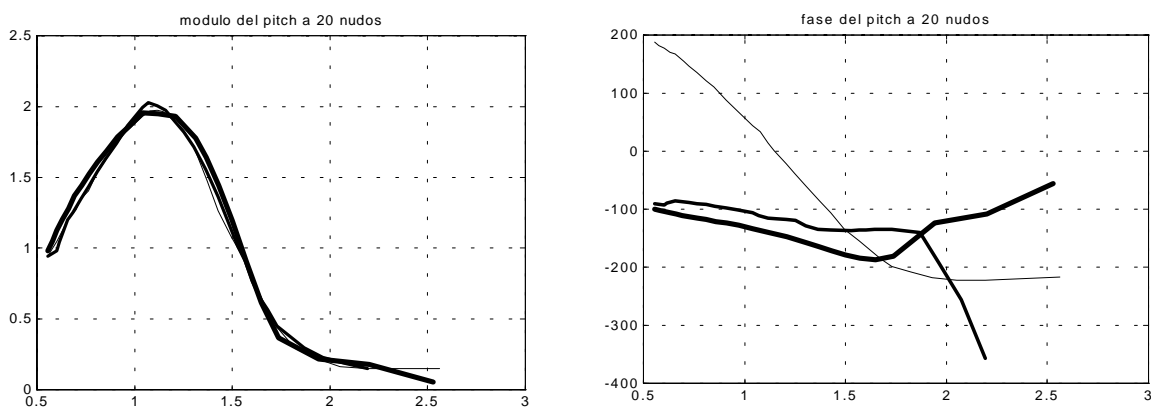


Figura 2: Línea fina datos1998 - Línea media datos 1999 - Línea gruesa datos PRECAL.

Datos a 30 nudos

PRECAL

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

Tabla 4: Datos olas – heave – Pitch. Velocidad de 30 nudos.

Marzo 1999

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

Tabla 5: Datos olas – heave – Pitch. Velocidad de 30 nudos.

Marzo 1998

h-ola	i/lpp	w-ola	w-enc	mod-hea	fase-hea	mod-pit	fase-pit
-------	-------	-------	-------	---------	----------	---------	----------

CRIBAV
 CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

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

Tabla 6: Datos olas – heave – Pitch. Velocidad de 30 nudos.

resumen gráfico de los tres apartados anteriores

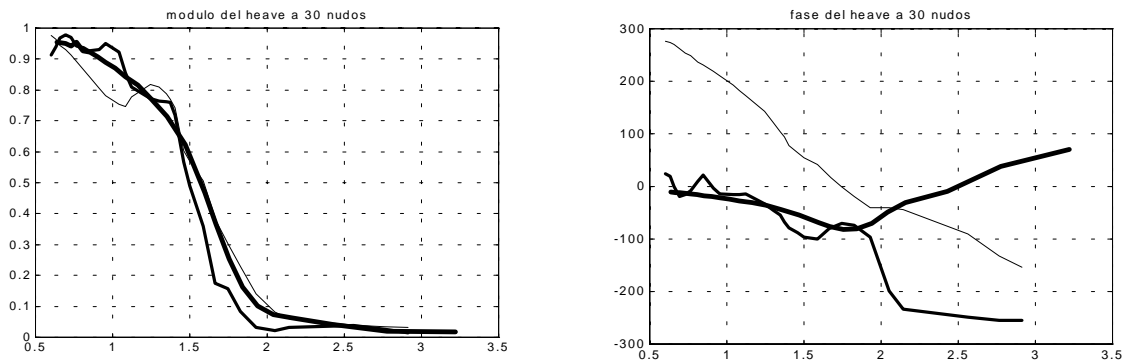


Figura 3 Línea fina datos 1998 - Línea media datos 1999 - Línea gruesa datos PRECAL.

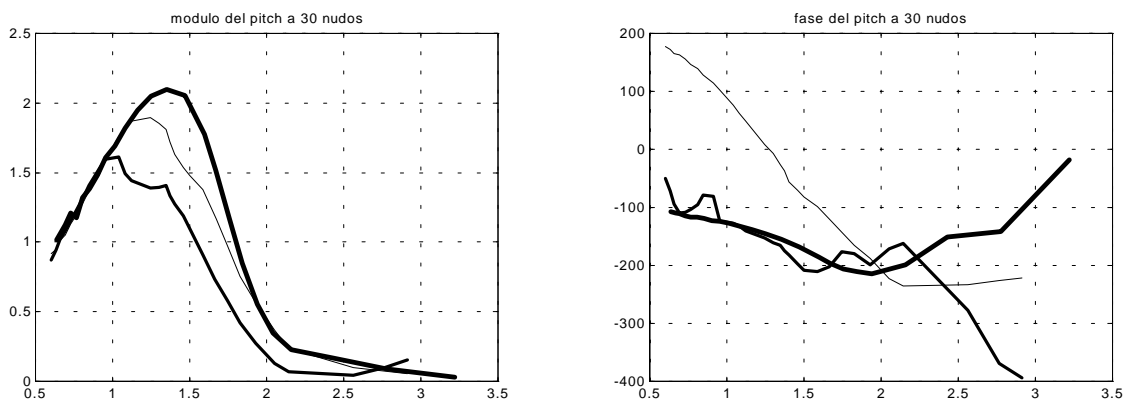


Figura 4: Línea fina datos 1998 - Línea media datos 1999 - Línea gruesa datos PRECAL.

Datos a 40 nudos
PRECAL

w-ola	w-enc.	mod-hea	fase-hea	mod-pit	fase-pit
0.393	0.717	1.0160	-11.3	0.9389	-112.2

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

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

Tabla 7: Datos olas – heave – Pitch. Velocidad de 40 nudos.

Marzo 1999

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

Tabla 8: Datos olas – heave – Pitch. Velocidad de 40 nudos

Marzo 1998

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

Tabla 9: Datos olas – heave – Pitch. Velocidad de 30 nudos.

Resumen gráfico de los tres apartados anteriores

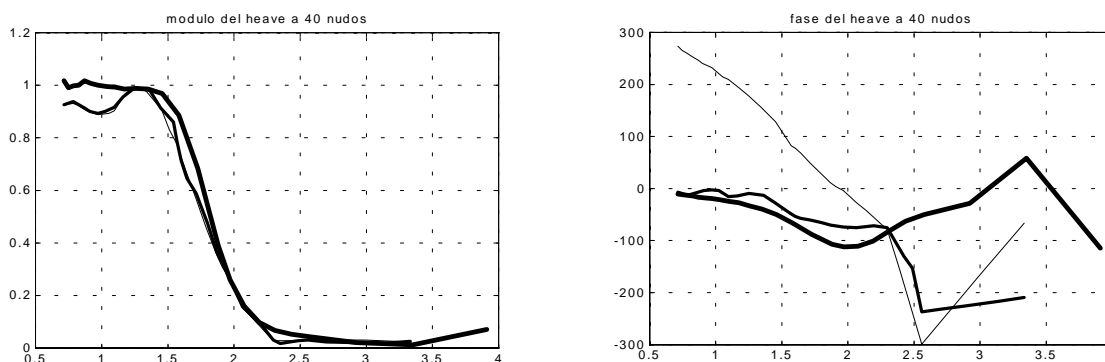


Figura 5: Línea fina datos 1998 - Línea media datos 1999 - Línea gruesa datos PRECAL.

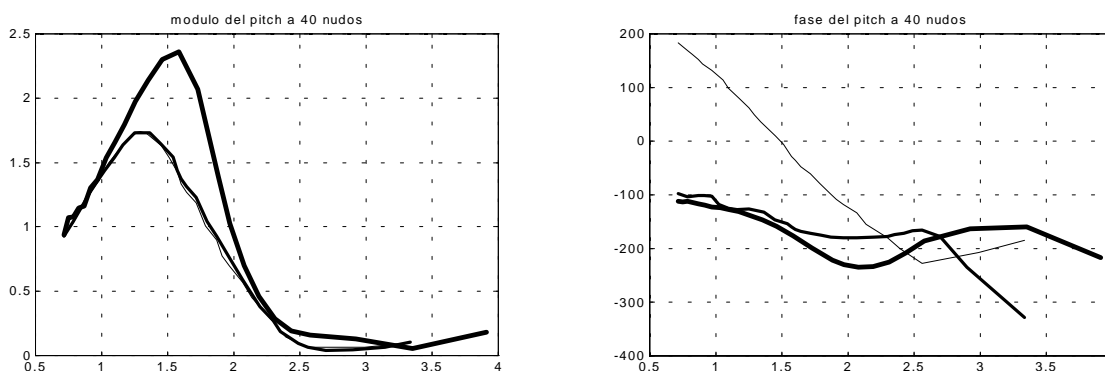


Figura 6: Línea fina datos 1998 - Línea media datos 1999 - Línea gruesa datos PRECAL.

datos originados por precal trasladados a proa.

Posteriormente a la recepción de los anteriores datos se nos ha completado los datos en PRECAL para olas de alta frecuencia.

Los datos se han trasladado a proa y se han hecho las correcciones oportunas a las fases. Ello es debido a que los datos dados por CEHIPAR obtenidos de PRECAL están referidos al centro de gravedad del barco. Los modelos identificados con esos datos (referidos al c.d.g), después de numerosas pruebas, parecen poco adecuados para un control por dar polos muy rápidos y porque la validación sale muy imperfecta.

Para trasladar los datos a proa se ha empleado las siguientes relaciones:

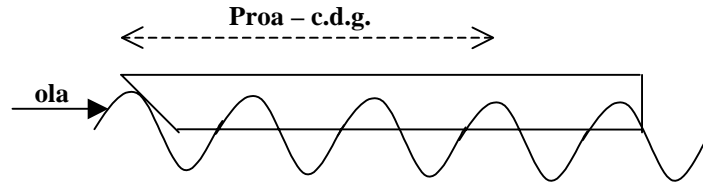


Figura 7: Esquema del barco

$$V_{ola} = \frac{g}{W_{ola}} \quad \lambda_{ola} = \frac{2 \cdot \pi \cdot g}{W_{2ola}} \quad \text{Distancia(proa-cdg)} = 68 \text{ m} \quad (1)$$

$$V_{enc} = V_{lineal} \cdot 0.5114 \cdot \left(1 + \frac{2}{\sqrt{1 + \frac{4 \cdot V_{lineal} \cdot 0.5114}{g} - 1}} \right) \quad (2)$$

$$W_{ola} = \frac{g}{2 \cdot V_{lineal}} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{4 \cdot V_{lineal} \cdot 0.5114}{g} - 1} \right) \quad (3)$$

$$\text{Fase}_{proa} = \text{Fase}_{cdg} - w_{enc} \cdot \frac{\text{Distancia(Proa - cdg)}}{V_{enc}} \quad (4)$$

Las tablas que vienen a continuación llevan el encabezamiento siguiente:

- w_{ola} : frecuencia de la ola
- w_e : frecuencia de encuentro ola – barco
- mod-h : módulo del heave
- fase-h : fase del heave
- real-h : parte real de G(jw) para el heave
- imag-h : parte imaginaria de G(jw) para el heave
- mod-p : módulo del pitch
- fase-p : fase del pitch
- real-p : parte real de G(jw) para el pitch
- imag-p : parte imaginaria de G(jw) para el pitch

para la velocidad de 20 nudos

wola	we	mod-h	fase-h	mod-p	fase-p
0.393	0.555	0.9263	-73.7	0.9808	-162.1
0.406	0.579	0.9156	-78.5	1.0540	-167.6
0.419	0.603	0.9052	-83.4	1.1240	-173.5
0.434	0.632	0.8928	-89.4	1.2040	-180.8
0.449	0.661	0.8790	-95.6	1.2820	-188.2
0.465	0.692	0.8600	-102.3	1.3670	-196.4
0.483	0.728	0.8427	-110.1	1.4420	-206.4
0.503	0.769	0.8276	-119.4	1.5143	-215.8
0.524	0.812	0.7977	-129.8	1.6070	-227.5
0.546	0.859	0.7636	-141.0	1.6880	-240.1
0.571	0.913	0.7233	-154.3	1.7850	-254.2
0.598	0.973	0.6725	-169.1	1.8610	-270.2
0.628	1.042	0.6093	-186.8	1.9540	-290.4
0.662	1.122	0.5349	-206.7	1.9490	-315.0
0.698	1.212	0.4508	-230.0	1.9290	-342.7
0.738	1.310	0.3528	-255.3	1.7780	-375.3
0.760	1.366	0.2983	-269.5	1.6430	-394.6
0.785	1.432	0.2380	-285.1	1.4440	-417.0
0.810	1.499	0.1790	-297.7	1.1970	-440.0
0.837	1.572	0.1300	-305.9	0.9073	-464.0
0.865	1.650	0.1030	-307.7	0.6174	-485.7
0.895	1.736	0.0969	-312.0	0.3694	-500.2
0.965	1.943	0.0833	-351.3	0.2207	-495.6
1.084	2.318	0.0418	-434.3	0.1762	-576.9
1.147	2.528	0.0196	-451.6	0.0539	-581.6
0.839	1.578	0.1276	-306.1	0.8858	-105.6
0.953	1.906	0.0881	-343.0	0.2170	-493.6
1.066	2.259	0.0350	-411.9	0.1499	-558.9
1.179	2.638	0.0150	-478.6	0.0542	-578.8
1.292	3.044	0.0061	-730.3	0.0372	-683.6
1.405	3.477	0.0066	-913.6	0.0288	-962.9
1.518	3.937	0.0966	-980.8	0.4441	-999.2
1.632	4.428	0.0062	-1087.9	0.0317	-1082.7
1.745	4.942	0.0058	-1340.1	0.0168	-1356.6
1.858	5.482	0.0033	-1300.8	0.0155	-1290.8

Tabla 10: Datos PRECAL a 20 nudos y trasladados a proa.

Para la velocidad de 30 nudos

wola	we	mod-h	fase-h	mod-p	fase-p
0.393	0.636	0.9540	-72.5	1.0170	-168.7
0.406	0.666	0.9520	-77.4	1.0780	-175.0
0.419	0.695	0.9508	-82.3	1.1280	-181.2
0.434	0.731	0.9421	-88.5	1.2120	-189.4
0.449	0.766	0.9551	-94.8	1.1740	-196.9
0.465	0.805	0.9271	-102.0	1.3200	-202.7
0.483	0.850	0.9220	-110.3	1.3840	-211.7
0.500	0.894	0.9055	-118.9	1.4840	-220.2
0.524	0.956	0.8881	-131.0	1.6090	-233.6
0.546	1.015	0.8704	-142.5	1.6910	-246.2
0.571	1.084	0.8433	-157.1	1.8220	-262.5
0.598	1.161	0.8155	-173.3	1.9490	-280.5
0.613	1.205	0.7867	-183.9	1.9423	-290.8
0.628	1.249	0.7707	-193.1	2.0470	-302.1
0.662	1.352	0.7133	-218.7	2.0980	-330.1
0.698	1.468	0.6222	-249.4	2.0550	-363.2
0.726	1.556	0.5191	-274.8	1.8850	-391.0
0.738	1.596	0.4673	-286.4	1.7740	-398.1
0.760	1.670	0.3658	-307.1	1.5180	-426.8
0.785	1.755	0.2536	-328.0	1.1780	-452.0
0.810	1.843	0.1630	-343.3	0.8476	-472.6
0.837	1.940	0.1010	-349.6	0.5558	-494.0
0.839	1.947	0.0979	-349.6	0.5386	-495.4
0.865	2.043	0.0729	-347.8	0.3480	-506.1
0.895	2.156	0.0628	-350.7	0.2303	-518.7
0.953	2.383	0.0452	-375.8	0.1776	-517.7
0.965	2.431	0.0407	-381.5	0.1701	-523.4
1.048	2.777	0.0192	-400.0	0.0886	-580.2
1.066	2.855	0.0187	-402.4	0.0688	-592.6
1.147	3.219	0.0170	-455.4	0.0278	-543.3
1.179	3.368	0.0137	-489.9	0.0435	-563.5
1.292	3.921	0.0212	-564.0	1.0256	-627.7
1.405	4.513	0.0234	-853.7	0.0510	-923.8
1.518	5.147	0.0055	-802.4	0.0241	-815.1
1.632	5.826	0.0054	-1056.0	0.0264	-1076.2
1.745	6.540	0.0028	-1328.9	0.0160	-1359.6
1.858	7.294	0.0042	-1288.5	0.0092	-1273.1

Tabla 11: Datos PRECAL a 30 nudos y trasladados a proa.

Para la velocidad de 40 nudos

wola	we	mh	fh	mp	fp
0.3930	0.717	1.0160	-11.3	0.9389	-112.2
0.4060	0.752	0.9909	-12.2	1.0690	-113.6
0.4190	0.788	0.9968	-13.6	1.0780	-111.6
0.4340	0.829	0.9999	-14.8	1.1450	-114.8
0.4490	0.872	1.0170	-16.6	1.1620	-117.2
0.4650	0.919	1.0070	-17.4	1.3070	-119.1
0.4830	0.973	1.0000	-19.3	1.3690	-123.2
0.5000	1.025	0.992	-27.3	1.5070	-124.6
0.5240	1.100	0.9922	-24.7	1.6570	-127.6
0.5460	1.172	0.9861	-27.7	1.7940	-131.1
0.5710	1.256	0.9891	-33.0	1.9750	-138.4
0.5980	1.349	0.9848	-39.6	2.1390	-146.2
0.6130	1.402	0.982	-44.5	2.2290	-151.7
0.6280	1.456	0.9679	-50.1	2.3040	-157.9
0.6620	1.582	0.8859	-66.5	2.3590	-175.7
0.6980	1.721	0.6826	-87.9	2.0680	-198.7
0.7260	1.833	0.474	-102.6	1.6040	-215.4
0.7380	1.882	0.3895	-107.3	1.3920	-221.3
0.7600	1.973	0.2606	-112.1	1.0290	-229.4
0.7850	2.079	0.1586	-110.7	0.6982	-234.1
0.8100	2.188	0.0980	-100.7	0.4592	-233.5
0.8370	2.308	0.0661	-82.0	0.2900	-225.4
0.8650	2.436	0.0527	-63.3	0.1948	-208.1
0.8390	2.317	0.0647	-80.6	0.2810	-224.5
0.8950	2.577	0.0440	-50.0	0.1568	-185.9
0.9530	2.860	0.0252	-32.4	0.1380	-163.8
0.9650	2.920	0.0214	-28.4	0.1288	-162.5
1.0480	3.354	0.0125	57.8	0.0543	-159.6
1.0660	3.452	0.0144	67.1	0.0360	-156.5
1.1470	3.909	0.0716	-114.6	0.1835	-217.1
1.1790	4.098	0.1119	77.05	0.0970	-56.19
1.2920	4.797	0.0343	4.91	0.0493	-85.15
1.4050	5.550	0.007	-152.82	0.0264	-159.42
1.5180	6.356	0.0051	101.55	0.0195	103.41
1.6320	7.224	0.0042	-14.58	0.0183	-5.33
1.7450	8.138	0.0037	-86.81	0.0172	-159.57
1.8580	9.106	0.0021	67.44	0.0092	83.68

Tabla 12: : Datos PRECAL a 40 nudos y trasladados a proa.

Datos olas – fuerzas heave –momentos pitch.

Datos de precal para las fuerzas heave y momentos pitch.

Los datos proporcionados por PRECAL para la relación olas – fuerza-heave y olas momentos-pitch han sido tratados como se indican a continuación.

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, según se refleja en las tablas siguientes .

Velocidad de 20 nudos

w-ola	módulo fuerza	fase fuerza	módulo momento	fase momento
0.5506	0.8820	-62.6	1.520	55.7
0.5742	0.8670	-67.1	1.540	51.5
0.5981	0.8520	-71.7	1.560	47.0
0.6262	0.8340	-77.2	1.580	41.4
0.6547	0.8150	-82.6	1.600	35.6
0.6856	0.7940	-88.7	1.610	28.8
0.721	0.7690	-95.5	1.630	20.8
0.7612	0.7370	-103.4	1.650	11.2
0.8042	0.7000	-111.8	1.670	0.8
0.8502	0.6580	-120.9	1.700	-10.4
0.9037	0.6060	-131.8	1.730	-23.1
0.9629	0.5440	-144.0	1.740	-37.2
1.0304	0.4720	-158.3	1.720	-53.2
1.1092	0.3850	-175.5	1.670	-72.2
1.1951	0.2930	-195.2	1.570	-93.2
1.2938	0.1940	-219.3	1.410	-117.8
1.3494	0.1420	-234.4	1.300	-132.0
1.4138	0.0891	-255.3	1.150	-149.0
1.4795	0.0443	-288.2	0.996	-166.9
1.5519	0.0259	-379.8	0.816	-187.9
1.6285	0.0510	-441.6	0.628	-212.4
1.7124	0.0758	-472.7	0.443	-243.8
1.9152	0.0903	-533.0	0.237	-381.0
2.1687	0.0576	-623.3	0.276	-471.5
2.4895	0.0463	-755.5	0.111	-623.7

Tabla 13: Relación olas-fuerza heave y olas- momentos - pitch para 20 nudos.

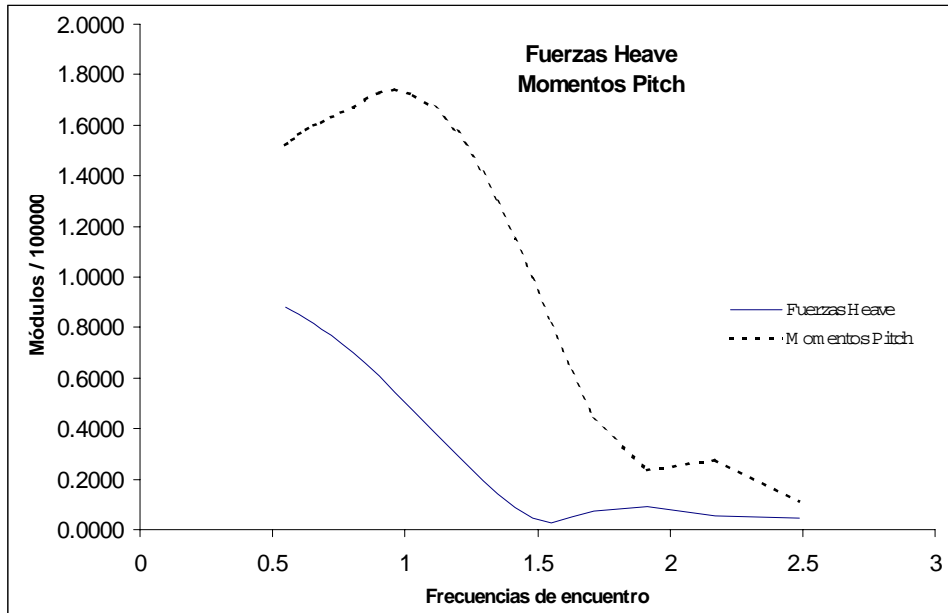


Figura 8: Módulos a 20 nudos.

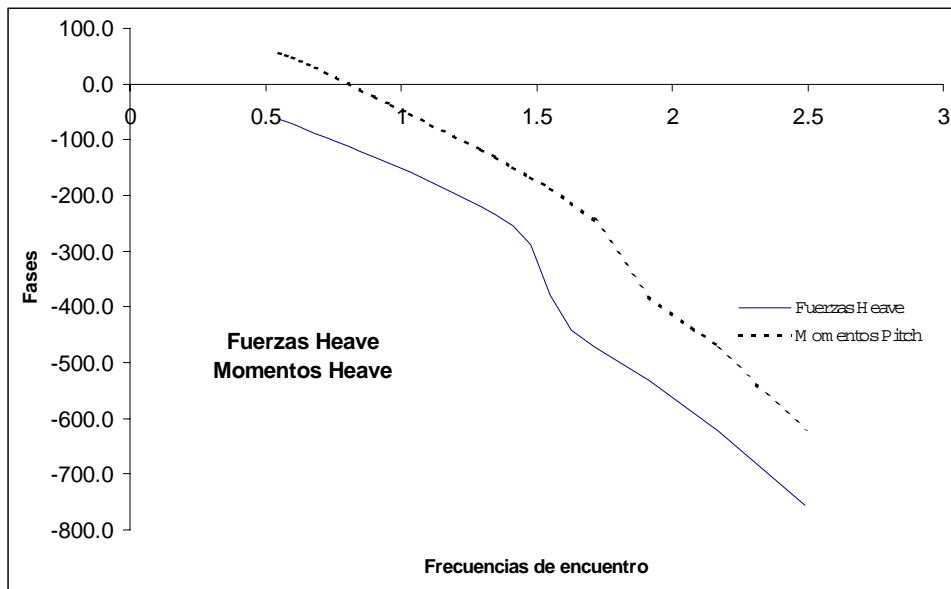


Figura 9: Fases a 20 nudos

Velocidad de 30 nudos

w-ola	módulo fuerza	fase fuerza	módulo momento	fase momento
0.6294	0.8940	-64.1	1.6500	58.9
0.6583	0.8810	-68.4	1.6700	54.5

CRIBAV
 CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

0.6877	0.8670	-73.0	1.6900	49.9
0.7223	0.8510	-78.1	1.6800	44.1
0.7576	0.8340	-84.2	1.7200	40.3
0.7960	0.8080	-89.0	1.7100	30.2
0.8401	0.7790	-95.7	1.7400	22.0
0.8903	0.7420	-103.3	1.7700	12.4
0.9443	0.7010	-111.7	1.7900	2.5
1.0023	0.6540	-120.8	1.8100	-8.1
1.0700	0.5970	-131.7	1.8200	-20.5
1.1454	0.5300	-144.1	1.8100	-34.6
1.2316	0.4530	-158.7	1.7800	-50.6
1.3328	0.3630	-176.4	1.7000	-69.3
1.4437	0.2680	-197.3	1.5700	-90.4
1.5716	0.1690	-224.8	1.3700	-115.2
1.6441	0.1210	-243.9	1.2300	-129.8
1.7282	0.0751	-274.3	1.0700	-147.4
1.8142	0.0487	-324.1	0.8880	-166.7
1.9093	0.0519	-385.9	0.6970	-190.5
2.0102	0.0681	-426.8	0.5180	-220.6
2.1211	0.0791	-458.2	0.3810	-262.4
2.3903	0.0657	-530.0	0.3660	-369.3
2.7291	0.0561	-662.6	0.3110	-452.1
3.1607	0.0809	-750.0	0.1030	-693.0

Tabla 14: Relación olas-fuerza heave y olas- momentos - pitch para 30 nudos

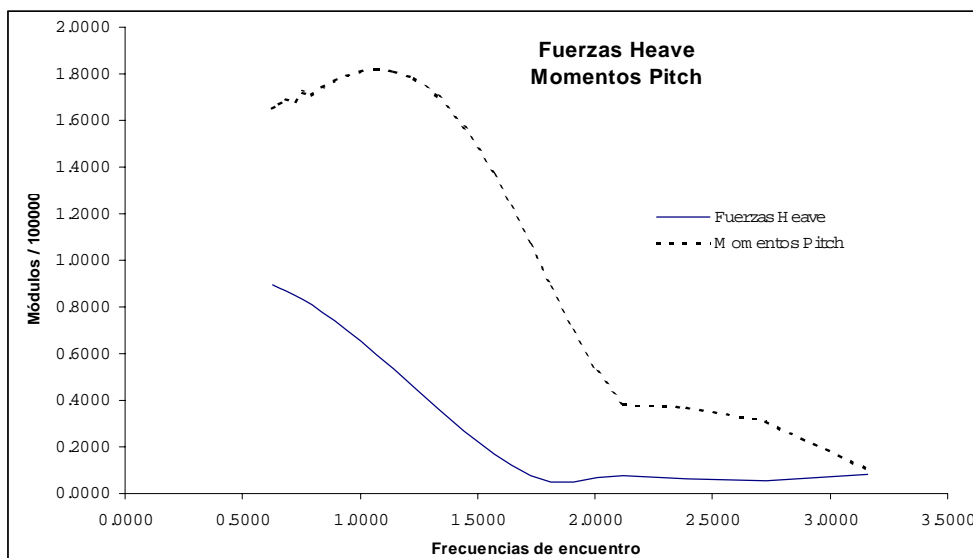


Figura 10 Módulos a 30 nudos

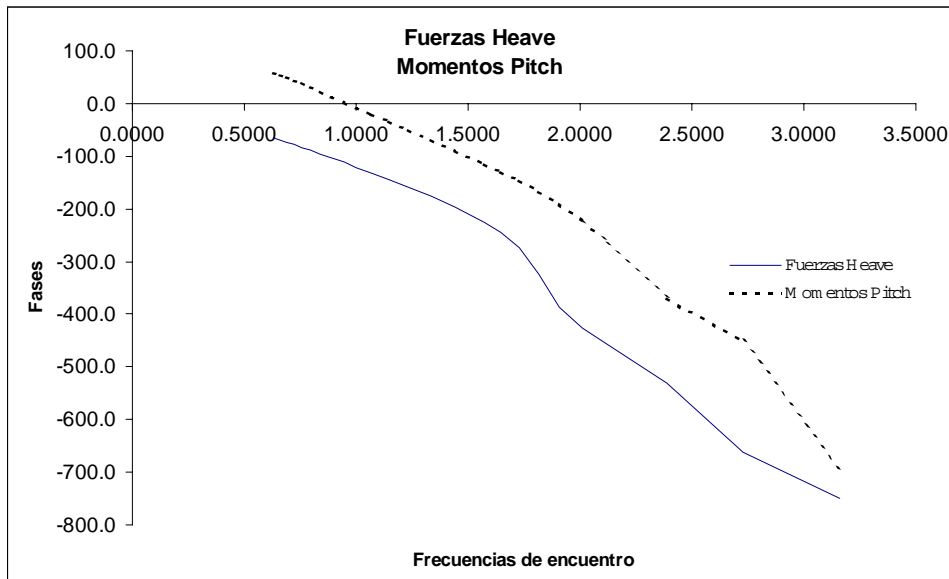


Figura 11: Fases a 30 nudos

Velocidad de 40 nudos

w-ola	módulo fuerza	fase fuerza	módulo momento	fase momento
0.7082	0.9060	-64.8	1.7700	-119.2
0.7424	0.8940	-68.9	1.7500	-123.1
0.7773	0.8790	-73.1	1.7500	-128.3
0.8184	0.8580	-78.1	1.7700	-134.8
0.8604	0.8450	-84.0	1.8100	-138.5
0.9063	0.8110	-89.3	1.8300	-147.6
0.9591	0.7760	-95.6	1.8400	-156.5
1.0193	0.7360	-103.3	1.8700	-165.8
1.0844	0.6920	-111.8	1.8800	-175.6
1.1544	0.6410	-120.9	1.8900	-186.2
1.2364	0.5800	-131.8	1.8900	-198.6
1.3278	0.5100	-144.4	1.8700	-212.5
1.4329	0.4290	-159.4	1.8100	-228.3
1.5564	0.3350	-178.1	1.7100	-247.0
1.6923	0.2390	-201.1	1.5400	-267.9
1.8495	0.1450	-234.3	1.3000	-292.9
1.9388	0.1050	-259.8	1.1400	-307.9
2.0426	0.0768	-299.2	0.9520	-326.7
2.149	0.0705	-344.2	0.7600	-348.2
2.2667	0.0776	-384.1	0.5720	-376.7
2.392	0.0837	-415.4	0.4310	-415.5
2.5297	0.0806	-444.4	0.3840	-465.4
2.8655	0.0383	-529.3	0.4910	-552.7
3.2894	0.0763	-687.2	0.3390	-621.1
3.8319	0.5840	-826.1	0.2680	-745.5

Tabla 15: Relación olas-fuerza heave y olas- momentos - pitch para 40 nudos

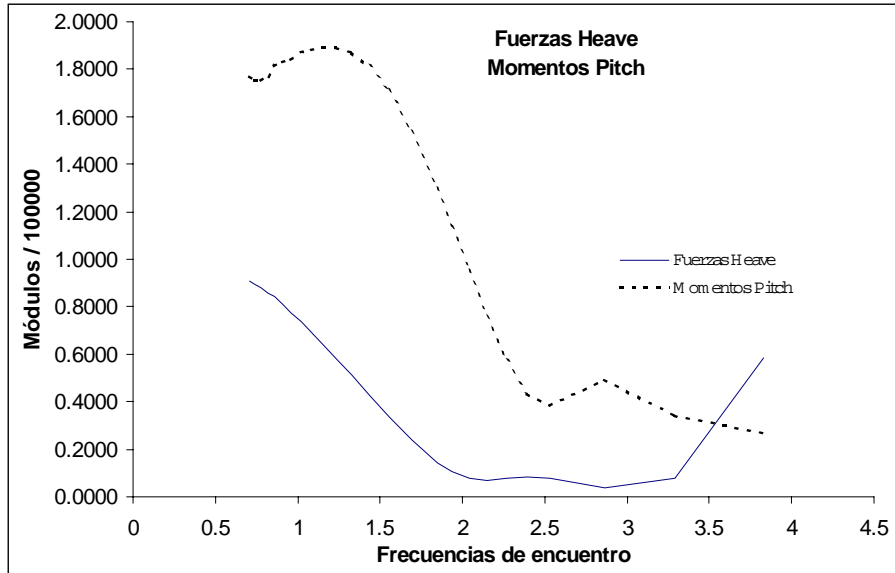


Figura 12: Módulos a 40 nudos

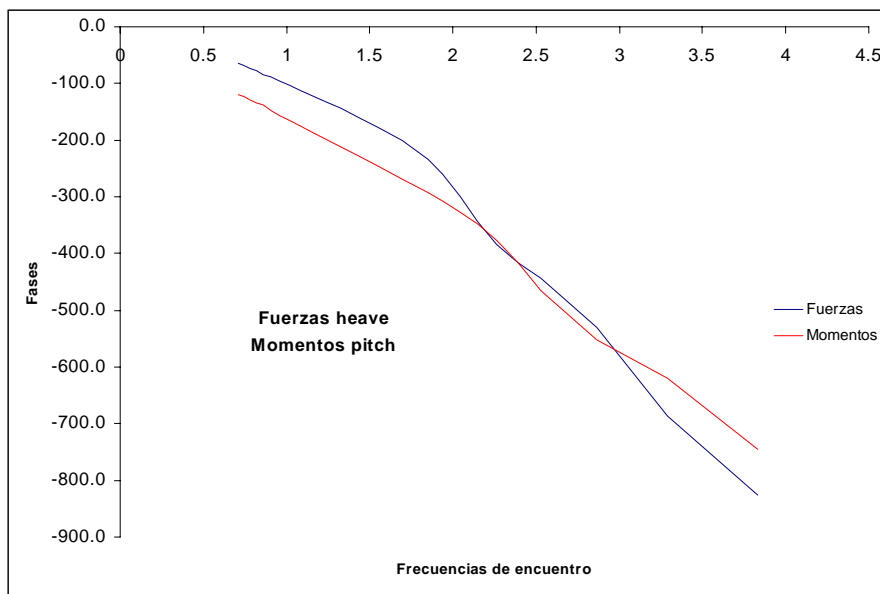


Figura 13: Fases a 40 nudos

**Datos obtenidos de los experimentos hechos por CEHIPAR 1999 para las
 fuerzas heave y momentos pitch
 Velocidad de 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

Tabla 16: Olas – Fuerzas Heave – Momentos - Pitch. Velocidad de 20 nudos

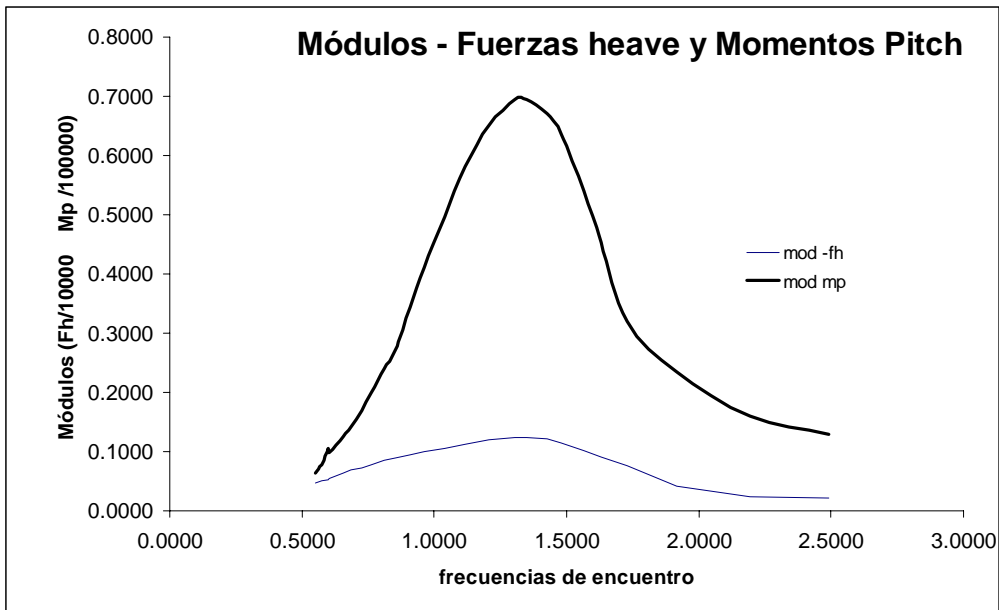


Figura 14 Módulos a velocidad de 20 nudos

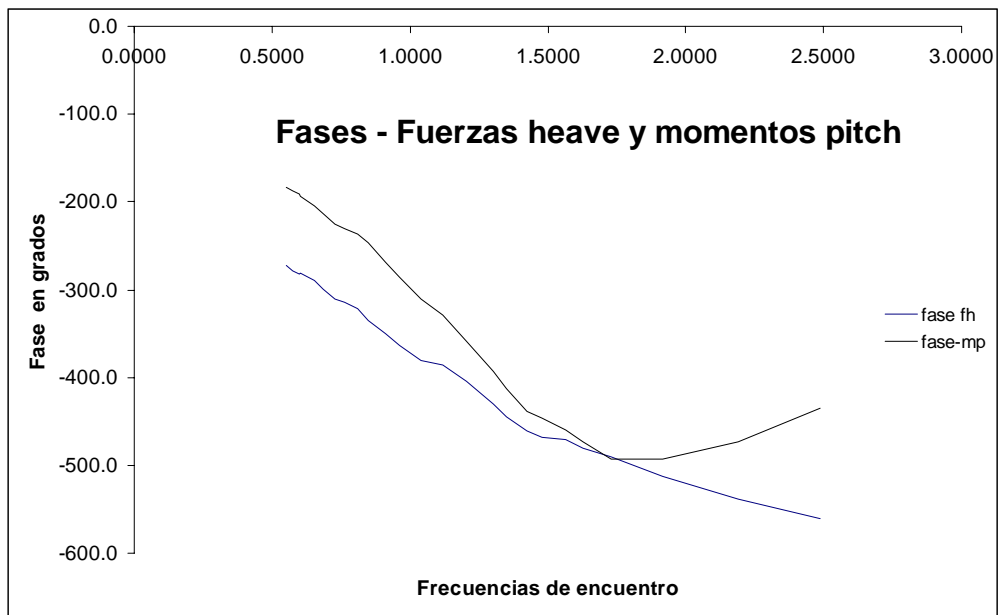


Figura 15 Fases a velocidad de 20 nudos

Velocidad de 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

CRIBAV
 CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

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

Tabla 17: Olas – Fuerzas Heave – Momentos - Pitch. Velocidad de 30 nudos

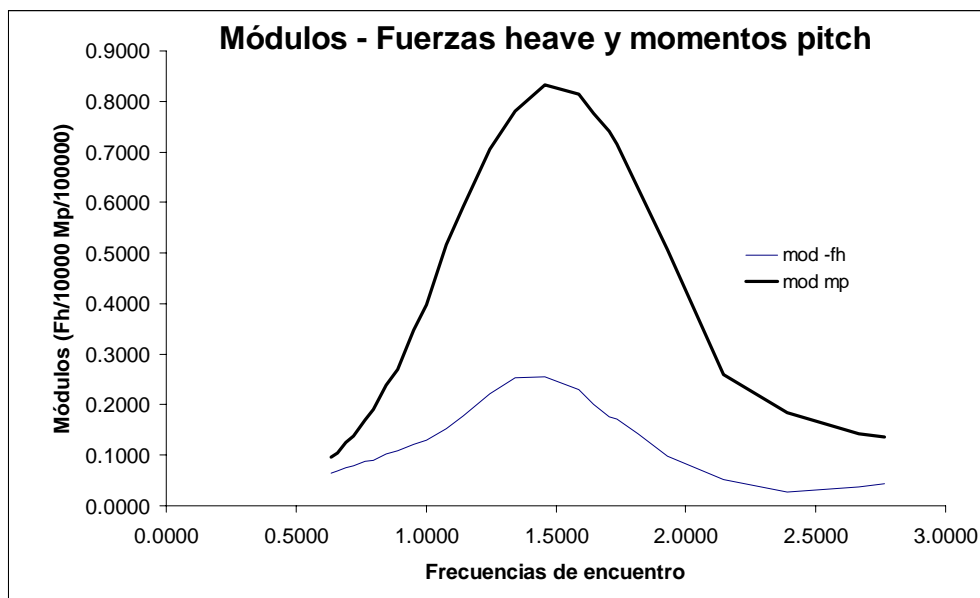


Figura 16 Fuerzas a velocidad de 30 nudos.

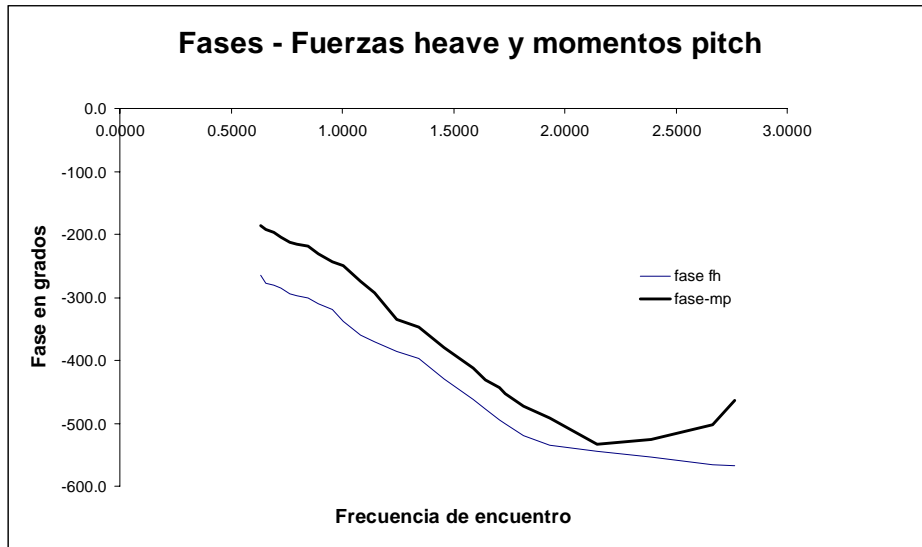


Figura 17 Fases a velocidad de 30 nudos

Velocidad de 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

Tabla 18: Olas – Fuerzas Heave – Momentos - Pitch. Velocidad de 40 nudos

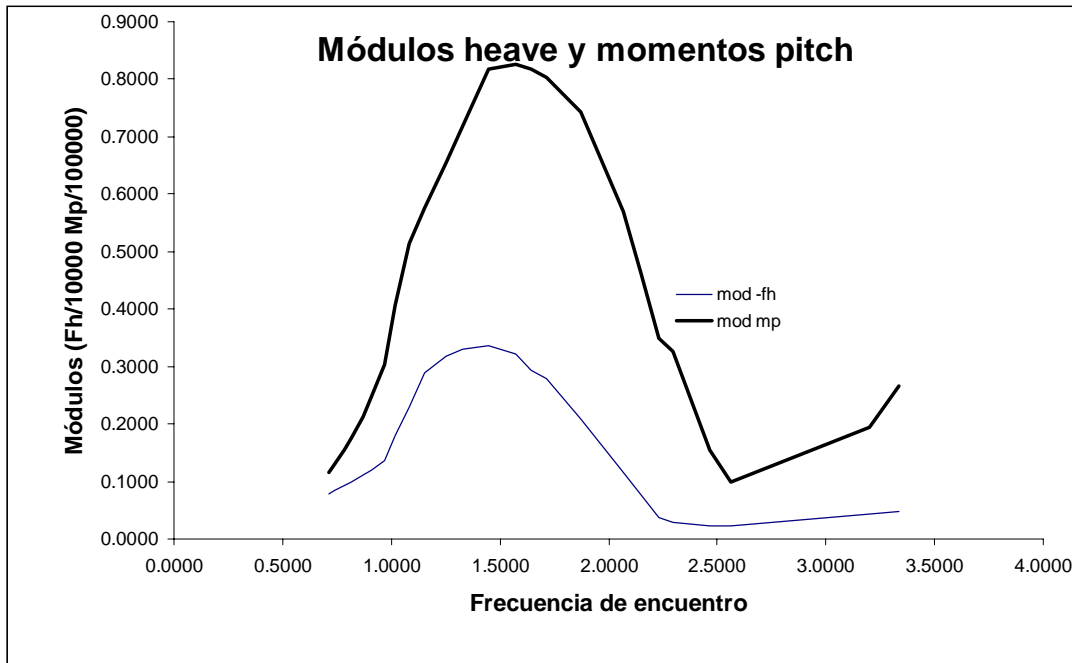


Figura 18 Fases a velocidad de 40 nudos

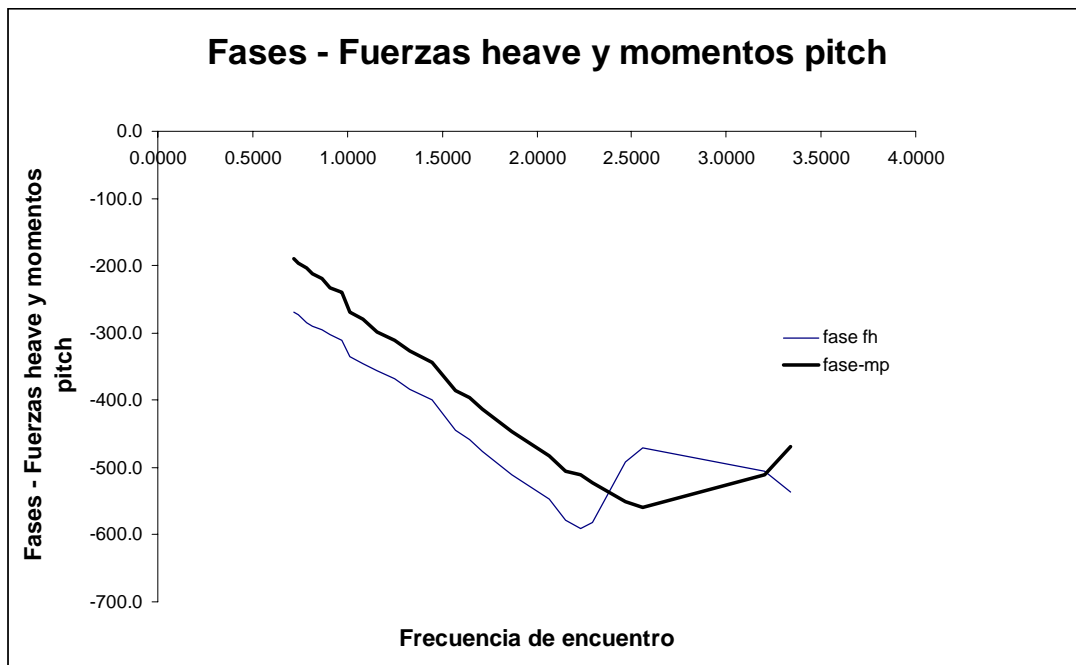


Figura 19 Fases a velocidad de 40 nudos

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

CAPÍTULO

SEGUNDO

PLANTEAMIENTOS GENERALES

CRIBAV
 CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

Modelo matemático

El modelo considerado para el heave es de la forma general siguiente:

$$G_H = \frac{K.(s + a)(s^2 + bs + c)(s^2 + ds + e).....}{(s + f).(s^2 + gs + h).(s^2 + ms + n).....} \quad (5)$$

Restricción: La ganancia K del sistema toma el valor unidad para que a bajas frecuencias

$$|G(jw)|_{w \rightarrow 0} = 1 \quad (6)$$

El modelo considerado para el pitch es de la forma general siguiente:

$$G_P = \frac{K.s.(s + a)(s^2 + bs + c)(s^2 + ds + e).....}{(s + f).(s^2 + gs + h).(s^2 + ms + n).....} \quad (7)$$

Restricción: La ganancia del sistema a bajas frecuencias debe ser nula y la fase 90°.

$$|G(jw)|_{w \rightarrow 0} = 0 \quad |G(jw) = 90^\circ \quad (8)$$

La parte izquierda de (1) y (2) es la relación entrada salida que hemos denominado Olas – Heave y Olas - Pitch. La parte derecha es un conjunto de ceros y polos con el que pretendemos modelar el sistema. Haremos un estudio para minimizar dicho número de ceros y polos.

El modelo considerado para la entrada olas y salida la fuerza heave tiene la forma general siguiente:

$$G_{FH} = \frac{K.(s + a)(s^2 + bs + c)(s^2 + ds + e).....}{(s + f).(s^2 + gs + h).(s^2 + ms + n).....} \quad (9)$$

Restricción: La ganancia K del sistema toma el valor unidad para que a bajas frecuencias

$$|G(jw)|_{w \rightarrow 0} = 1 \quad (10)$$

El modelo considerado para el pitch es de la forma general siguiente:

$$G_{MP} = \frac{K.s.(s + a)(s^2 + bs + c)(s^2 + ds + e).....}{(s + f).(s^2 + gs + h).(s^2 + ms + n).....} \quad (11)$$

Restricción: La ganancia del sistema a bajas frecuencias debe ser nula y la fase 90°.

$$|G(jw)|_{w \rightarrow 0} = 0 \quad |G(jw) = 90^\circ \quad (12)$$

**la identificación de los parámetros del modelo
 el método de los Algoritmos genéticos
 Ideas generales**

Dados unos datos experimentales (en este caso suministrados por el CEHIPAR) suponemos un tipo de modelo de la forma ya comentada

$$G_H = \frac{K.(s + a)(s^2 + bs + c)(s^2 + ds + e).....}{(s + f).(s^2 + gs + h).(s^2 + ms + n).....} \tag{13}$$

abordamos el problema de ajustar el modelo de modo que la ecuación represente a esos datos. De entre los diversos métodos existentes, *hemos investigado la potencialidad al respecto de los Algoritmos Genéticos.* Hemos considerado dos situaciones:

- a) La primera es la usual al comienzo de la modelación, cuando se tantean diversas posibilidades y se tiene una cierta idea de rangos de valores de los parámetros, pero no se cuenta con una solución de partida.
- b) La segunda puede suceder cuando se cuenta con una solución (un determinado conjunto de parámetros), pero se ve que conviene modificarla, bien porque el proceso haya cambiado, o bien porque debe intentarse una mejora del ajuste, (por ejemplo por estar trabajando en tiempo real).

Para ambos casos, hemos planteado formas de solución.

Empezamos con el caso primero: “ no hay parámetros conocidos”.

El problema del ajuste es un problema de optimización: minimizar un error. En nuestro caso, definimos un error global del ajuste, como una suma ponderada de los errores de las curvas obtenidas por el modelo con respecto a cada gráfica de datos reales. La función de coste se detalla más adelante.

Descripción del cromosoma

La clave para aplicar algoritmos genéticos es encontrar una representación del problema en términos de cromosomas, y definir adecuadamente el espacio de búsqueda (acotarlo de forma apropiada repercute en el coste computacional).

Dado el conjunto de parámetros a ajustar, definimos el cromosoma como un conjunto de genes correspondiendo cada uno a un parámetro del modelo, [a, b, c, d,m, n,]. Los genes son números reales dentro del rango de variabilidad de los parámetros. En el caso que estamos estudiando los parámetros son números reales comprendidos en el rango de $[-\infty +\infty]$. Esto hace que el espacio de búsqueda sea muy grande y el problema de difícil solución.

Se ha visto que se mejora la eficacia del método si en lugar de hacer operar como acabamos de decir, lo hacemos de este otro modo. Se coge cada paréntesis del modelo y se descompone en sus raíces simples, (reales o conjugadas):

$$(s^2 + b.s + c) = (s - r_1).(s - r_2) \tag{14}$$

donde

$$r_1 = \text{real}_1 + \text{imag}_1.j \tag{15}$$

$$r_2 = \text{real}_2 + \text{imag}_2.j$$

y el cromosoma está constituido por las partes reales e imaginarias de los ceros y los polos del modelo

$$\text{Cromosoma} = [\text{real}_1 \text{ imag}_1 \text{ real}_2 \text{ imag}_2 \text{ real}_3 \text{ imag}_3 \text{real}_n \text{ imag}_n] \tag{16}$$

La función de coste J.

Tomamos como función de evaluación de los cromosomas, el valor de Jg que se obtiene con los parámetros señalados por el cromosoma. Este valor se calcula integrando las ecuaciones del modelo, y midiendo los errores respecto a los datos de las gráficas. Para la primera gráfica considerada será:

$$\begin{aligned}
 J_{\text{Real}} &= \sum_{i=2}^n (\text{Re al}_{\text{Datos}} - \text{Re al}_{\text{Modelo}})^2 \\
 J_{\text{Im ag}} &= \sum_{i=2}^n (\text{Im ag}_{\text{Datos}} - \text{Im ag}_{\text{Modelo}})^2 \\
 J_1 &= J_{\text{Real}} + \text{Peso} \cdot J_{\text{Im ag}} \\
 J &= \frac{100}{J_1}
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

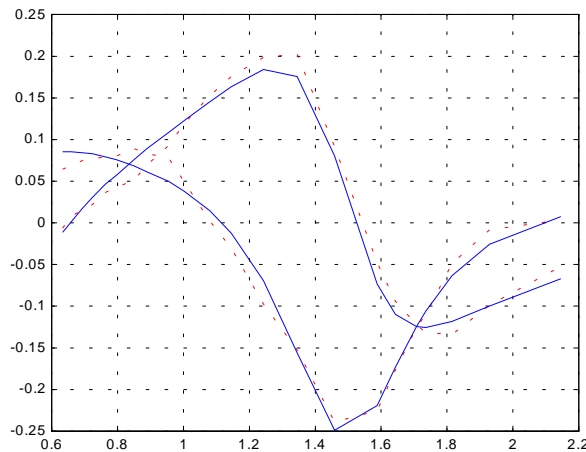


Figura 20 Parte real e imaginaria de datos y modelo para obtener la función de coste J.

El multiplicar **J** por **100** tiene como objeto aumentar el rango de comparación de los elementos que componen cada generación en una población de AG.

Especificaciones del A.G.

Hemos investigado diversas alternativas en cuanto a las especificaciones del algoritmo genético, encontrando como mejores las siguientes:

- población inicial de 10 individuos creados al azar
- 4 sustituciones por generación
- probabilidad de cruce de 0.7
- probabilidad de mutación de 0.007
- selección de padres se hace mediante el método de la ruleta.
- Se corren 10000 generaciones, en 40 eras.

Algoritmo.

```

# Conjunto de includes necesarios
<stdlib.h> <stdio.h> <math.h> <time.h> <sys/types.h> "defines.h" "funcion.h"

void main
{
    Variables del algoritmo
    Leemos los datos experimentales
    Inicializamos el archivo jotat.dat
    Generacion de la población inicial
    evaluamos la población inicial
    ordenamos la población inicial
    Cálculo del máximo de la población inicial
    
```

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

//----- PROGRAMA PRINCIPAL -----

//----- Comienzo de una nueva Era -----

Nuevas generaciones de una era
Cruce de parejas
Mutación de los nuevos
Modificación de los nuevos si están repetidos
Evaluación de los nuevos individuos producidos
Ordenación
Guardo el mejor de la nueva generación
SUPERHIJO
 calcula el valor del salto
 genera el superhijo
 Si hay superhijo
 Copia de los mejores J's para este supersalto
 ordenación

//----- Fin de una Era -----

 Copia los genes del mejor (borra los últimos copiados)

//----- Fin del programa principal -----

 Guarda en ficheros los resultados

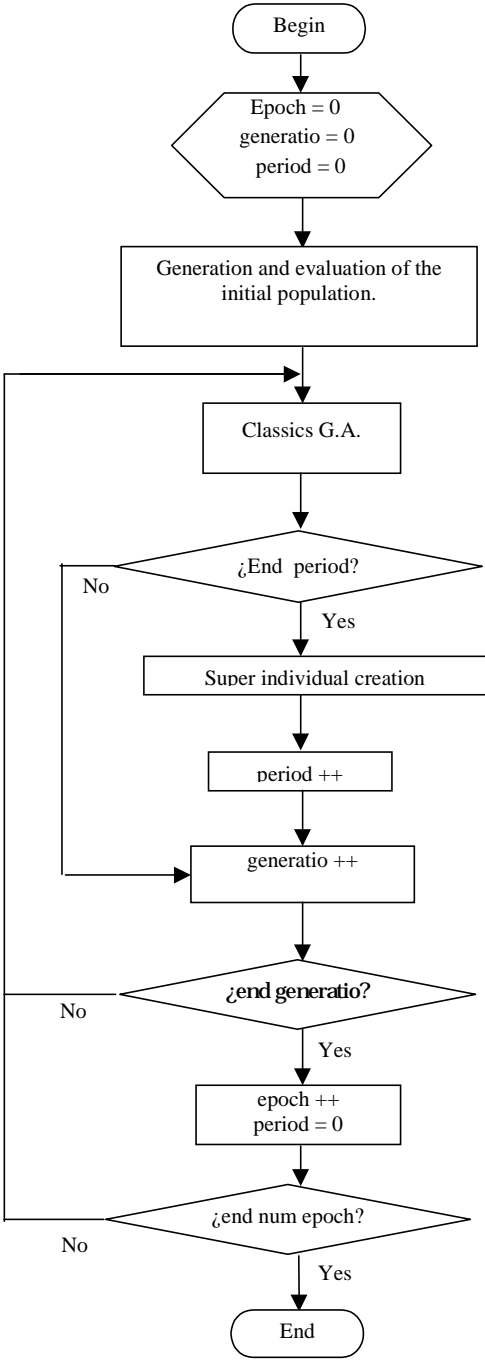
El algoritmo se ha paralelizado con un doble objetivo:

- 1º.- Ampliar el espacio de búsqueda
- 2º.- Acelerar el tiempo de obtención del máximo

Para ello se ha utilizado el Computador del centro de cálculo de la UCM, de marca Silicon Graphics, de 32 procesadores, utilizando técnicas propias elaboradas junto al grupo de paralelización del área de paralelismo. El método empleado se ha presentado en dos Congresos Internacionales [5] y [6], uno de paralelismo y otro de Algoritmos Genéticos.

Representándolo en un diagrama de flujo:

CRIBAV
CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD



Método de elaboración de resultados
Para obtener los parámetros del heave y Pitch

1º.- Se obtienen los parámetros para la velocidad de 20 nudos según los modelos siguientes empleando:
 40 eras cada una de 10.000 generaciones
 repitiendo el experimento 5 veces al menos

Modelo	nº ceros simples	nº ceros complejos	nº polos simples	nº polos complejos
xvm0012	0	0	1	2
xvm1002	1	0	0	2
xvm1012	1	0	1	2
xvm0212	0	2	1	2
xvm0004	0	0	0	4
xvm1004	1	0	0	4
xvm0204	0	2	0	4
xvm1204	1	2	0	4
xvm0014	0	0	1	4
xvm1014	1	0	1	4
xvm0214	0	2	1	4
xvm1214	1	2	1	4
xvm0414	0	4	1	4
xvm0006	0	0	0	6
xvm1006	1	0	0	6
xvm0206	0	2	0	6
xvm1206	1	2	0	6
xvm0406	0	4	0	6
xvm1406	1	4	0	6

Tabla 19: Tabla con la nomenclatura de los modelos

x = h para el heave; x = p para el pitch; v = la velocidad

2º.- Se aplica lo mismo para las velocidades de 30 y 40 nudos.

3º.- Los modelos que hayan obtenido mejor J se le aplica el algoritmo de mejora:

- con SEMILLA.
- con 120 eras y 10.000 generaciones cada era.

4º.- Se seleccionan los mejores modelos Heave y Pitch de orden bajo, medio y superior.

Para obtener los parámetros de la fuerza heave y momento pitch

Se aplica un método análogo al anterior sólo que se elimina el estudio de los modelos con seis polos, por parecer excesivo su número.

5º.- Se añade la búsqueda de ceros y polos coincidentes entre los modelos

- olas - heave y olas - fuerzas heave
- olas - pitch y olas - momentos pitch
-

Para ello se aplica el algoritmo de COMPLETAR GENES. Consiste en que conociendo los genes del modelo olas – fuerzas (olas – momentos) éstos se completan hasta obtener un modelo olas - heave (olas – pitch) satisfactorio por la validación.

CAPÍTULO TERCERO

. RESULTADOS GENERALES

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

Pasamos a continuación a presentar los resultados de las distintas experiencias hechas para la obtención de los parámetros de los modelos.

Se presentan los resultados en tablas. En la primera columna va el modelo caracterizado por tres letras y cuatro números separados por puntos, que indican naturaleza del modelo (heave, pitch,...), velocidad, número y clase de ceros y número y clases de polos.

Por ejemplo, ponemos a continuación la nomenclatura y el significado en un caso:

h2m.12.14 = heave - 20 nudos – 1 cero simple – 2 ceros complejos conjugados – 1 polo simple – 4 polos complejos conjugados

resultados Para el modelo olas - Heave del barco resultados para la velocidad de 20 nudos

Velocidad-Modelo	Genes (ceros)	Genes (polos)	Func. Coste
h2m.10.02	-391 0	-225 887	270.93
	-394 0	-227 886	270.88
	-394 0	-227 886	270.88
h2m.00.12		-394 0 -227 886	270.88
		-399 0 -229 882	269.90
		-397 0 -226 884	270.56
		-394 0 -227 886	270.88
h2m.10.12	-4000 0	-363 0 -210 840	194.22
	-4000 0	-361 0 -209 841	194.27
	-4000 0	-361 0 -209 841	194.27
h2m.02.12	495 1462	-695 0 -323 978	1416.29
	492 1456	-715 0 -331 974	1410.06
	486 1451	-734 0 -336 968	1389.08
	485 1456	-732 0 -332 966	1386.03
h2m.00.04		-297 1044 -840 1	280.37
h2m.10.04	-2543 0	-250 999 -635 244	334.25
	-3199 0	-252 999 -706 147	340.62
	-2621 0	-252 999 -644 242	334.93
	-2434 0	-250 1002 -617 262	331.55
h2m.02.04	375 1542	-452 1054 -1102 646	1072.22
	396 1542	-407 1028 -1430 1	1216.66
	388 1551	-424 1046 -1228 496	1152.18
	358 1568	-860 650 -447 1142	962.54
	413 1473	-534 1119 -922 743	622.77
h2m.02.04	438 1491	-1399 49 -419 1054	882.66
	416 1432	-488 1021 -1314 675	762.84
	408 1408	-496 998 -1384 718	737.58
	420 1496	-1052 634 -470 1090	712.56
	416 1476	-1013 699 -504 1098	677.97
h2m.12.04	-2880 0 446 1492	-374 1032 -1001 405	1830.28
	-3027 0 432 1493	-389 1052 -911 505	1439.08

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

	-2348 0 475 1477	-764 497 -381 1089	1304.74
	-2595 0 463 1399	-381 1018 -1133 234	1255.73
	-2860 0 460 1400	-386 1021 -1154 253	1244.01
h2m.00.14		-521 0 -295 972 -4000 98	238.57
		-486 0 -279 950 -4000 2064	232.96
		-482 0 -283 867 -4000 1154	230.45
h2m.10.14	-1475 0	-602 0 -306 1010 -1249 499	292.78
	-1475 0	-531 0 -294 986 -1383 615	293.95
	-1678 0	-560 0 -307 1003 -1292 700	
h2m.02.14	405 1559	-838 0 -371 1014 -4000 3112	1215.39
	416 1573	-735 0 -334 1012 -4000 4000	1253.92
	385 1565	-916 0 -388 1020 -4000 2033	1148.44
	388 1559	-904 0 -384 1017 -4000 2313	1163.10
	491 1595	-727 0 -349 1013 -4000 4000	692.29
h2m.12.14	-3337 0 488 1501	-787 0 -362 1004 -4000 1	1234.54
	-1484 0 495 1577	-688 0 -359 1005 -2008 987	1207.67
	-3368 0 444 1409	-900 0 -388 1000 -4000 10	1123.78
	-3752 0 446 1422	-895 0 -388 1010 -4000 10	1115.58
	-648 0 447 1455	-523 0 -407 991 -1676 677	1077.69
h2m.04.14	547 1174 -24 1844	-2330 0 -459 997 -3679 3052	4232.52
	530 1267 -188 1884	-3987 0 -431 1063 -1723 977	3242.96
	564 1242 -123 1896	-1430 0 -410 1053 -4000 2197	3194.29
	515 1368 -52 2332	-1842 0 -448 1000 -4000 795	2355.70
	504 1388 -200 2343	-4000 0 -436 1022 -2172 196	2287.69
h2m.00.06		-1 4000 -315 1048 -767 235	163.08
		-1 4000 -315 1047 -765 235	163.08
		-1 4000 -315 1048 -767 234	163.08
h2m.10.06	-2131 0	-283 1003 -746 126 -4000 4000	247.07
	-2131 0	-282 1005 -747 125 -4000 4000	247.07
	-2131 0	-283 1003 -746 126 -4000 4000	247.07
h2m.02.06	316 1612	-1571 1 -435 1055 -4000 4000	845.75
	328 1604	-1642 1 -448 1042 -4000 4000	840.10
	324 1600	-1639 1 -447 1042 -4000 4000	840.91
	316 1600	-456 1047 -4000 4000 -1530 422	817.57
h2m.12.06	133 0 628 1783	-340 1067 -254 81 -3837 1531	3465.49
	-2263 0 392 1550	-386 1019 -1224 1 -4000 4000	1180.65
	-2672 0 390 1550	-1291 1 -397 1020 -4000 4000	1150.95
	-1308 0 444 1413	-854 233 -350 1004 -1 4000	1058.21
	-3508 0 423 1418	-1 4000 -394 1012 -1227 1	1007.18
h2m.04.06	537 1216 -71 1828	-3098 616 -462 -1027 -3073 3543	4353.68
	490 1288 -204 1760	-823 1226 -573 -1126 -4000 2403	2977.60
	493 1398 138 2340	-452 1008 -4000 4000 -2314 110	2065.43
	-75 2327 494 1373	-462 984 -4000 4000 -2670 1	2015.87
	486 1412 190 -2284	-4000 4000 -464 1027 -1680 926	1918.92

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

h2m.14.06	-2525 0	-84 1857	556 1221	-1982 676	-448 1047	-4000 1290	4087.59
	-1470 0	-142 1835	544 1220	-425 1110	-899 627	-3259 4000	4005.48
	-1499 0	-240 1839	510 1235	-4000 4000	-692-616	-384 1165	3104.46
	292 0	2035 259	-120 1718	-1173 226	-543 1	-365 -1370	922.53
	410 0	-1484 1917	2730 28	293 1152	-1399 361	-199 333	594.69

Tabla 20: Resultados a 20 nudos. Primeras pruebas

resultados para la velocidad de 30 nudos

Velocidad-Modelo	Genes (ceros)		Genes(polos)		Func. Coste	
h3m.00.12			-484 0	-243 1037	42.49	
			-482 0	-242 1038	42.49	
			-484 0	-243 1037	42.49	
			-484 0	-243 1037	42.49	
			-484 0	-243 1037	42.49	
h3m.10.12	-4000 0		-977 0	-362 756	14.43	
	-4000 0		-457 0	-232 958	23.91	
	-4000 0		-457 0	-232 958	23.91	
	-4000 0		-440 0	-229 977	24.26	
	-4000 0		-423 0	-218 987	24.25	
h3m.02.12	599 1496		-860 0	-335 1210	210.77	
	595 1494		-869 0	-337 1208	210.67	
	594 1493		-869 0	-337 1208	210.66	
	618 1507		-823 0	-326 1219	177.68	
	648 1531		-802 0	-323 1218	176.02	
h3m.00.04			-260 1307	-629 494	121.39	
			-262 1301	-643 488	121.45	
h3m.10.04	-5000 0		-543 484	-239 1269	97.72	
	-5000 0		-240 1259	-573 467	95.99	
h3m.02.04	576 1720		-373 1383	-1015 688	600.48	
	570 1713		-382 1394	-980 716	600.05	
	583 1675		-378 1334	-1285 552	565.76	
	571 1651		-391 1322	-1339 568	555.36	
	573 1638		-385 1313	-1442 446	533.64	
h3m.12.04	-4000 0	562 1582	-766 691	-357 1413	775.26	
	-3732 0	580 1603	-340 1402	-766 662	768.39	
	-4000 0	592 1598	-352 1376	-856 650	743.30	
	-3828 0	567 1596	-778 680	-357 1400	461.80	
	-4000 0	570 1584	-391 1361	-856 704	425.85	
h3m.00.14			-876 0	-318 1286	-1934 496	127.41
			-846 0	-319 1283	-1907 676	127.10
h3m.10.14	-3416 0		-744 0	-320 1352	-843 944	151.07
h3m.02.14	532 1915		-1806 0	-433 1383	-1446 107	1368.5

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

	604 1851		-1156 0	-374 1328	-2867 1082	475.55
	557 1896		-1930 0	-408 1365	-1738 806	398.17
	561 1809		-2934 0	-408 1337	-1897 0	388.86
	525 1950		-2548 0	-412 1410	-1199 852	385.92
h3m.12.14	-1358 0 564 1697		-787 0	-470 1380	-860 1201	773.95
	-1166 0 568 1648		-1645 0	-384 1368	-1016 546	725.75
	-4000 0 573 1661		-2799 0	-393 1352	-1401 613	701.06
	-2124 0 577 1792		-1551 0	-397 1421	-954 821	435.94
	-2100 0 654 1766		-2524 0	-340 1317	-1257 293	392.59
h3m.04.14	748 1383 110 2111		-3994 0	-456 1369	-2640 1332	1607.30
	44 2280 728 1539		-2400 0	-438 1405	-1653 1515	1396.62
	243 2200 795 1483		-1740 0	-3787 3091	-435 1342	1120.59
	852 1589 68 2225		-4000 0	-424 1428	-1513 1096	895.35
	748 1489 117 2277		-1858 0	-457 1326	-2162 2545	745.85
h3m.00.06			-1198 0	-342 1320	-4000 1423	100.40
h3m.10.06	-782 0		-936 1017	-822 0	-368 1429	95.23
	-780 0		-937 1017	-824 0	-368 1429	95.23
	-782 0		-936 1017	-822 0	-368 1429	95.23
	-783 0		-937 1017	-824 0	-368 1429	95.23
	-782 0		-936 1017	-822 0	-368 1429	95.23
h3m.02.06	412 2074		-2282 0	-413 1411	-1820 1200	351.60
h3m.12.06	-4000 0 541 1672		-409 1376	-1118 696	-4000 3825	699.19
	-1676 0 522 1753		-1940 85	-1571 927	-438 1397	647.80
	-3311 0 524 1735		-3872 285	-1121 842	-435 1425	639.63
	-3500 0 557 1925		-1039 683	-372 1402	-4000 1332	418.77
	-3878 0 598 1903		-3923 273	-372 1354	-1504 350	417.57
h3m.04.06	-70 2065 660 1478		-996 2023	-2844 785	-495 1416	2073.53
	-92 2132 681 1512		-1187 1449	-462 1471	-3975 1358	1962.40
	-46 2125 701 1500		-479 1419	-1387 1829	-3454 1044	1620.14
	-40 2241 687 1529		-1748 1654	-452 1397	-3675 1274	1453.24
	-72 2235 713 1590		-452 1444	-1232 1121	-2312 3420	1205.55
h3m.14.06	-3256 0 682 1405 -28 2081		-3820 1282	-490 1489	-1026 1252	2354.14
	-1960 0 53 2107 718 1387		-1415 802	-453 1379	-2269 3054	1561.02
	-1248 0 -15 2184 724 1481		-2386 696	-433 1427	-1481 781	1458.29
	-1943 0 -88 2160 716 1526		-1186 1243	-423 1471	-2094 706	1440.07
	-1537 0 660 1600 -364 2662		-1319 786	-390 1387	-2270 622	850.78

Tabla 21: Resultados a 30 nudos. Primeras pruebas

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

resultados para la velocidad de 40 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>	<i>Genes (polos)</i>			<i>Func.Coste</i>
h4m.00.12		-555 0	-246 1175		22.38
		-557 0	-248 1174		22.38
		-557 0	-247 1174		22.38
		-556 0	-248 1174		22.38
		-557 0	-247 1174		22.38
h4m.10.12	-4000 0	-496 0	-232 1100		15.68
	-4000 0	-496 0	-234 1097		15.68
	-4000 0	-496 0	-232 1100		15.68
	-4000 0	-495 0	-231 1100		15.68
	-4000 0	-496 0	-232 1100		15.68
h4m.02.12	723 1635	-927 0	-309 1391		98.90
	721 1634	-928 0	-309 1391		98.90
	724 1637	-927 0	-309 1390		98.89
	745 1664	-901 0	-304 1386		89.31
	737 1646	-895 0	-302 1392		89.05
h4m.10.04	-4000 0	-209 1433	-496 572		71.07
	-4000 0	-209 1432	-495 572		71.07
	-4000 0	-209 1433	-496 572		71.07
	-4000 0	-209 1431	-498 572		71.07
	-4000 0	-209 1433	-496 572		71.07
h4m.02.04	705 2007	-895 798	-300 1579		600.12
	701-1994	-304 1572	-921 800		598.83
	716 2014	-933 787	-302 1566		598.61
	719 2001	-304 1566	-948 785		595.36
	702 -1983	-309 1572	-930 806		593.39
h4m.12.04	-4000 0 712 1821	-760 748	-283 1565		591.14
	-4000 0 713 1816	-767 750	-286 1564		589.74
	-4000 0 710 1815	-762 749	-284 1566		589.63
	-4000 0 731 1840	-769 738	-280 1558		588.48
h4m.00.14		-1480 0	-283 1512	-1269 690	120.07
		-1478 0	-286 1512	-1266 690	120.07
		-1480 0	-283 1512	-1269 690	120.07
		-1480 0	-285 1512	-1267 690	120.07
h4m.02.14	321 2581	-1308 0	-269 1632	-861 1110	448.53
	412 -2458	-874 0	-520 1618	-524 1554	431.05
	635 2330	-3294 0	-311 1554	-1180 831	408.28
	569 2348	-1290 0	-1192 1426	-350 1565	402.39
	600 2294	-1414 0	-356 1549	-1368 1408	358.08

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

h4m.12.14	-2977 0	580 2515	-773 0	-280 1664	-598 1188	715.38	
	-3485 0	633 2269	-1007 0	-760 1204	-313 1646	705.41	
	-3150 0	687 2180	-1106 0	-927 1211	-328 1594	656.96	
	-3980 0	664 2215	-1022 0	-350 1598	-870 1335	629.37	
	-2637 0	700 2197	-856 0	-366 1600	-758 1340	600.21	
h4m.04.14	-62 2322	863 1665	-2395 0	-1064 1586	-387 1652	1763.13	
	-44 2408	928 1724	-4000 0	-341 1636	-1178 1246	1675.50	
	-163 2487	885 1777	-3192 0	-328 1642	-1071 1217	1539.19	
	-104 2267	824 1688	-1760 0	-409 1783	-687 1523	1487.69	
	-168 2407	890 1788	-1639 0	-366 1629	-965 1637	1425.53	
h4m.02.06	465 2329		-325 1594	-1336 1020	-3545 3	506.55	
	576 2240		-334 1545	-2125 610	-3436 118	462.56	
	554 2267		-334 1563	-1619 885	-3913 1	488.75	
	485 2332		-308 1592	-1152 884	-4000 1862	505.11	
	560 2255		-330 1562	-1435 820	-3984 1976	491.35	
h4m.12.06	-2532 0	407 1425	-4000 4000	-479 1011	-1220 569	747.61	
	-2200 0	231 2476	-1308 10	-289 1704	-663 1310	564.88	
	-1575 0	574 2280	-1684 423	-1239 1017	-318 1594	553.44	
	-3748 0	672 2110	-304 1569	-4000 3015	-955 766	546.88	
	-2244 0	619 2227	-1354 932	-325-1572	-2152 613	540.53	
h4m.04.06	853 1752	-104 2352	-361 1625	-1447 1581	-2807 2011	1580.02	
	897 1731	-29 2361	-347 1618	-1653 3961	-1308 1125	1532.60	
	900 1818	-64 2316	-3017 316	-1096 1896	-390 1641	1436.31	
	933 1824	-44 2392	-360 1616	-4000 739	-1454 1588	1320.09	
	-81 2376	915 1848	-1354 1942	-366 1611	-2863 676	1294.99	
h4m.14.06	-1461 0	-6 2339	925 1695	-382 1611	-1277 1824	-1680 234	1407.18
	-2752 0	39 2464	964 1834	-347 1608	-1207 896	-1709 2550	1123.35
	-2964 0	17 2651	952 1855	-3555 1336	-1343 1025	-337 1579	954.88
	-1889 0	78 2496	1033 -1905	-1371 667	-351 1582	-1632 2163	891.81

Tabla 22: Resultados a 30 nudos. Primeras pruebas

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

resultados Para el modelo olas - Pitch del barco
resultados para la velocidad de 20 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>	<i>Genes (Polos)</i>			<i>Func. Coste</i>
p2m.00.12		-565 0	-119 846		1.95
		-561 0	-118 847		1.95
		-563 0	-118 846		1.95
		-565 0	-119 846		1.95
p2m.10.12	-4000 0	-514 0	-113 -811		1.73
	4000 0	-4000 0	-967 1552		1.06
p2m.02.12	944 879	-875 0	-200 1039		9.47
	951 869	-829 0	-198 1051		9.51
	953 871	-842 0	-198 1048		9.51
p2m.00.04		-138-1180	-207 -633		9.29
		-137-1180	-207 -633		9.29
p2m.10.04	-4000 0	-128 1133	-190 601		6.04
	-833 0	-158 1338	-233 824		58.59
	-4000 0	-190 602	-129 1133		6.04
p2m.02.04	976 1566	-283 757	-214 1309		145.25
	1014 1580	-287 756	-215 1304		144.07
	980 1564	-285 760	-218 1308		143.88
	1004 1566	-290 760	-219 1303		142.30
	965 1548	-223 1306	-289 766		138.85
p2m.12.04	1231 0 358 1732	-342 860	-292 1380		203.31
	-4000 0 913 -1387	-207 1282	-273 728		94.93
	-4000 0 925 1385	-277 729	-209 1279		94.74
	4000 0 -60 1743	-167 1297	-1 4000		2.28
p2m.00.14		-1161 0	-156 1310	-244 767	49.25
		-930 0	-158 1328	-239 804	58.07
p2m.10.14	-4000 0	-784 0	-137 1298	-213 780	25.23
	-4000 0	-752 0	-211 788	-137 1301	25.43
p2m.02.14	1092 1944	-2626 0	-225 1345	-297 -806	213.28
	1418 2539	-1258 0	-210 1376	-281 -854	165.26
	1136 2083	-1893 0	-222 1362	-294 -827	205.84
p2m.12.14	-3999 0 1228 1884	-1439 0	-283 -817	-210 1352	181.52
	1309 0 297 1786	-3336 0	-333 914	-306 1448	131.78
p2m.04.14	308 2128 2735 1092	-4000 0	-238 1391	-309 -847	258.94
	344 2077 3224 49	-4000 0	-247 1392	-313 856	247.31
	317 3956 1003 2355	-4000 0	-212 1344	-292 791	230.38
	2062 56 222 1880	-4000 0	-423 1423	-370 1006	74.95
	320 2097 3204 228	-4000 0	-237 -1390	-309 -846	264.15
p2m.00.06		-851 1418	-272 1310	-360 762	133.21
		-236 1392	-1252 719	-311 890	136.75

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

				-206 1356	-292 829	-1775 508	168.83
				-1180 920	-244 1377	-331 862	156.69
p2m.10.06	-684 0			-188-1364	-305 912	-416 462	143.69
	-1178 0			-188-1382	-316 915	-488 568	192.93
	-3058			-235-1405	-452 742	-448 983	267.68
p2m.02.06	822 -2123			-299 808	-234 1361	-1771 2052	274.31
	-684 3283			-210 1455	-379 966	-530 796	245.45
	193 -2663			-286 1474	-376 798	-503 1195	419.96
	662 2214			-306 -792 -243 -1358 -1060 -1849			365.97
p2m.12.06	-1096 0	769 1948		-658 1149	-286 1376	-356 719	803.67
	-4000 0	733 2092		-764 1571	-272 1350	-319 771	468.68
	-686 0	642 1751		-315 1275	-598 1387	-318 602	385.30
	-1773 0	714 1926		-640 1615	-255 1292	-295 695	377.69
p2m.04.06	257 2269	1392 3999		-271 1311	-309 752	-403 1742	652.57
	310 2266	1257 3940		-264 1311	-308 752	-413 1776	599.33
	88 -2159	3426 3784		-326 1346	-330 784	-416 1634	552.18
	160 -2036	3727 712		-304 1389	-866 2029	-346 863	226.84
	3892 61	162 2058		-275 1427	-1324 1945	-327 881	204.07
p2m.14.06	-1084 0	280 2012	2500 1623	-388 772	-347 1411	-703 1300	569.95
	-2208 0	269 2222	3768 1474	-332 828	-258 1395	-1078 1346	355.51
	-1091 0	2544 1414	286 1984	-401 1414	-412 801	-686 1299	341.93
	-948 0	2415 940	263 1885	-945 1134	-420 863	-381 1446	239.83
	-2300 0	2596 1099	188 1933	-386 852	-467 1332	-475 1627	204.19

Tabla 23: Resultados a 20 nudos. Primeras pruebas

resultados para la velocidad de 30 nudos

Velocidad-Modelo	Genes (ceros)	Genes (Polos)	Func.Coste
p3m.00.12		-555 0 -143 1019	1.77
		-558 0 -144 1018	1.77
		-553 0 -143 1020	1.77
		-559 0 -144 1017	1.77
p3m.10.12	-4000 0	-540 0 -143 947	1.52
	-4000 0	-540 0 -143 947	1.52
	-4000 0	-540 0 -142 947	1.52
	-4000 0	-540 0 -143 947	1.52
p3m.02.12	1110 1020	-754 0 -230 1245	9.61
	1111 1021	-756 0 -230 1244	9.61
	1110 1021	-756 0 -230 1246	9.61
	1111 1021	-756 0 -230 1244	9.61
	1111 1021	-755 0 -231 1245	9.62
p3m.00.04		-156 1356 -256 690	7.97
		-156 1356 -256 691	7.97
		-256 691 -156 1356	7.97

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

		-156 1356	-256 690		7.97
		-256 691	-156 1356		7.97
p3m.10.04	-4000 0	-222 651	-147 1306		5.22
	-4000 0	-222 651	-147 1306		5.22
	-4000 0	-222 651	-147 1306		5.22
	-4000 0	-222 650	-146 1306		5.22
	-4000 0	-222 651	-146 1306		5.22
p3m.02.04	1057 1741	-376 839	-232 1502		114.52
	1066 1747	-375 837	-231 1502		114.62
p3m.12.04	-4000 0 1005 1546	-224 1466	-356 794		66.21
	-4000 0 992 1544	-224 1467	-355 796		66.12
	-4000 0 999 1541	-226 1466	-358 796		66.01
	4000 0 -18 1973	-202 1529	-1 4000		2.29
	4000 0 -10 1970	-1 4000	-202 1534		2.29
p3m.00.14		-944 0	-172 1526	-311 925	47.29
		-842 0	-304 954	-174 1534	49.24
		-859 0	-304 949	-174 1534	49.18
		-980 0	-172 1524	-311 916	46.17
		-1003 0	-172 1520	-315 911	45.46
p3m.10.14	-4000 0	-748 0	-266 905	-149 149	19.49
	-4000 0	-688 0	-148 1498	-259 924	19.44
	-4000 0	-688 0	-148 1498	-259 924	19.44
	-4000 0	-688 0	-148 1498	-259 924	19.44
	-4000 0	-700 0	-148 1497	-260 920	19.48
p3m.02.14	1228 2246	-2276 0	-241 1550	-406 923	256.88
	1364 2439	-1446 0	-403 996	-252 1578	247.52
	1353 -2448	-1341 0	-252 1585	-398 1012	231.00
	1197 -2144	-3055 0	-236 1537	-402 891	220.77
	1441 -2548	-1237 0	-251 1586	-394 1024	217.14
p3m.12.14	-4000 0 1302 2014	-1560 0	-233 -1543	-391 -924	197.84
	-4000 0 1288 1996	-1590 0	-236 1542	-393 924	196.34
	-4000 0 1251 1952	-1863 0	-396 900	-235 1530	181.18
	-4000 0 1539 2196	-1002 0	-361 1001	-230 1576	179.29
	-3907 0 1528 2105	-1040 0	-246 -1569	-380 -1008	169.47
p3m.04.14	331 2256 2978 428	-3727 0	-319 1605	-482 1037	335.18
	344 2230 2975 126	-3796 0	-339 1597	-502 1060	276.77
	248 2114 2332 374	-2306 0	-468 1251	-522 1702	117.03
	1940 739 260 2093	-3946 0	-524 1332	-606 1526	111.61
	331 2281 2971 726	-3616 0	-306 -1607	-468 -1024	370.99
p3m.00.06		-424 1053	-254 1598	-1306 682	220.83
		-1034 1378	-270 1539	-500 872	178.10
		-634 1295	-320 1590	-639 842	158.27
		-295 1519	-509 817	-848 1533	146.27
p3m.10.06	-3877 0	-443 1214	-559 704	-255 1629	375.87

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

	-2184 0		-389 1149	-215 1619	-543 634	323.65	
	-4000 0		-258 1590	-556 1221	-531 762	305.37	
	-4000 0		-256 1583	-513 769	-586 1230	275.75	
	-4000 0		-414 1004	-948 770	-212 1581	212.73	
p3m.02.06	504 2776		-446 1680	-464 1522	-502 862	623.30	
	696 2733		-850 1582	-337 1592	-512 937	449.79	
	600 3058		-552 1000	-311 1633	-818 1284	421.57	
	481 3350		-299 1648	-604 1070	-715 1110	403.27	
	472 2772		-436 -1674	-454 -1537	-486 -849	744.49	
p3m.12.06	-3755 0	739 2872	-451 1362	-484 774	-314 1690	990.75	
	-3642 0	778 2802	-453 1353	-498 780	-317 1698	848.11	
	-916 0	1128 2636	-439 1119	-256 1622	-619 571	570.34	
	-2206 0	828 2336	-419 745	-497 1734	-347 1462	557.61	
	-4000 0	982 2418	-1094 1599	-282 1562	-450 888	459.88	
p3m.04.06	316 2568	3571 2888	-448 939	-279 1578	-1370 2286	516.36	
	622 2772	2307 3618	-446 941	-277 1569	-1628 2326	432.18	
	177 2319	3811 1520	-538 1008	-392 1592	-822 2002	327.78	
	3956 641	224 2416	-2251 2065	-491 1044	-315 1603	326.64	
	98 2532	3457 1609	-2682 1035	-288 1627	-452 1066	302.55	
p3m.14.06	-1036 0	247 2429	1755 1929	-638 1668	-387 1522	-487 732	1212.91
	-1027 0	364 2340	2280 2071	-640 1685	-404 1509	-504 732	696.31
	-1027 0	366 2268	2958 1812	-654 1700	-404 1503	-515 730	588.34
	-759 0	336 2321	3417 1506	-364 1615	-644 1332	-597 649	573.93
	-1851 0	733 2460	3693 2496	-266 1559	-437 926	-2592 624	395.82

Tabla 24: Resultados a 30 nudos. Primeras pruebas

resultados para la velocidad de 40 nudos

Velocidad-Modelo	Genes (ceros)	Genes (Polos)	Func.Coste	
p4m.00.12		-4000 0	-860 1731	0.91
		-4000 0	-860 1731	0.91
		-4000 0	-860 1731	0.91
p4m.02.04	1101 1908	-235 1629	-510 911	352.64
	1072 1936	-228 1632	-490 910	131.42
	118 2145	-1 4000	-231 1662	2.55
	116 2146	-1 4000	-230 1660	2.55

p4m.12.04	2116 0	598 2224	-282 1653	-627 1015	455.65	
	2527 0	704 2286	-261 1652	-586 977	455.04	
	2111 0	594 2224	-283 1655	-623 1015	454.86	
	2035 0	580 2212	-289 1654	-636 1024	422.36	
	1891 0	561 2206	-294 1638	-696 1031	339.30	
p4m.02.14	-70 2191		-4000 0	-202 1673	-1 4000	2.21

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

	-70 2190		-4000 0	-202-1675	-1 4000	2.21	
	-70 2192		-4000 0	-202 1671	-1 4000	2.21	
p4m.12.14	3085 0	673 2494	-3828 0	-281 1669	-633 1067	979.89	
	2861 0	464 2682	-1430 0	-564 1283	-318 1726	724.87	
	2547 0	556 2510	-2084 0	-744 1286	-338 1652	422.83	
	2185 0	447 2450	-1367 0	-478 1548	-565 1671	190.77	
	2036 0	452 2394	-1426 0	-397 1545	-746 1724	150.54	
p4m.04.14	364 2588	3445 1193	-1885 0	-378 1658	-707 1417	357.75	
	356 2231	335 434	-1229 0	-654 424	-319 1594	72.86	
	250 2263	241 507	-670 0	-300 1644	-702 718	58.62	
	252 294	292 2223	-139 0	-786 1304	-385 1587	48.52	
p4m.00.06			-4000 1907	-4000 4000	-4000 4000	0.83	
			-4000 4000	-4000 1910	-4000 4000	0.83	
			-4000 4000	-4000 1910	-4000 4000	0.83	
p4m.10.06	4000 0		-250 1612	-711 930	-3744 -1	58.30	
	4000 0		-706 923	-247 1612	-3801 0	58.17	
	4000 0		-245 1613	-3906 0	-691 -917	57.98	
	4000 0		-283 1602	-2530 0	-924 -1117	53.14	
p4m.02.06	794 2764		-638 -986	-289 -1662	-1251 -2114	1211.22	
	876 0		-253 1579	-150 491	-1063 -1586	35.37	
	809 -4		-215 1578	-200 517	-2204 -474	30.93	
	724 -7		-232 1569	-274 449	-2054 -878	27.96	
	730 -4		-274 433	-243 1568	-1619 -1309	26.78	
p4m.12.06	-1011 0	1112 2561	-792 592	-313 1693	-635 1340	1133.10	
	3491 0	374 2609	-1010 1268	-389 1627	-1128 1850	350.47	
	2544 0	398 2537	-365 1610	-890 1512	-2810 778	248.63	
p4m.04.06	72 2761	2565 2391	-664 1358	-363 -1713	-2170 1365	538.54	
	156 2697	3200 2219	-2360 973	-636 1456	-408 1705	438.28	
	508 169	257 2405	-1967 1011	-290 1633	-566 230	208.82	
	82 2759	2675 2397	-2190 -1293	-664 -1372	-365 -1711	675.37	
	255 550	238 2262	-292 1619	-4000 2020	-335 566	54.73	
p4m.14.06	-586 0	70 2516	1270 -1532	-318 1651	-1347 969	-1255 549	1441.23
	-596 0	98 2496	1280 1500	-324 -1643	-1472 -968	-1262 -536	1053.74
	4000 0	1602 3291	248 2685	-289 1653	-667 1018	-711 3008	838.03
	3710 0	-3972 212	878 2382	-251 1660	-562 991	-3065 728	468.58
	-659 0	152 2425	1265 1352	-335 1606	-1653 467	-1832 407	341.75

Tabla 25: Resultados a 40 nudos. Primeras pruebas

resultados Para el modelo olas - Fuerza heave

A partir de los datos precal

Resultados para la velocidad de 20 nudos

Velocidad-Modelo	Genes (ceros)	Genes (polos)	Func. Coste
f2m0012		-449 0 -335 940	143.00
		-452 0 -337 939	143.01

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

f2m1012	-2097 0	-358 0	-262 850	229.04
	-1781 0	-347 0	-257 835	224.89
f2m0212	126 1462	-714 0	-346 969	897.18
	125 1470	-693 0	-339 973	901.86
	471 1368	-784 0	-354 972	1126.04
	479 1374	-748 0	-344 983	1128.72
	128 1466	-700 0	-342 -974	901.52
f2m1212	-4000 0 165 1518	-600 0	-312 924	655.21
	-4000 0 163 1520	-602 0	-313 922	655.44
f2m0004		-659 670	-2028 0	76.84
f2m1004	117 0	-217 8	-324 -895	323.39
	148 0	-232 86	-336 -870	356.52
f2m0204	100 1440	-462 1122	-1176 -503	924.18
	100 1445	-419 1100	-1338 0	994.42
	99 -1445	-420 -1099	-1341 0	994.65
f2m1204	-4000 0 112 1432	-415 1121	-885 529	1019.71
	-3046 0 109 1452	-1058 234	-364 1049	1078.21
	-3489 0 109 1450	-369 -1057	-1079 -245	1087.38
f2m0404	441 1431 57 1567	-605 925	-829 1773	3966.94
	534 1380 19 -1554	-533 1056	-2114 1411	5410.59
	544 -1343 16 1556	-528 -1026	-2746 -1442	5883.85
f2m0014		-439 0	-1 4000 -345 936	116.00
		-441 0	-1 4000 -347 936	115.99
f2m1014	-2132 0	-347 0	-1 4000 -265 852	200.06
	-2040 0	-344 0	-1 4000 -263 848	200.38
f2m0214	103 1442	-900 0	-418 1060 -4000 2567	979.69
	101 1446	-826 0	-393 1041 -4000 3600	1020.75
f2m1214	-1842 0 103 1444	-2671 0	-412 1079 -1221 0	1027.31
	-3251 0 105 1447	-849 0	-385 1043 -3282 0	1065.34
f2m0414	113 1557 350 1580	-3978 0	-1138 1678 -602 1076	3192.25
	18 1555 530 1368	-3990 0	-531 1040 -4000 2292	5495.53
f2m1414	-1937 0 209 1735 141 1523	-692 0	-409 940 -222 1697	3034.98
	-2379 0 17 1557 551 1341	-3994 0	-520 1018 -2712 335	6013.44

Tabla 26: Modelos olas fuerza heave a 20 nudos

Resultados para la velocidad de 30 nudos

Velocidad-Modelo	Genes (ceros)	Genes (polos)	Func. Coste
f3m1012	-4000 0	-496 0 -232 1100	15.6
f3m0212	163 -1825	-901 0 -450 -1115	1023.32
	158 -1779	-897 0 -446 -1119	998.79
	158 -1782	-875 0 -438 -1125	1022.22
	161 -1778	-871 0 -436 -1129	1023.91
	156 -1775	-912 0 -450 -1114	1014.50
	158 1778	-878 0 -438 -1125	1025.51
f3m0204	123 -1751	-543 -1303 -1481 -439	2126.01
	131 -1744	-583 -1270 -1558 -520	2129.73
	128 -1747	-566 -1286 -1523 -482	2118.81

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

	93 -1760	-959 -786 -611 -1461	2052.28
	129 -1743	-1207 -768 -633 -1353	2064.79
	133 -1737	-1870 -304 -602 -1194	1790.44
f3m1212	-4000 0 246 -1869	-771 0 -412 -1053	1671.37
	-4000 0 223 -1865	-730 0 -395 -1061	587.77
	-4000 0 221 -1865	-732 0 -395 -1059	588.49
	-4000 0 213 -1864	-753 0 -403 -1049	586.88
f3m.1204	-4000 0 126 -1792	-596 -1222 -1072 -741	2132.69
	-4000 0 140 -1734	-849 -647 -493 -1397	2134.57
	-4000 0 138 -1741	-975 -621 -503 -1325	2115.89
	-4000 0 139 1742	-497 1327 -975 614	2111.36
	-4000 0 145 -1725	-535 -1381 -876 -678	2090.77
	-4000 0 144 -1751	-491 -1238 -1247 -439	1784.56
	-4000 0 140 1734	-862 -648 -498 -1389	2147.01
f3m0404	747 -1967 111 -1863	-656 -1242 -2667 -1007	11067.2
	763 -1910 96 -1861	-664 -1221 -2980 -905	11067.0
	751 -1869 93 -1867	-692 -1185 -2585 -1677	11023.4
	766 -2098 124 -1835	-658 -1251 -2496 -943	8022.87
	746 1868 91 1868	-697 -1186 -2440 -1728	11212.2
f3m0414	694 1827 81 1880	-3968 0 -2400 3578 -696 1149	10661.6
f3m1414	-1384 0 121 1848 692 2025	-4000 0 -1116 764 -730 1403	10068.5
f3m0406	173 -1868 411 -2036	-727 -1160 -3983 -1505 -946 -2859	13893.6

Tabla 27: Modelos olas fuerza heave a 30 nudos

Resultados para la velocidad de 40 nudos

Velocidad-Modelo	Genes (ceros)	Genes(polos)	Func. Coste
f4m0212	198 2078	-1112 0 -546 1268	1010.26
	196 -2042	-1104 0 -547 -1269	1014.86
	721 1634	-928 0 -309 1391	98.91
f2m1212	-4000 0 263 -2154	-890 0 -482 -1179	504.55
f4m0214	159 -2027	-2345 0 -4000 0 -798 -1408	3133.97
f4m1204	-4000 0 184 1994	-825 -757 -582 -1719	4001.63
	-4000 0 184 -1997	-863 -759 -597 -1686	4198.61
	-4000 0 184 1997	-861 -758 -595 -1688	4192.55
f4m0204	716 1996	-306 1566 -952 789	594.02
	166 -2024	-756 -1506 -1534 -863	3765.34
	166 2024	-773 -1526 -1463 -898	3827.15
f4m0404	964 -2597 182 2117	-850 -1322 -2498 -1927	11533.1
	-2680 192 -2111 -937	-1299 -1584 -1979	15379.1
f4m0414	191 -2056 348 3284	-4000 0 -1061 -1533 -1309 -1731	8263.81
f4m1214	-3276 0 162 -2029	-1376 0 -794 -1323 -1485 -2117	3448.26
f4m1414	-1704 0 179 2130 979 2470	-3015 0 -866 -1310 -2750 -495	11618.8

Tabla 28 Modelos olas fuerza heave a 40 nudos

A partir de los datos experimentales del año 1998
Resultados para la velocidad de 20 nudos

Velocidad-Modelo	Genes (ceros)	Genes(polos)	Func. Coste
f2m0204	179 584	-312 1261 -58 159	8928.85

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

f2m0404	129 576	516 1981	-228 1	-502 1410	8595.87
f2m1204	-4000 0	145 522	-106 -111	-298 1174	5916.63
f2m1212	1143 0	3999 1842	-39 0	-259 1363	2500.24
f2m1012	616 0		-27 0	-225 1300	2491.45

Tabla 29 Modelos olas fuerza heave a 20 nudos

Resultados para la velocidad de 30 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>		<i>Genes(polos)</i>		<i>Func. Coste</i>
f3m0404	1120 2688	220 576	-167 120	-238 1489	4339.31
f3m0204	200 695		-206 -1423	-1 224	1585.69
f3m1212	1481 0	3836 11	-62 0	-196 1505	1177.07
f3m1012	658 0		-43 0	-186 1426	874.08
f3m1204	857 0	-1938 1	-204 0	-151 1432	454.37

Tabla 30 Modelos olas fuerza heave a 30 nudos

Resultados para la velocidad de 40 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>		<i>Genes(polos)</i>		<i>Func. Coste</i>
f4m0404	129 680	359 2336	-237 230	-260 1561	1782.82
f4m1212	3654 0	2450 104	-87 0	-199 1572	591.52
f4m0204	186 572		-148 140	-206 1472	503.66
f4m1012	692 0		-56 0	-183 1496	431.18
f4m1204	-4000 0	114 510	-168 44	-200 1408	20.23

Tabla 31 Modelos olas fuerza heave a 40 nudos

resultados Para el modelo olas – Momentos Pitch
A partir de los datos precal

Resultados para la velocidad de 20 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>	<i>Genes(polos)</i>	<i>Func. Coste</i>
m2m0004		-305 857 -427 1352	24.10
m2m0014		-4000 0 -274 944 -756 1519	19.29
m2m0204	-33 1977	-227 809 -194 1411	51.91
m2m0212	852 1615	-4000 0 -210 968	19.01
m2m0214	-463 1827	-4000 0 -188 1350 -229 -796	43.89
m2m0414	-1034 0 404 1593	-3022 0 -228 660 -285 -1273	187.693
m2m1012	-4000 0	-1106 0 -162 886	11.48
m2m1014	227 0	-426 0 -289 574 -270 -1266	113.99
m2m1204	-374 0 359 1557	-369 1254 -311 604	211.62
m2m1214	-319 0 292 1625	-1357 0 -496 1414 -402 -699	156.57

Tabla 32 Modelos olas Momentos - pitch a 20 nudos

Resultados para la velocidad de 30 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>	<i>Genes(polos)</i>	<i>Func. Coste</i>
m3m0004		-375 1065 -772 1628	17.33
m3m0014		-4000 0 -283 1120 -3712 1719	15.34
m3m0204	-154 2258	-283 936 -231 1684	42.25
m3m0212	872 2134	-4000 0 -266 1132	17.88
m3m0214	-74 2163	-4000 0 -293 1014 -215 1816	32.50
m3m0414	-802 151 386 1919	-1807 0 -304 698 -419 1477	168.28
m3m1012	-4000 0	-1328 0 -216 1036	11.98
m3m1014	332 0	-1072 0 -269 556 -347 1470	93.08
m3m1204	-513 0 368 1931	-344 716 -438 1538	167.03
m3m1214	156 0 406 2020	-493 0 -1017 659 -720 1451	292.80

Tabla 33 Modelos olas momentos - pitch a 30 nudos

Resultados para la velocidad de 40 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>	<i>Genes(polos)</i>	<i>Func. Coste</i>
m4m0012		-2055 0 -310 1231	13.90
m4m0014		-3888 0 -354 1238 -4000 4000	13.14
m4m0204	126 2469	-295 2172 -351 1131	38.18
m4m0212	749 2596	-4000 0 -323 1293	17.83
m4m0214	110 2465	-4000 0 -366 1227 -261 2380	27.44
m4m0414	358 2272 -1169 4	-2365 0 -344 841 -467 1786	143.03
m4m1004	-1593 0	-479 924 -499 1597	18.57
m4m1012	-4000 0	-1514 0 -274 1183	12.56
m4m1014	441 0	-1978 0 -415 1651 -242 599	64.55
m4m1204	-726 0 342 2280	-379 845 -492 1832	143.97
m4m1214	192 0 336 2383	-1195 0 -686 427 -651 1896	536.43

Tabla 34 Modelos olas momentos - pitch a 40 nudos

A partir de los datos experimentales del año 1998
Resultados para la velocidad de 20 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>		<i>Genes(polos)</i>				<i>Func. Coste</i>
m2m1214	-684 0	776 872	-65 0	-276 -1114	-366 -1442		924.85
m2m0414		41 1867 345 944	-266 0	-209 -1267 0	-2068		363.01
m2m0212		432 -930	-178 0	-171 -1242			245.68
m2m1204	-252 0	405 958		-223 0 -174 -1237			245.46
m2m0204		317 -1138		-239 -1352 -751 1			93.462

Tabla 35 Modelos olas Momentos - pitch a 20 nudos

Resultados para la velocidad de 30 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>		<i>Genes(polos)</i>				<i>Func. Coste</i>
m3m1214	-820 0	1017 1039	-78 0	-266 1168	-297 1721		659.03
m3m0414		141 2220 360 1059	-474 0	-298 1475	-1 3975		182.40
m3m1204	-2106 0	439 1202		-216 1478	-620 1		80.21
m3m0212		516 1068	-217 0	-201 1411			78.28
m3m0204		402 1310		-279 1558	-842 1		69.62

Tabla 36 Modelos olas Momentos - pitch a 30 nudos

Resultados para la velocidad de 40 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>		<i>Genes(polos)</i>				<i>Func. Coste</i>
m4m1214	-980 0	1290 988	-92 0	-336 1838	-334 -1241		281.45
m4m0414		4771118 173 2466	-400 0	-1 4000	-321 -1583		135.71
m4m1204	-4000 0	564 1335	-674 0	-236 1618			65.02
m4m0204		544 1413		-283 1675	-806 1		62.02
m4m0212		830 1021	-159 0	-200 1493			52.66

Tabla 37 Modelos olas Momentos - pitch a 40 nudos

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

CAPÍTULO

CUARTO

. RESUMEN DE LOS RESULTADOS Y PRESENTACIÓN DE LOS MEJORES MODELOS CON SUS CARACTERÍSTICAS

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

A continuación exponemos los mejores resultados obtenidos para los distintos modelos y velocidades ordenados por su función de coste J.

También se presentan una mejora hecha a los mejores modelos introduciéndolos como semilla en un nuevo Algoritmo Genético.

Los mejores modelos ordenados por su J Resultados para el modelo olas - heave

Resultados para la velocidad de 20 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>			<i>Genes(polos)</i>			<i>Func. Coste</i>
h2m.04.06	537 1216	-71 1828		-3098 616	-462 1027	-3073 3543	4353.68
h2m.04.14	547 1174	-24 1844		-2330 0	-459 997	-3679 3052	4232.52
h2m.14.06	-2525 0	-84 1857	556 1221	-1982 676	-448 1047	-4000 1290	4087.59
h2m.12.06	133 0	628 1783		-340 1067	-254 81	-3837 1531	3465.49
h2m.12.04	-2880 0	446 1492		-374 1032	-1001 405		1830.28
h2m.02.12	495 1462			-695 0	-323 978		1416.29
h2m.02.14	416 1573			-735 0	-334 1012	-4000 4000	1253.92
h2m.12.14	-3337 0	488 1501		-787 0	-362 1004	-4000 1	1234.54
h2m.02.04	396 1542			-407 1028	-1430 1		1216.66
h2m.02.04	438 1491			-1399 49	-419 1054		882.66
h2m.02.06	316 1612			-1571 1	-435 1055	-4000 4000	845.75
h2m.10.04	-3199 0			-252 999	-706 147		340.62
h2m.10.14	-1475 0			-531 0	-294 986	-1383 615	293.95
h2m.00.04				-297 1044	-840 1		280.37
h2m.00.12				-394 0	-227 886		270.88
h2m.10.06	-2131 0			-283 1003	-746 126	-4000 4000	247.07
h2m.00.14				-521 0	-295 972	-4000 98	238.57
h2m.10.12	-4000 0			-363 0	-210 840		194.22
h2m.00.06				-1 4000	-315 1048	-767 235	163.08

Tabla 38 Resultados a 20 nudos. Los mejores modelos por su J

Resultados para la velocidad de 30 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>			<i>Genes(polos)</i>			<i>Func. Coste</i>
h3m.14.06	-3256 0	682 1405	-28 2081	-3820 1282	-490 1489	-1026 1252	2354.14
h3m.04.06	-70 2065	660 1478		-996 2023	-2844 785	-495 1416	2073.53
h3m.04.14	44 2280	728 1539		-2400 0	-438 1405	-1653 1515	1396.62
h3m.02.14	532 1915			-1806 0	-433 1383	-1446 107	1368.5
h3m.12.04	-4000 0	562 1582		-766 691	-357 1413		775.26
h3m.12.14	-1358 0	564 1697		-787 0	-470 1380	-860 1201	773.95
h3m.12.06	-4000 0	541 1672		-409 1376	-1118 696	-4000 3825	699.19
h3m.02.04	576 1720			-373 1383	-1015 688		600.48
h3m.02.06	412 2074			-2282 0	-413 1411	-1820 1200	351.60
h3m.02.12	596 1493			-862 0	-335 1211		210.75
h3m.10.14	-3416 0			-744 0	-320 1352	-843 944	151.07
h3m.00.14				-876 0	-318 1286	-1934 496	127.41
h3m.00.04				-262 1301	-643 488		121.45
h3m.00.06				-1198 0	-342 1320	-4000 1423	100.40
h3m.10.04	-5000 0			-543 484	-239 1269		97.72
h3m.00.12				-484 0	-243 1037		42.49
h3m.10.12	-4000 0			-440 0	-229 977		24.26
h3m.10.06	-782 0			-936 1017	-822 0	-368 1429	0.95

Tabla 39 Resultados a 30 nudos. Los mejores modelos por su J

Resultados para la velocidad de 40 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>	<i>Genes(polos)</i>	<i>Func. Coste</i>
h4m.04.14	-62 2322 863 1665	-2395 0 -1064 1586 -387 1652	1763.13
h4m.04.06	853 1752 -104 2352	-361 1625 -1447 1581 -2807 2011	1580.02
h4m.12.06	-2532 0 407 1425	-4000 4000 -479 1011 -1220 569	747.61
h4m.12.14	-2977 0 580 2515	-773 0 -280 1664 -598 1188	715.38
h4m.02.04	705 2007	-895 798 -300 1579	600.12
h4m.12.04	-4000 0 710 1815	-762 749 -284 1566	589.63
h4m.02.06	465 2329	-325 1594 -1336 1020 -3545 3	506.55
h4m.02.14	321 2581	-1308 0 -269 1632 -861 1110	448.53
h4m.00.14		-1480 0 -283 1512 -1269 690	120.07
h4m.02.12	721 1634	-928 0 -309 1391	98.90
h4m.10.04	-4000 0	-209 1433 -496 572	71.07
h4m.00.12		-555 0 -246 1175	22.38
h4m.10.12	-4000 0	-496 0 -232 1100	15.68

Tabla 40 Resultados a 40 nudos. Los mejores modelos por su J

Resultados para el modelo olas - pitch

Resultados para la velocidad de 20 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>	<i>Genes(polos)</i>	<i>Func. Coste</i>
p2m.12.06	-1125 0 766 1996	-626 -1146 -281 -1381 -355 -713	939.86
p2m.14.06	-1066 0 272 -2042 2296	-1794 -378 -757 -334 -1409 -683 -1296	729.34
p2m.04.06	253 2291 1312 4000	-275 -1310 -311 -752 -402 -1724	678.67
p2m.02.06	193 2663	-286 1474 -376 798 -503 1195	419.96
p2m.10.06	-3058	-235-1405 -452 742 -448 983	267.68
p2m.04.14	320 2097 3204 228	-4000 0 -237 -1390 -309 -846	264.15
p2m.02.14	1092 1944	-2626 0 -225 1345 -297 -806	213.28
p2m.12.04	1231 0 358 1732	-342 860 -292 1380	203.31
p2m.12.14	-3999 0 1228 1884	-1439 0 -283 -817 -210 1352	181.52
p2m.00.06		-206 1356 -292 829 -1775 508	168.83
p2m.02.04	976 1566	-283 757 -214 1309	145.25
p2m.10.04	-833 0	-158 1338 -233 824	58.59
p2m.00.14		-930 0 -158 1328 -239 804	58.07
p2m.10.14	-4000 0	-752 0 -211 788 -137 1301	25.43
p2m.02.12	951 869	-829 0 -198 1051	9.51
p2m.00.04		-138-1180 -207 -633	9.29
p2m.00.12		-565 0 -119 846	1.95
p2m.10.12	-4000 0	-514 0 -113 -811	1.73

Tabla 41 Resultados a 20 nudos. Los mejores modelos por su J

Resultados para la velocidad de 30 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>	<i>Genes(polos)</i>	<i>Func Coste</i>
p3m.14.06	-1036 0 247 2429 1755 1929	-638 1668 -387 1522 -487 732	1212.91
p3m.12.06	-3876 0 722 2888	-451 -1367 -480 -774 -314 -1689	1009.79
p3m.02.06	472 2772	-436 -1674 -454 -1537 -486 -849	744.49

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

p3m.04.06	316 2568 3571 2888	-448 939 -279 1578 -1370 2286	516.36
p3m.10.06	-3877 0	-443 1214 -559 704 -255 1629	375.87
p3m.04.14	331 2281 2971 726	-3616 0 -306 -1607 -468 -1024	370.99
p3m.02.14	1228 2246	-2276 0 -241 1550 -406 923	256.88
p3m.00.06		-424 1053 -254 1598 -1306 682	220.83
p3m.12.14	-4000 0 1302 2014	-1560 0 -233 -1543 -391 -924	197.84
p3m.02.04	1057-1741	-376 839 -232 1502	114.52
p3m.12.04	-4000 0 992 1544	-224 1467 -355 796	66.12
p3m.00.14		-859 0 -304 949 -174 1534	49.18
p3m.10.14	-4000 0	-700 0 -148 1497 -260 920	19.48
p3m.02.12	1110 1020	-754 0 -230 1245	9.61
p3m.00.04		-156 1356 -256 690	7.97
p3m.10.04	-4000 0	-222 651 -147 1306	5.22
p3m.00.12		-555 0 -143 1019	1.77
p3m.10.12	-4000 0	-540 0 -143 947	1.52

Tabla 42 Resultados a 30 nudos. Los mejores modelos por su J

Para 40 nudos

Velocidad-Modelo	Genes (ceros)	Genes (polos)	FuncCoste
p4m.12.06	-1003 0 1088 2628	-754 -600 -300 -1703 -620 -1328	1844.53
p4m.14.06	-586 0 70 2516 1270 -1532	-318 1651 -1347 969 -1255 549	1441.23
p4m.02.06	794 2764	-638 -986 -289 -1662 -1251 -2114	1211.22
p4m.12.14	3085 0 673 2494	-3828 0 -281 1669 -633 1067	979.89
p4m.04.06	82 2759 2675 2397	-2190 -1293 -664 -1372 -365 -1711	675.37
p4m.12.04	2116 0 598 2224	-282 1653 -627 1015	455.65
p4m.04.14	364 2588 3445 1193	-1885 0 -378 1658 -707 1417	357.75
p4m.02.04	1101 1908	-235 1629 -510 911	352.64
p4m.10.06	4000 0	-250 1612 -711 930 -3744 1	58.30
p4m.02.14	-70 2191	-4000 0 -202 1673 -1 4000	2.21
p4m.00.12		-4000 0 -860 -1731	0.91
p4m.00.06		-4000 1907 -4000 4000 -4000 4000	0.83

Tabla 43 Resultados a 40 nudos. Los mejores modelos por su J

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

Los mejores modelos después de ser tratados con algoritmos de mejoras con semillas

Los modelos olas - Heave

Velocidad de 20 nudos

Velocidad-Modelo	Genes (ceros)			Genes (polos)				Func. Coste
h2m.04.06	-73	-1798	534 -1191	-462	1027	-3246	1234 -3955 2914	4777.63
h2m.14.06	-1956	0	-90 -1812 542 -1190	-454	1039	-3884	1361 -1782 763	4776.09
h2m.04.14	-48	-1814	539 -1168	-2289	0	-458	1005 -2638 2931	4617.72
h2m.12.06	133	0	664 -1696	-346	1060	-254	78 -3996 2337	3783.41
h2m.12.04	-2025	0	460 -1398	-382	1034	-937	402	1249.75
h2m.12.14	-2656	0	460 -1417	-794	0	-365	997 -4000 432	1152.31
h2m.02.12			478 1374	-754	0	-346	981	1134.50
h2m.02.14			439 -1451	-872	0	-390	1010 -4000 4000	1021.14
h2m.02.04			434 1480	-1433	0	-424	1047	893.49

Tabla 44 Los mejores modelos olas - heave ordenados por su J

Velocidad de 30 nudos

Velocidad-Modelo	Genes (ceros)			Genes (polos)				Func. Coste
h3m.14.06	-2342	0	-27 2030 672 1372	-494	1519	-3419	484 -987 1252	2775.12
h3m.04.06	-35	2018	660 1432	-526	1418	-964	2009 -3022 1238	2138.01
h3m.04.14	-11	2023	687 1387	-1994	0	-514	1376 -903 2006	2045.53
h3m.12.14	-1386	0	576 1760	-756	0	-466	1382 -808 1194	637.78
h3m.12.04	-4000	0	580 1614	-346	1389	-792	-667	632.70
h3m.02.04			574 1707	-380	1381	-1033	694	604.14
h3m.12.06	-3465	0	553 1704	-390	1368	-1046	660 -4000 4000	567.63
h3m.02.14			542 1788	-1848	0	-411	1360 -2027 767	536.77
h3m.02.12			599 1496	-860	0	-335	1210	210.77

Tabla 45 Los mejores modelos olas - heave ordenados por su J

Velocidad de 40 nudos

Velocidad-Modelo	Genes (ceros)			Genes (polos)				Func. Coste
h4m.04.14	-62	2320	864 1660	-2690	0	-378	1660 -1075 1504	1855.19
h4m.04.06	-104	2330	847 1743	-365	1638	-1352	1577 -2799 2034	1677.25
h4m.14.06	-1447	0	-30 2315 881 1650	-379	1626	-1289	1748 -1697 379	1633.23
h4m.12.14	-2522	0	619 2410	-750	0	-284	1672 -589 1187	845.04
h4m.12.06	-1840	0	235 2500	-1208	0	-298	1698 -643 1326	602.85
h4m.02.04			709 2013	-299	1575	-902	794	602.73
h4m.12.04	-4000	0	714 1821	-283	1565	-760	748	591.28
h4m.02.14			437 2394	-910	0	-463	1626 -600 1548	522.40
h4m.02.12			723 1635	-927	0	-309	1391	98.90

Tabla 46 Los mejores modelos olas - heave ordenados por su J

Los modelos olas - pitch

Velocidad de 20 nudos

Velocidad-	Genes (ceros)			Genes (polos)				Func.
------------	---------------	--	--	---------------	--	--	--	-------

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

<i>Modelo</i>			<i>Coste</i>
p2m1206	-1144 0 760 2006	-613 -1146 -280 -1384 -355 -712	979.01
p2m1406	-1005 0 256 -2149 1725 1932	-367 -733 -323 -1402 -651 -1290	1084.79
p2m0406	240 -2318 1192 -4000	-282 -1309 -313 -752 -396 -1693	719.01
p2m0206	61 -2607	-354 -764 -272 -1465 -467 -1222	666.27
p2m0414	322 2101 3238 -89	-4000 0 -235 -1389 -309 -844	266.25
p2m0214	1087 1986	-2443 0 -219 -1349 -293 -806	218.75
p2m0204	977 1567	-283 757 -214 -1309	145.27
p2m1204	-4000 0 913 1387	-207 1282 -273 -728	94.93

Tabla 47 Los mejores modelos olas - Pitch ordenados por su J

Velocidad de 30 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>	<i>Genes (polos)</i>	<i>Func. Coste</i>
p3m1406	-1048 0 232 -2446 1715 -1936	-612 -1664 -393 -1523 -482 -731	1255.06
p3m1206	-3877 0 737 -2966	-454 1369 -480 -770 -314 -1678	1224.66
p3m0206	411 2872	-437 1654 -435 1541 -480 833	975.52
p3m0406	315 -2533 3807 2792	-451 939 -281 -1579 -1322 -2284	526.37
p3m0414	329 2308 2971 -848	-3571 0 -297 -1604 -463 -1014	395.23
p3m0214	1226 2253	-2214 0 -241 -1553 -405 -926	259.90
p3m1214	-4000 0 1302 -1986	-1642 0 -245 -1541 -398 924	195.19

Tabla 48 Los mejores modelos olas – pitch ordenados por su J

Velocidad de 40 nudos

<i>Velocidad-Modelo</i>	<i>Genes (ceros)</i>	<i>Genes (polos)</i>	<i>Func. Coste</i>
p4m1206	-1005 0 1088 2644	-299 1704 -749 600 -616 1328	1910.33
p4m1406	-586 0 70 2521 1270 1536	-318 1651 -1343 969 -1253 550	1463.55
p4m0206	782 2800	-642 -990 -291 -1665 -1235 -2061	1298.37
p4m0406	-164 -3027 2425 -3154	-338 -1721 -1271 -1275 -707 -1359	1194.21
p4m1204	2221 0 624 -2240	-276 -1655 -611 -1004	485.10
p4m0414	353 2620 3348 1390	-1846 0 -372 -1672 -684 -1393	407.14
p4m0214	1157 2333	-3073 0 -245 -1662 -550 -1000	398.21
p4m1006	-4000 0	-232 -1714 -1078 -610 -490 -1205	365.28
p4m1214	-4000 0 1466 2324	-948 1 -266 -1694 -480 -1201	302.13
p4m0006		-294 -1660 -817 -1344 -1016 -914	198.97
p4m0204	1061 1926	-231 -1632 -492 -914	131.75

Tabla 49 Los mejores modelos olas – pitch ordenados por su J

Estudio de los mejores modelos
Modelos para el heave del barco

Velocidad de 20 nudos

1.1.1.1.1 MODELO H2M-04-06.

Valor de la función de coste **J = 4777.63**

CRIBAV
 CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

$$G(s) = \frac{(0.534 \pm 1.191i)(-0.073 \pm 1.798i)}{(-0.462 \pm 1.027i)(-3.246 \pm 1.234i)(-3.955 \pm 2.914i)} =$$

$$= \frac{66.9 s^4 - 61.68 s^3 + 320.19 s^2 - 214.73 s + 369.08}{s^6 + 15.33 s^5 + 102.12 s^4 + 351.22 s^3 + 634.96 s^2 + 588.57 s + 369.08}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
0.534 + 1.191i	-0.409	1.31
-0.073 + 1.798i	0.0406	1.80

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-3.246 + 1.234i	0.935	3.47
-0.462 + 1.027i	0.410	1.13
-3.955 + 2.914i	0.805	4.91

Tabla 50 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

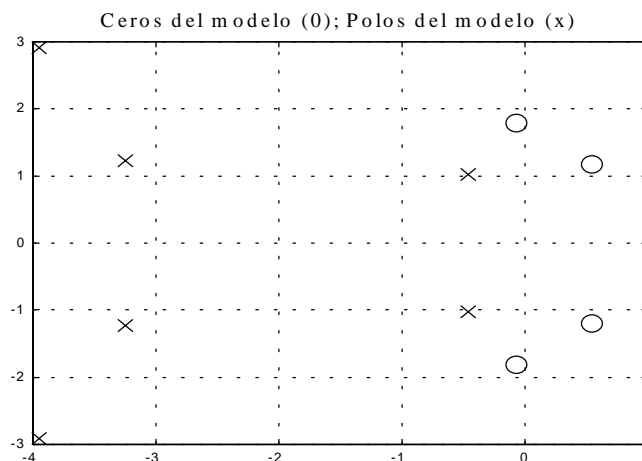


Figura 21: Ubicación de ceros y polos en el plano S

1.1.1.1.2 MODELO H2M-14-06.

Valor de la función de coste **J = 4776.09**
 Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.0399 y 0.0198

$$G(s) = \frac{(-1.956)(-0.09 \pm 1.812i)(-0.542 \pm 1.19i)}{(-0.454 \pm 1.039i)(-3.884 \pm 1.361i)(-1.782 \pm 0.763i)} =$$

$$= \frac{7.433 s^5 + 7.8198 s^4 - 22.582 s^3 + 45.6458 s^2 - 5.567 s + 81.8269}{s^6 + 12.24 s^5 + 59.96 s^4 + 148.05 s^3 + 207.16 s^2 + 172.93 s + 81.83}$$

Ceros	Factor	Frecuencia
-------	--------	------------

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

	de mortiguamiento	natural (rad/s)
-1.956	1.0	1.96
-0.09+1.812i	0.0496	1.81
0.542+1.190i	-0.0414	1.31

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
0.454+1.039i	0.40	1.13
-3.884+1.361i	0.944	4.12
-1.782+0.763i	0.919	1.94

Tabla 51 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

1.1.1.1.3 MODELO H2M-12-04.

Valor de la función de coste **J = 1249.75**

Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.0395 y 0.0116

$$G(s) = \frac{(-2.025).(0.460 \pm 1.398i)}{(-0.382 \pm 1.034i).(-0.937 \pm 0.402i)} =$$

$$= \frac{0.288 s^3 + 0.3182 s^2 - 0.0873 s + 1.2632}{s^4 + 2.638 s^3 + 3.6864 s^2 + 3.0713 s + 1.2632}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-2.025	1.0	2.02
0.460-1.398i	-0.313	1.47

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.382+1.034i	0.347	1.10
-0.937+0.402i	0.919	1.02

Tabla 52 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

1.1.1.1.4 MODELO H2M-04-14.

Valor de la función de coste **J = 4617.72**

Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.0391 y 0.0266

$$G(s) = \frac{(-0.048 \pm 1.814i) \cdot (0.539 \pm 1.168i)}{(-2.289) \cdot (-0.458 \pm 1.005i) \cdot (-2.638 \pm 2.931i)} =$$

$$= \frac{7.9679 s^4 - 7.8245 s^3 + 38.5979 s^2 - 27.0184 s + 43.4166}{s^5 + 8.481 s^4 + 35.7759 s^3 + 70.1271 s^2 + 66.3022 s + 43.4166}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.048 + 1.814i	-0.0265	1.81
0.539 + 1.168i	-0.419	1.29

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-2.289	1.0	2.29
-0.458 + 1.005i	0.415	1.10
-2.638 + 2.931i	0.669	3.94

Tabla 53 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

Velocidad de 30 nudos

1.1.1.1.5 MODELO H3M-04-06

Valor de la función de coste **J = 2073.53**

$$G(s) = \frac{(0.660 \pm 1.432i)(-0.035 \pm 2.018i)}{(-0.526 \pm 1.418i)(-3.022 \pm 1.238i)(-0.964 \pm 2.009i)} =$$

$$= \frac{1.96 s^4 - 14.95 s^3 + 77.35 s^2 - 62.23 s + 121.13}{s^6 + 9.02 s^5 + 37.96 s^4 + 97.51 s^3 + 168.57 s^2 + 171.39 s + 121.13}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
0.660 + 1.432i	-0.419	1.58
-0.035 + 2.018i	0.0173	2.02

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.526 + 1.418i	0.348	1.51
-3.022 + 1.238i	0.925	3.27
0.964 + 2.009i	0.433	2.23

Tabla 54 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

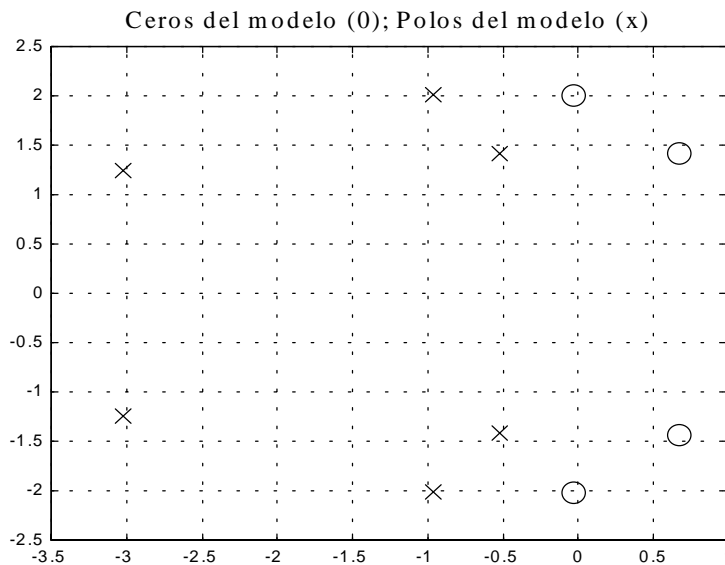


Figura 22 Ubicación de ceros y polos en el plano S

1.1.1.1.6 MODELO H3M-14-06.

Valor de la función de coste **J = 2775.12**

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.0097 y 0.0085

$$G(s) = \frac{(-2342)(-0.027 \pm 2.030i)(0.672 \pm 1.372i)}{(-0.494 \pm 1.519i)(-3.419 \pm 0.484i)(-0.987 \pm 1.252i)} =$$

$$= \frac{3.4321 s^5 + 3.6106 s^4 + 11.5382 s^3 + 32.7273 s^2 - 10.4972 s + 77.3238}{s^6 + 98s^5 + 39.22s^4 + 91.03 s^3 + 142.08 s^2 + 134.34 s + 77.32}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-2.342	1.0	2.34
-0.027+2.030i	0.0133	2.03
0.672+1.372i	-0.44	1.53

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.494+1.519i	0.309	1.60
-3.419+0.484i	0.990	3.45
-0.987+1.252i	0.619	1.59

Tabla 55 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

1.1.1.1.7 MODELO H3M-12-04

Valor de la función de coste **J = 632.70**

Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.0105 y 0.0048

$$G(s) = \frac{(-4.0)(0.580 \pm 1.614i)}{(-0.346 \pm 1.389i)(-0.792 \pm 0.667i)} =$$

$$= \frac{0.1867 s^3 + 0.5303 s^2 - 0.3172 s + 2.1969}{s^4 + 2.2760 s^3 + 4.2173 s^2 + 3.9876 s + 2.1969}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-4.0	1.0	4.0
0.580+1.614i	-0.338	1.72

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.346 + 1.389i	0.242	1.43
-0.792 + -0.667i	0.765	1.04

Tabla 56 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

1.1.1.1.8 MODELO H3M-04-14

Valor de la función de coste **J = 2045.53**

Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.0087 y 0.0094

$$G(s) = \frac{(-0.011 \pm 2.023i) \cdot (0.687 \pm 1.387i)}{(-1.994) \cdot (-0.514 \pm 1.376i) \cdot (-0.903 \pm 2.006i)} =$$

$$= \frac{2.1235 s^4 - 2.8709 s^3 + 13.7136 s^2 - 11.8289 s + 20.8203}{s^5 + 4.8280 s^4 + 14.5046 s^3 + 26.5256 s^2 + 28.1313 s + 20.8203}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.011 + 2.023i	0.00544	2.02
0.687 + 1.387i	-0.444	1.55

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-1.994	1.0	1.99
-0.514 + 1.376i	0.35	1.47
-0.903 + 2.006i	0.41	2.20

Tabla 57 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

Velocidad de 40 nudos

1.1.1.1.9 MODELO H4M-04-06.

Valor de la función de coste **J = 1580.02**

$$G(s) = \frac{(0.847 \pm 1.743i)(-0.1040 \pm 2.330i)}{(-0.365 \pm 1.638i)(-1.352 \pm 1.577i)(-2.799 \pm 2.034i)} =$$

$$= \frac{7.12 s^4 - 10.58 s^3 + 62.97 s^2 - 60.06 s + 145.48}{s^6 + 9.03 s^5 + 40.30 s^4 + 102.85 s^3 + 181.42 s^2 + 196.9 s + 145.48}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
0.847 + 1.743i	-0.437	1.94
-0.104 + 2.330i	0.0446	2.33

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.365 + 1.638i	0.217	1.68
-1.352 + 1.577i	0.651	2.08
-2.799 + 2.034i	0.809	3.46

Tabla 58 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

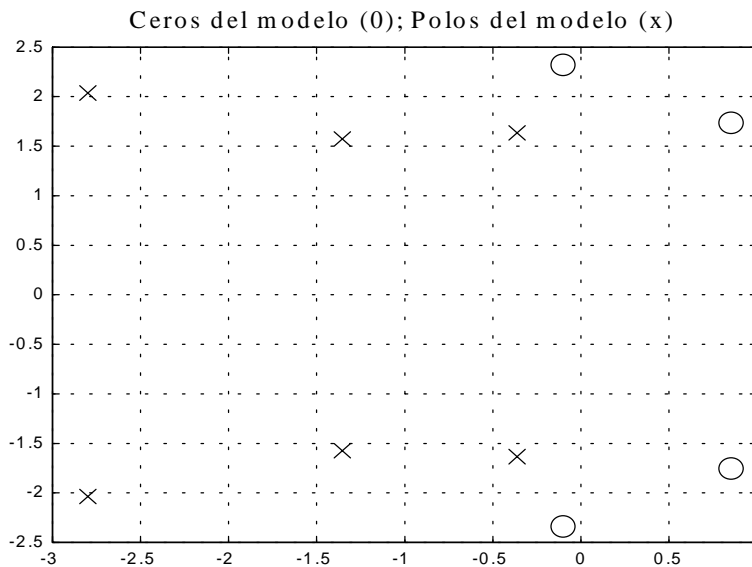


Figura 23 Ubicación de ceros y polos en el plano S

1.1.1.1.10 MODELO H4M-14-06.

Valor de la función de coste **J = 1633.23**

Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.0194 y 0.0058

CRIBAV
 CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

$$G(s) = \frac{(-1.447)(-0.030 \pm 2.315i)(0.881 \pm 1.650i)}{(-0.379 \pm 1.626i)(-1.289 \pm 1.748i)(-1.697 \pm 0.379i)} =$$

$$= \frac{1.465 s^5 - 0.3736 s^4 - 9.2154 s^3 + 5.0266 s^2 - 7.8976 s + 39.7547}{s^6 + 6.73 s^5 + 23.8045 s^4 + 52.9507 s^3 + 78.2719 s^2 + 77.1645 s + 39.7547}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-1.447	1.0	1.45
-0.030+2.315i	0.013	2.32
0.881+1.650i	-0.471	1.87

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.379+1.626i	0.227	1.67
-1.289+1.748i	0.593	2.17
-1.697+0.379i	0.976	1.74

Tabla 59 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

1.1.1.1.11 **MODELO H4M-12-04**

Valor de la función de coste **J = 591.28**
 Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.0203 y 0.0045

$$G(s) = \frac{(-4.0).(0.714 \pm 1.821i)}{(-0.283 \pm 1.565i).(-0.760 \pm 0.748i)} =$$

$$= \frac{0.1879 s^3 + 0.4834 s^2 - 0.3545 s + 2.8761}{s^4 + 2.0860 s^3 + 4.5267 s^2 + 4.4882 s + 2.8761}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-4.0	1.0	4.0
0.714+1.821i	-0.365	1.96

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.283+1.565i	0.178	1.59
-0.760+0.748i	0.713	1.07

Tabla 60 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

CRIBAV
 CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

1.1.1.1.12 **MODELO H4M-04-14**

Valor de la función de coste **J = 1855.19**
 Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.0195 y 0.0052

$$G(s) = \frac{(-0.062 \pm 2.320i)(0.864 \pm 1.660i)}{(-2.690) \cdot (-0.378 \pm 1.660i) \cdot (-1.075 \pm 1.504i)} =$$

$$= \frac{1.4127 s^4 - 2.2659 s^3 + 12.2534 s^2 - 12.5347 s + 26.6471}{s^5 + 5.596 s^4 + 15.7587 s^3 + 30.1782 s^2 + 33.6196 s + 26.6471}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.062 + 2.320i	0.0267	2.32
0.864 + 1.660i	-0.462	1.87

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-2.690	1	3.16
-0.378 + 1.660i	0.222	1.70
-1.075 + 1.504i	0.581	1.85

Tabla 61 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

Comparación de la posición de polos y ceros del heave a 20, 30 y 40 nudos

Modelo hxm-04-06

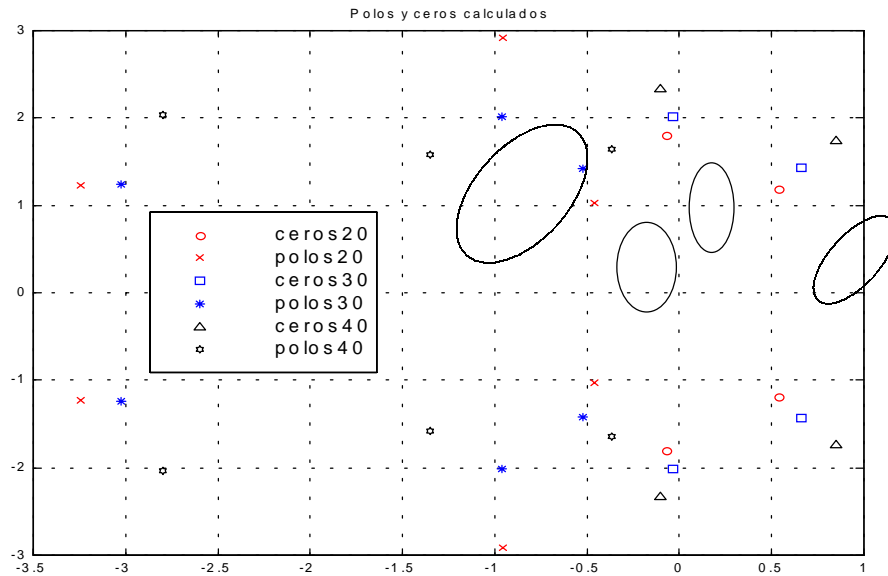


Figura 24 Polos y ceros del modelo hxm-04-06

Modelo hxm-14-06

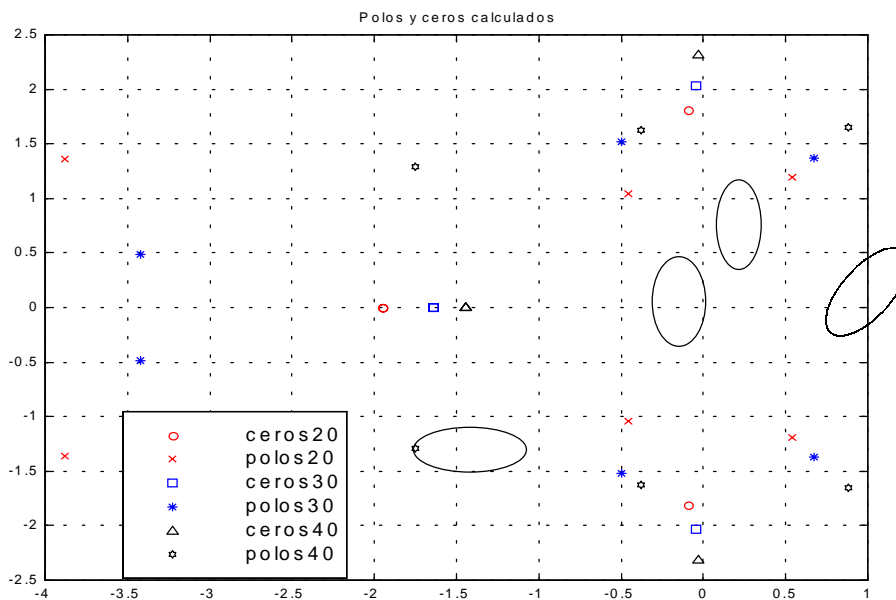


Figura 25 Polos y ceros del modelo hxm-14-06

Modelo hxm - 04-14

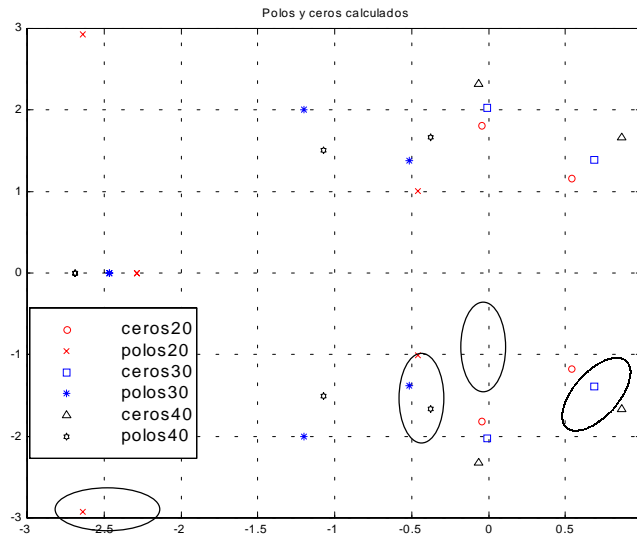


Figura 26 Polos y ceros del modelo *hxm-04-14*

Modelos para el pitch del barco Velocidad de 20 nudos

1.1.1.13 MODELO P2M-14-06

Valor de la función de coste **J = 1084.79**

$$G(s) = \frac{(0.0) \cdot (-1.005) \cdot (0.256 \pm 2.149i) \cdot (-1.725 \pm 1.932i)}{(-0.367 \pm 0.733i) \cdot (-0.323 \pm 1.402i) \cdot (-0.651 \pm 1.29i)} =$$

$$= \frac{0.092 s^6 - 0.272 s^5 + 0.844 s^4 - 0.5858 s^3 + 1.0787 s^2 - 2.9042s}{s^6 + 2.682s^5 + 7.1007 s^4 + 9.0221 s^3 + 10.6492 s^2 + 5.8896 s + 2.9042}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-1.005	1	1
0.2560 + 2.1490i	-0.118	2.16
1.7250 - 1.9320i	-0.666	2.59

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.3670 + 0.7330i	0.448	0.82
-0.3230 + 1.4020i	0.225	1.44
-0.6510 + 1.2900i	0.451	1.44

Tabla 62 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

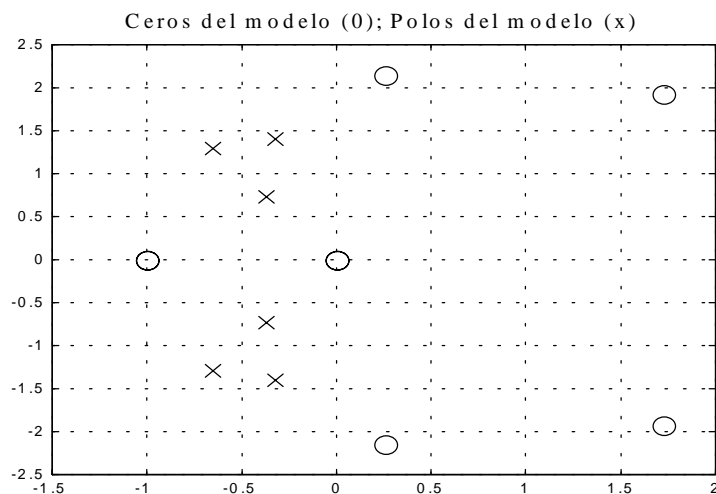


Figura 27 Ubicación de ceros y polos en el plano S

1.1.1.1.14 **MODELO P2M-04-06**

Valor de la función de coste **J = 719.01**
 Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.0318 y 0.2356

$$G(s) = \frac{(0.240 \pm 2.318i)(1.192 \pm 4.0i)}{(-0.282 \pm 1.309i)(-0.313 \pm 0.752i)(-0.396 \pm 1.693i)} =$$

$$= \frac{0.038 s^5 - 0.1089 s^4 + 0.9121 s^3 - 0.810 s^2 + 3.5963 s}{s^6 + 1.982 s^5 + 6.7751 s^4 + 7.3192 s^3 + 10.8684 s^2 + 5.4666 s + 3.5963}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
0.240 + 2.318i	-0.103	2.33
1.192 + 4.0 i	-0.286	4.17

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.282 + 1.309i	0.211	1.34
-0.313 + 0.752i	0.384	0.815
-0.396 + 1.693i	0.228	1.74

Tabla 63 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

Velocidad de 30 nudos

1.1.1.1.15 MODELO P3M-14-06

Valor de la función de coste **J = 1255.06**

$$G(s) = \frac{(0.0) \cdot (-1.048) \cdot (0.232 \pm 2.446i) \cdot (-1.715 \pm 1.936i)}{(-0.612 \pm 1.664i) \cdot (-0.393 \pm 1.523i) \cdot (-0.482 \pm 0.731i)} =$$

$$= \frac{0.1409 s^6 - 0.4010 s^5 + 1.4422 s^4 - 1.2405 s^3 + 2.1737 s^2 - 5.9624 s}{s^6 + 2.974 s^5 + 9.2838 s^4 + 13.3826 s^3 + 18.1221 s^2 + 11.7128 s + 5.9624}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-1.0480	1	1.05
0.2320 + 2.4460i	-0.0944	2.46
1.7150 + 1.9360i	-0.663	2.59

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.6120 + 1.6640i	0.345	1.77
-0.3930 + 1.5230i	0.25	1.57
-0.4820 + 0.7310i	0.55	0.876

Tabla 64 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

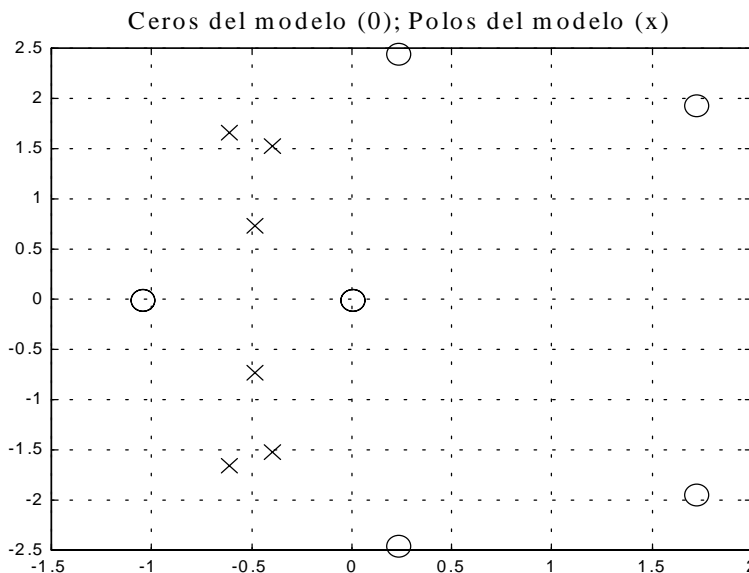


Figura 28: Ubicación de ceros y polos en el plano S

1.1.1.1.16 MODELO P3M-04-06

Valor de la función de coste **J = 526.37**

Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.9424 y 0.1128

CRIBAV
 CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

$$G(s) = \frac{(-0.315 \pm 2.533i)(3.807 \pm 2.792i)}{(-0.451 \pm 0.939i)(-0.281 \pm 1.579i)(-1.322 \pm 2.284i)} =$$

$$= \frac{01339 s^5 - 1.1035 s^4 + 4.4977 s^3 - 8.52 s^2 + 19.4385 s}{s^6 + 4.108 s^5 + 14.9994 s^4 + 24.136 s^3 + 39.5392 s^2 + 27.7851 s + 19.4385}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.315 + 2.533i	-0.123	2.55
3.807 + 2.792i	-0.806	4.72

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.451 + 0.939i	0.433	1.04
-0.281 + 1.579i	0.175	1.60
-1.322 + 2.284i	0.501	2.64

Tabla 65 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

Velocidad de 40 nudos

1.1.1.1.17 MODELO P4M-14-06

Valor de la función de coste **J = 1463.55**

$$G(s) = \frac{(0.0) \cdot (-0.586) \cdot (0.07 \pm 2.521i) \cdot (-1.27 \pm 1.536i)}{(-0.318 \pm 1.651i) \cdot (-1.343 \pm 0.969i) \cdot (-1.253 \pm 0.55i)} =$$

$$= \frac{0.9806 s^6 - 2.0534 s^5 + 8.9408 s^4 - 10.2455 s^3 + 15.1716 s^2 - 14.5178s}{s^6 + 5.828s^5 + 17.4753 s^4 + 33.7961 s^3 + 44.7805 s^2 + 36.9138 s + 14.5178}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.5860	1	-0.586
0.0700 + 2.5210i	-0.0278	2.52
1.2700 + 1.5360i	-0.637	1.99

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.3180 + 1.6510i	0.189	1.68
-1.3430 + 0.9690i	0.811	1.66
-1.2530 + 0.5500i	0.916	1.37

Tabla 66 Valor y propiedades de los ceros y polos del modelo

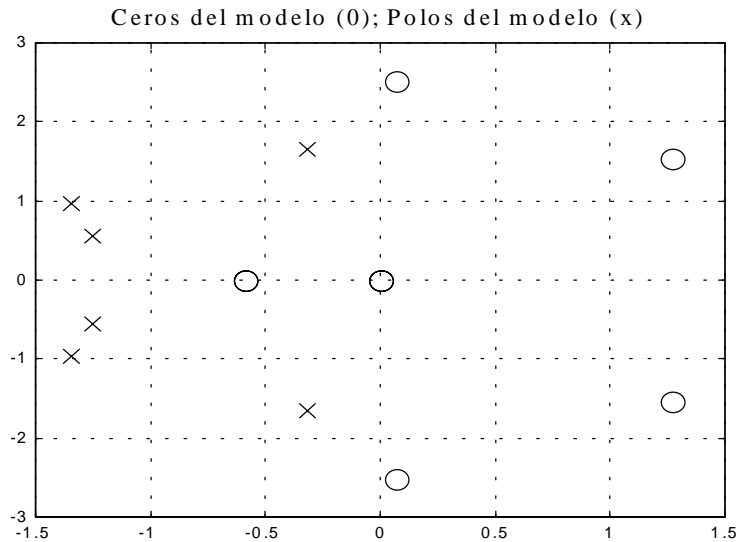


Figura 29: Ubicación de ceros y polos en el plano S

Comparación de la posición de polos y ceros del pitch a 20, 30 y 40 nudos

Modelo pxm-14-06

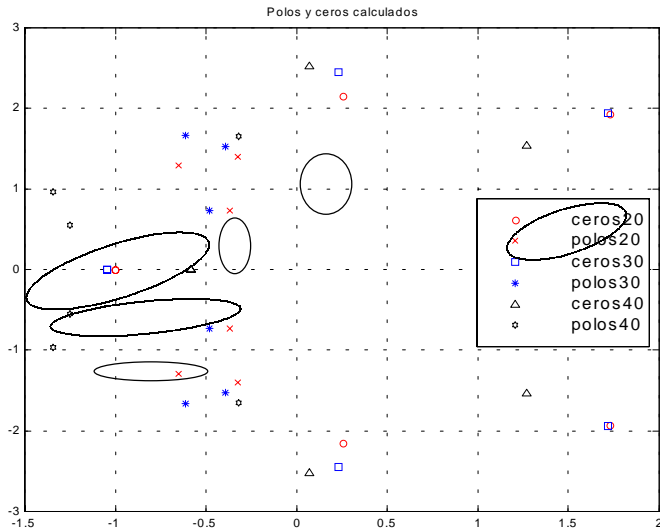


Figura 30 Polos y ceros del modelo pxm.14.06

Modelo pxm-04-06

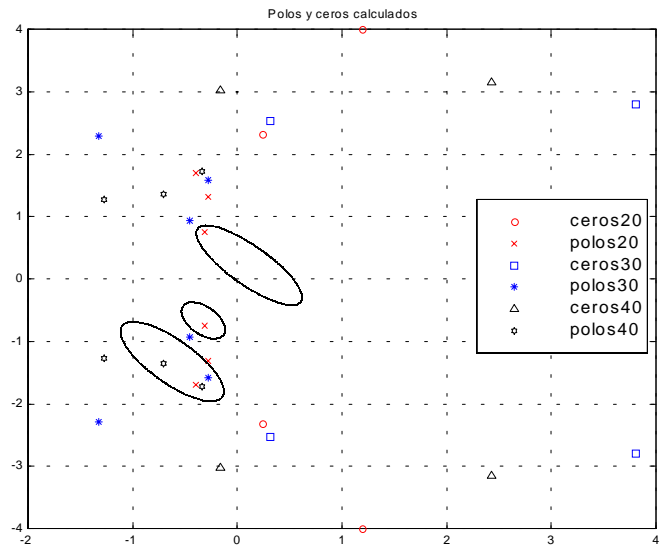


Figura 31 Polos y ceros del modelo pxm.04.06

Modelo pxm-12-06

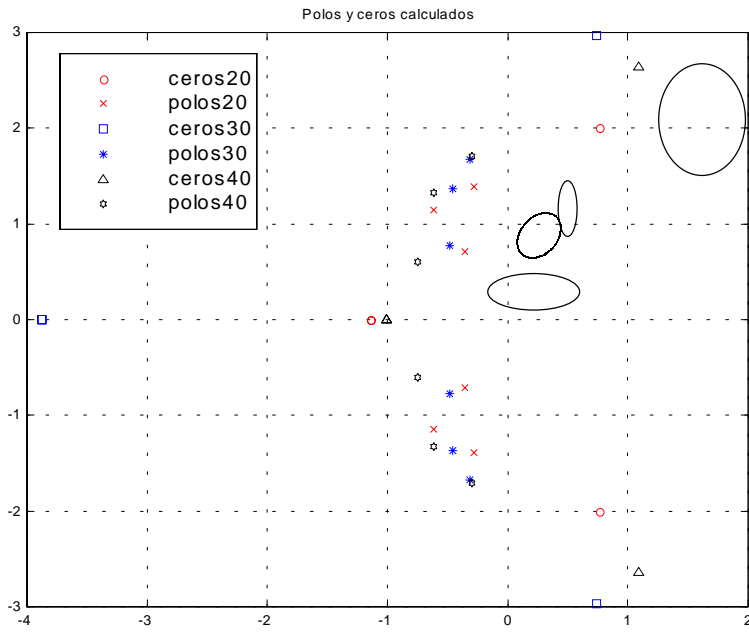


Figura 32 Polos y ceros del modelo pxm.12.06

CRIBAV

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

CAPÍTULO QUINTO

. VALIDACIÓN

Sólo se va a hacer la validación con los modelos de máxima J aunque los resultados de la misma son análogos para los otros casos de J equivalentes.

Validación de los modelos olas - Heave
Validación del modelo h2m-04-06 (20 nudos)

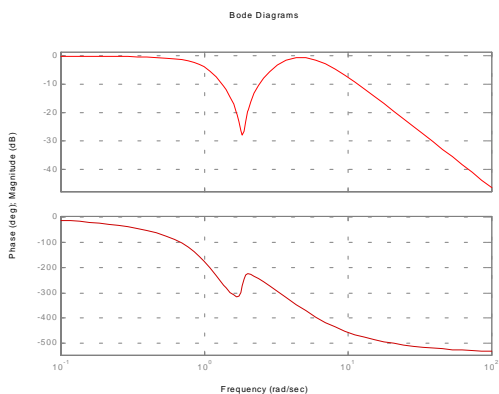


Figura 33. Bode del modelo en un rango general de frecuencias

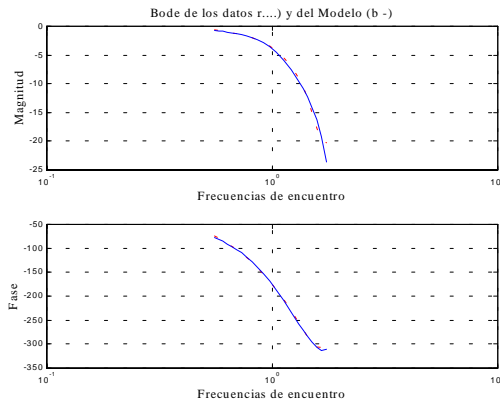


Figura 34: Bode comparativo de los datos y en un rango de trabajo

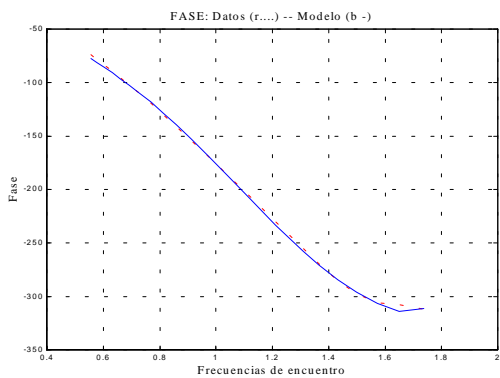
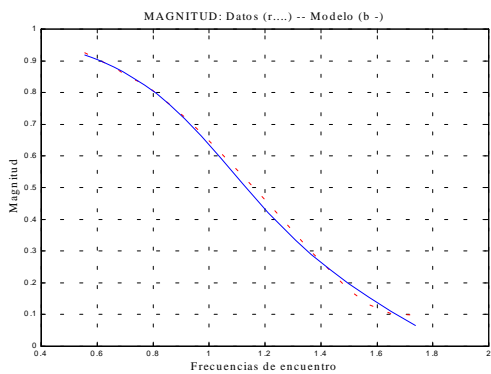


Figura 35: Bodes comparativos en el rango de frecuencias de trabajo

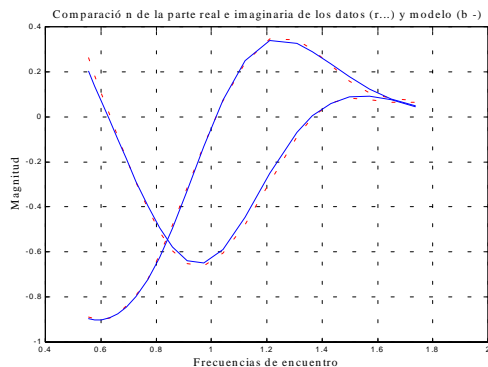


Figura 36: Comparación de la parte real e imaginaria de datos y modelo para la J

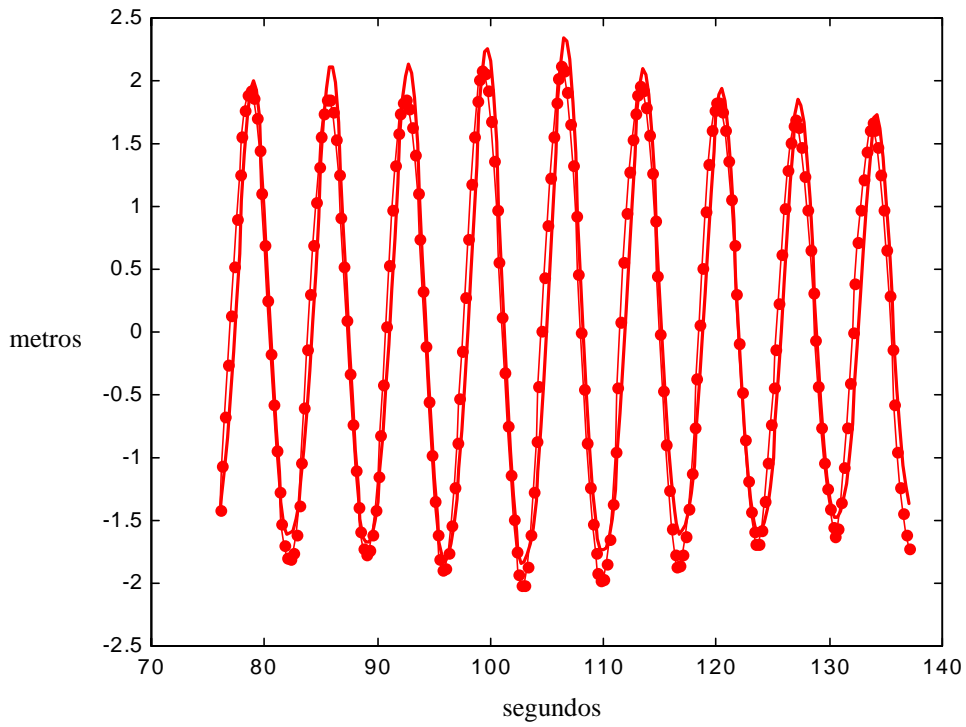


Figura 37 Validación heave datos – heave modelo para olas regulares. Error 0.0402

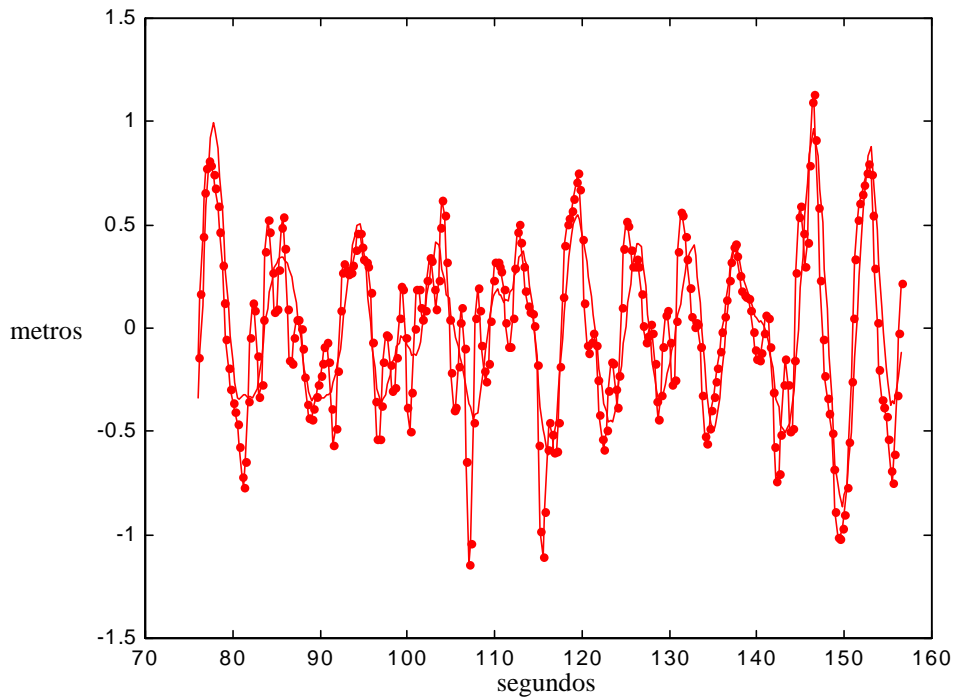


Figura 38: Validación heave datos – heave modelo para olas irregulares. Error 0.0265

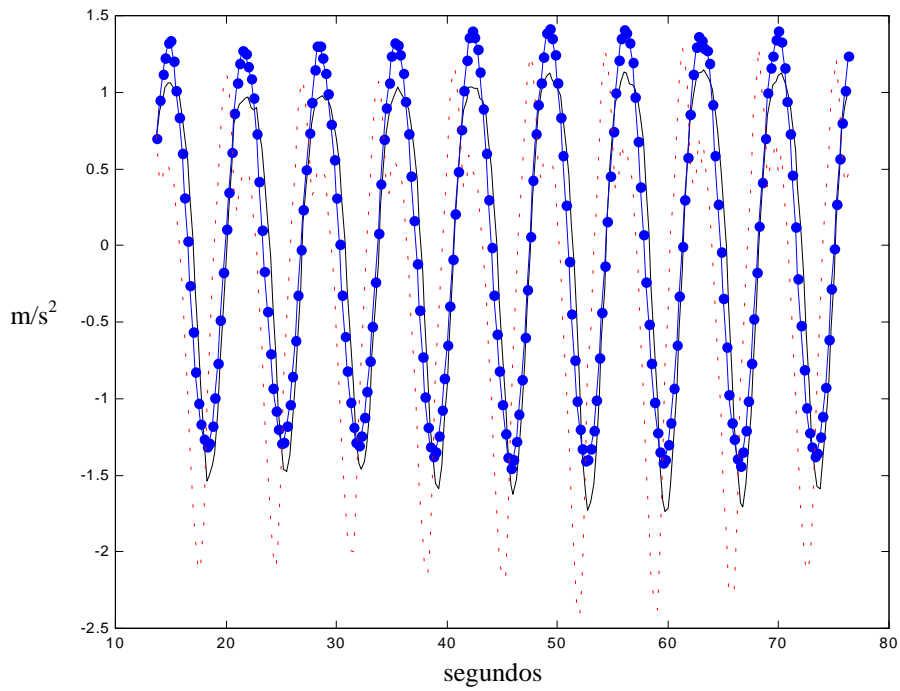


Figura 39 Validación aceleraciones heave. Olas regulares.
 a_D : acel. datos(- -); a_H : acel. deducida heave(-); a_M : acel. modelo(\bullet)

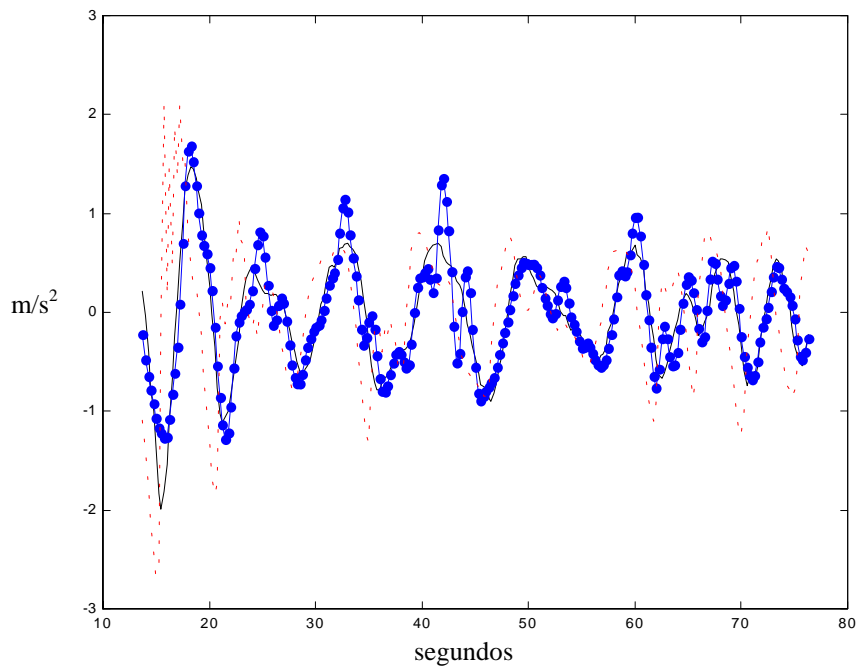


Figura 40: Validación aceleraciones heave. Olas irregulares
 a_D : acel. datos(- -); a_H : acel. deducida heave(-); a_M : acel. modelo(\bullet)

Validación del modelo h3m-04-06 (30 nudos)

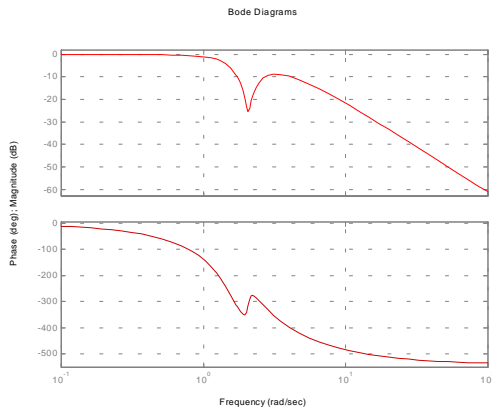


Figura 41. Bode del modelo en un rango general de frecuencias

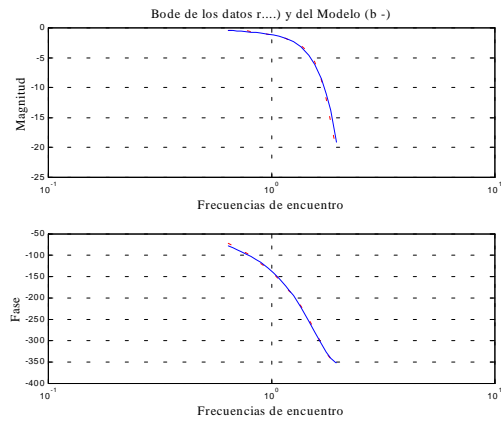


Figura 42: Bode comparativo de los datos y en un rango de trabajo

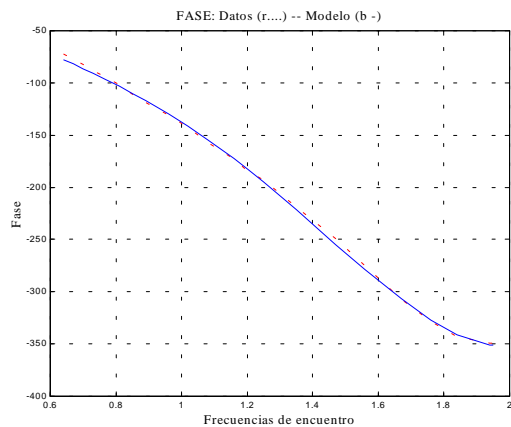
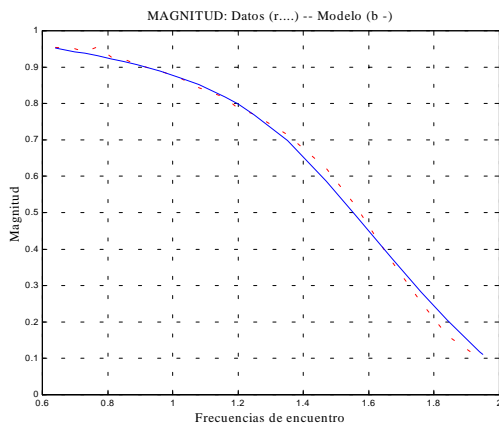


Figura 43: Bodes comparativos en el rango de frecuencias de trabajo

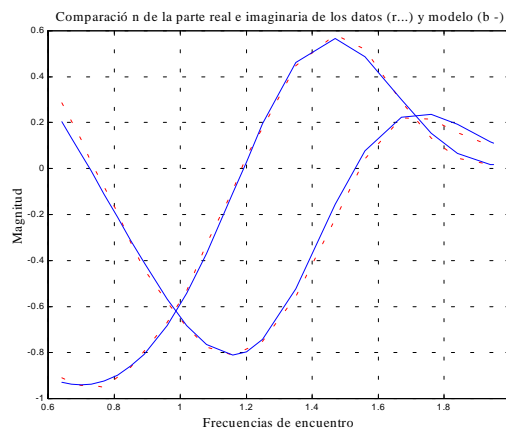


Figura 44: Comparación de la parte real e imaginaria de datos y modelo para la J

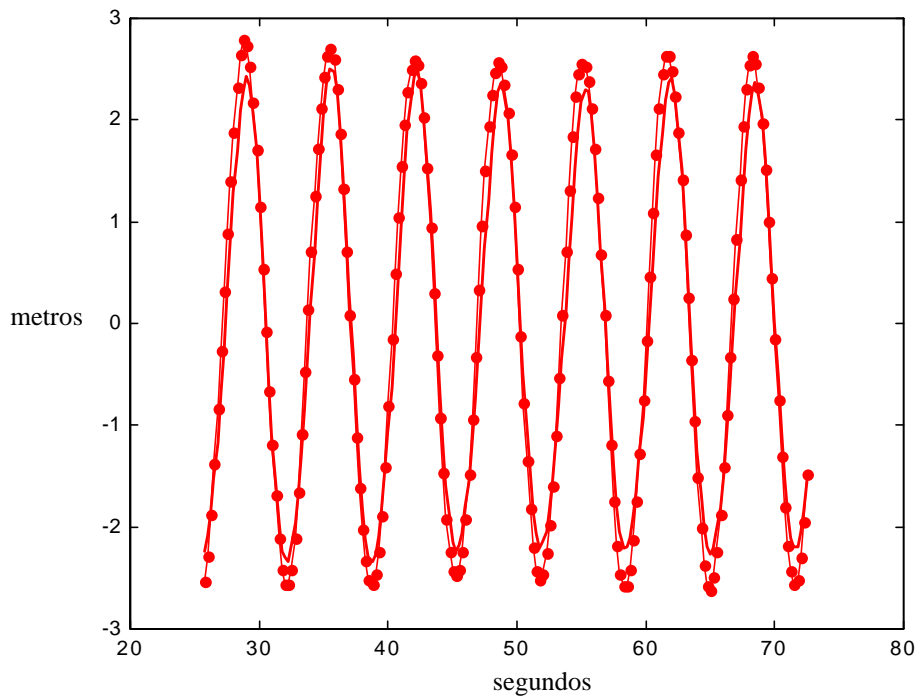


Figura 45 Validación heave datos – heave modelo para olas regulares. Error 0.0386.

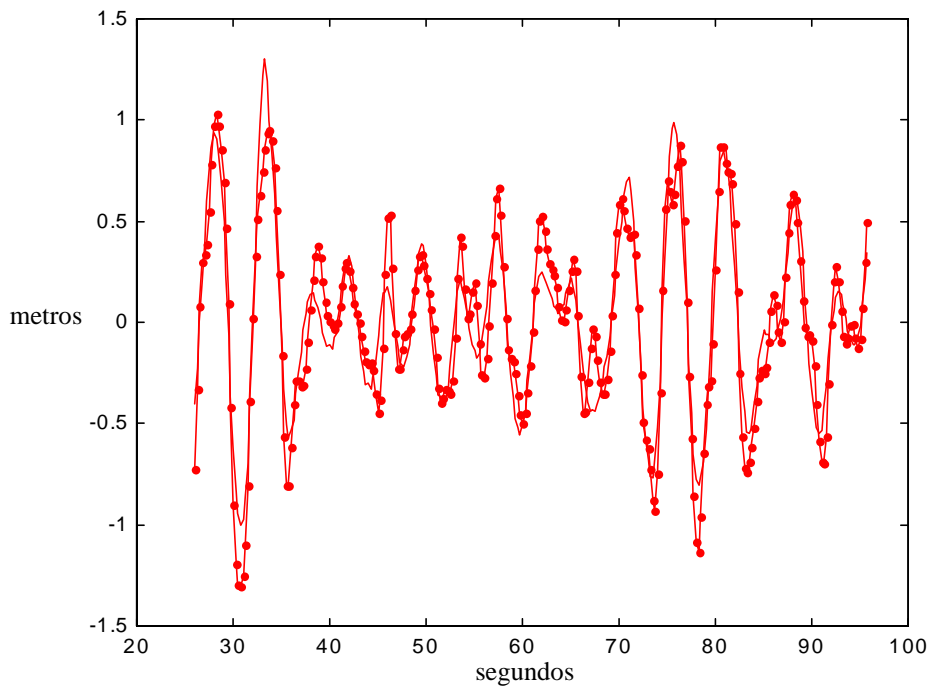


Figura 46: Validación heave datos – heave modelo para olas irregulares. Error 0.0101

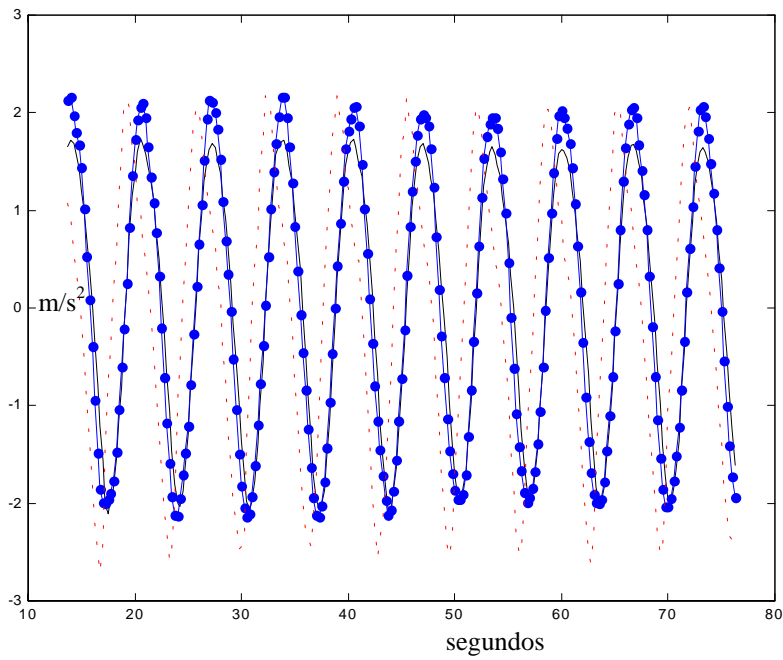


Figura 47 Validación aceleraciones heave. Olas regulares.
 a_D : acel. datos(- -); a_H : acel. deducida heave(-); a_M : acel. modelo(\bullet)

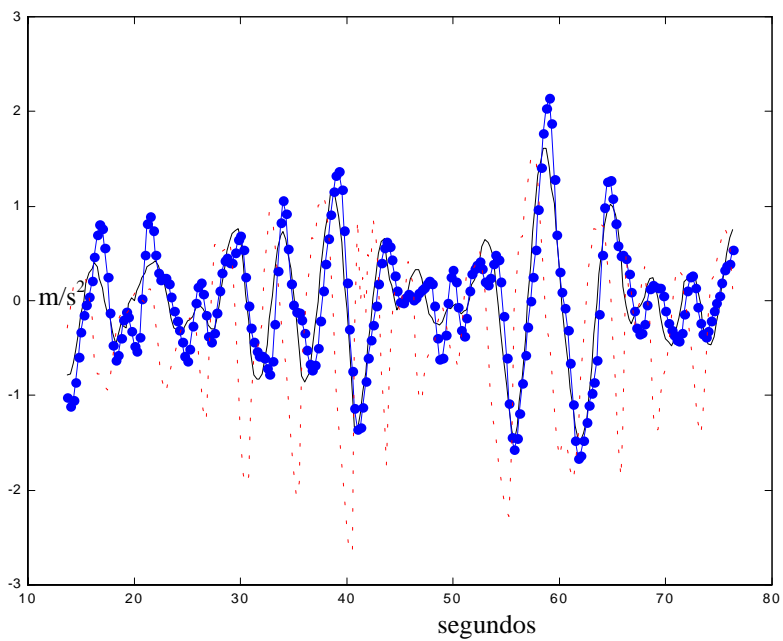


Figura 48: Validación aceleraciones heave. Olas irregulares.
 a_D : acel. datos(- -); a_H : acel. deducida heave(-); a_M : acel. modelo(\bullet)

Validación del modelo h4m-04-06 (40 nudos)

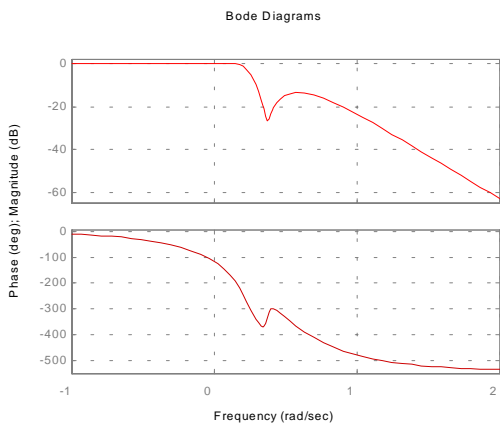


Figura 49. Bode del modelo en un rango general de frecuencias

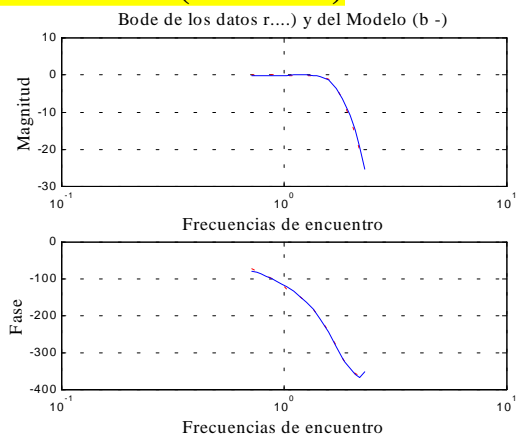


Figura 50: Bode comparativo de los datos y en un rango we de trabajo

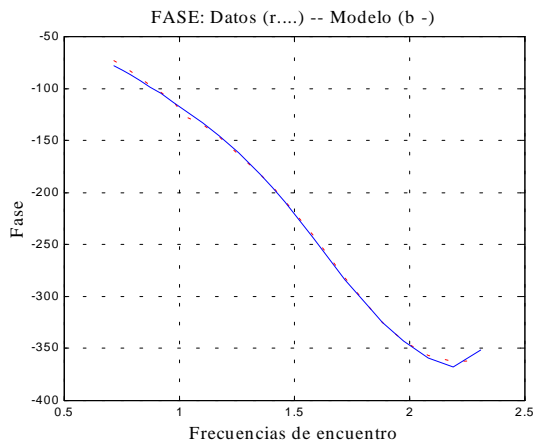
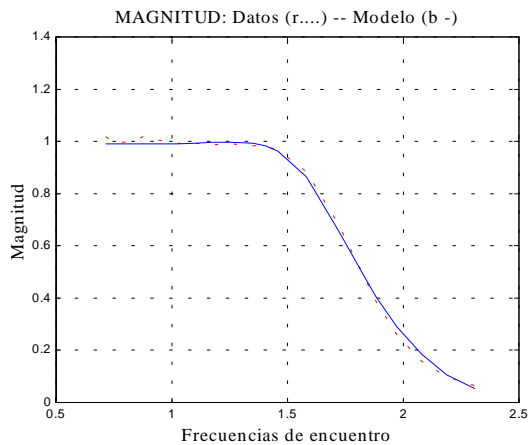


Figura 51: Bodes comparativos en el rango de frecuencias de trabajo

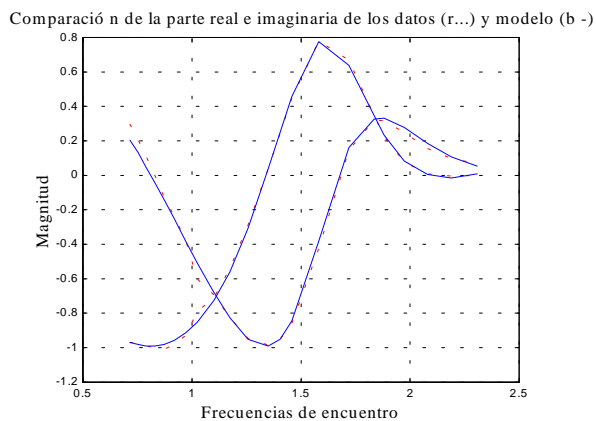


Figura 52: Comparación de la parte real e imaginaria de datos y modelo para la J

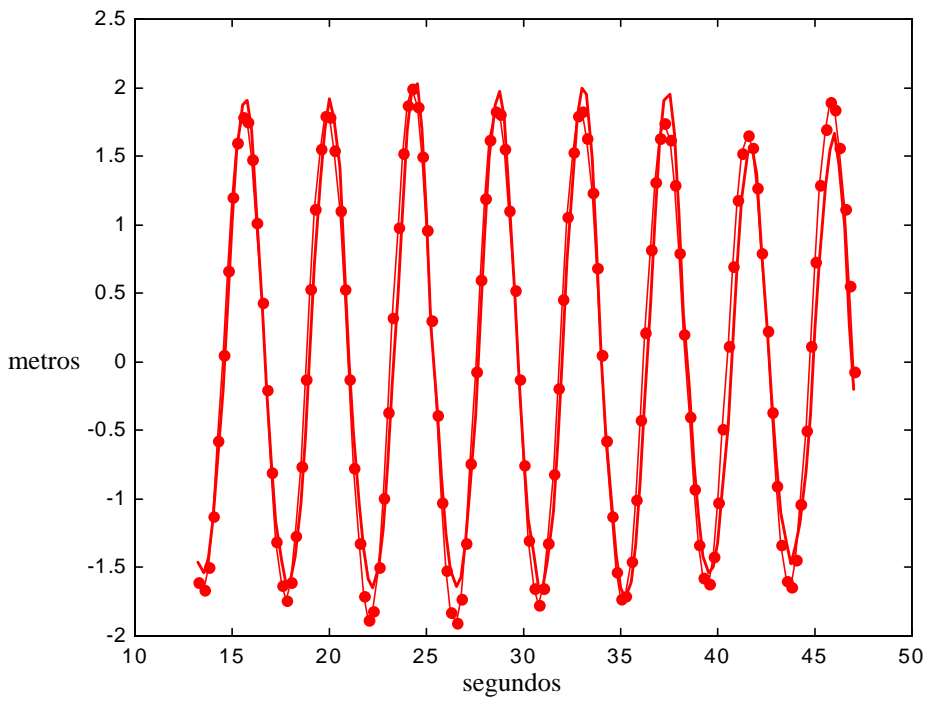


Figura 53 Validación heave datos – heave modelo para olas regulares. Error 0.020

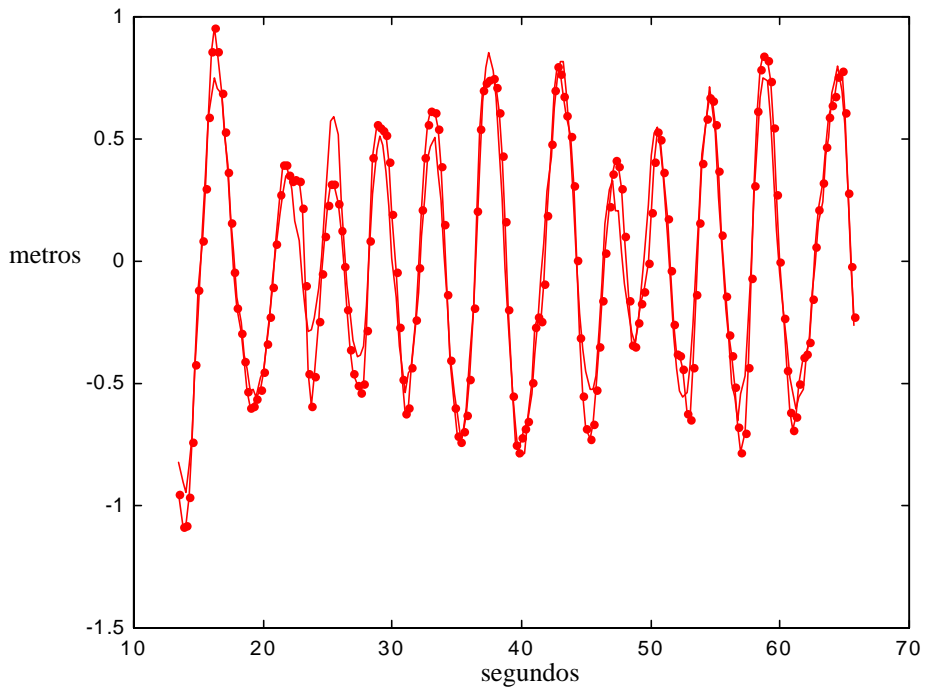


Figura 54: Validación heave datos – heave modelo para olas irregulares. Error 0.005

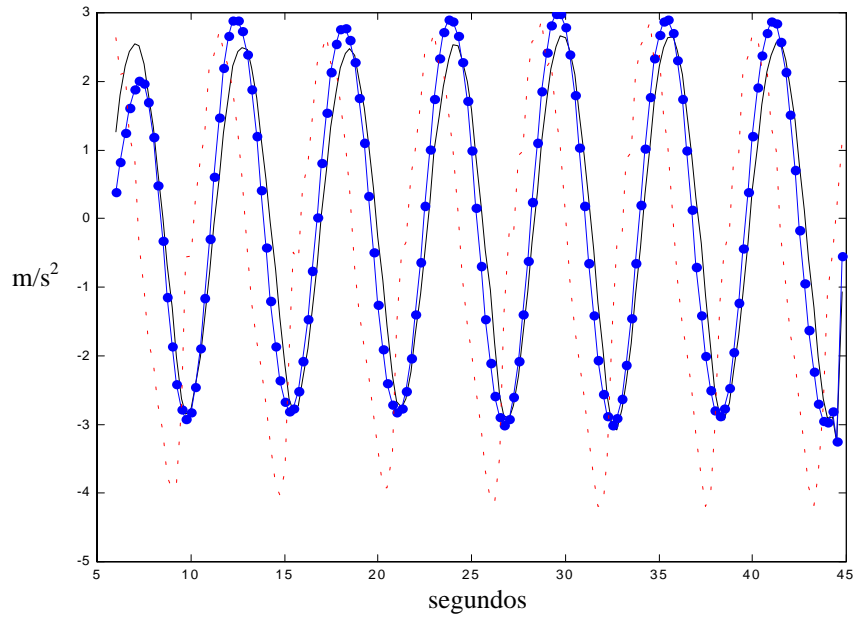


Figura 55: Validación aceleraciones heave. Olas regulares.
 a_D : acel. datos(- -); a_H : acel. deducida heave(-); a_M : acel. modelo(\bullet)

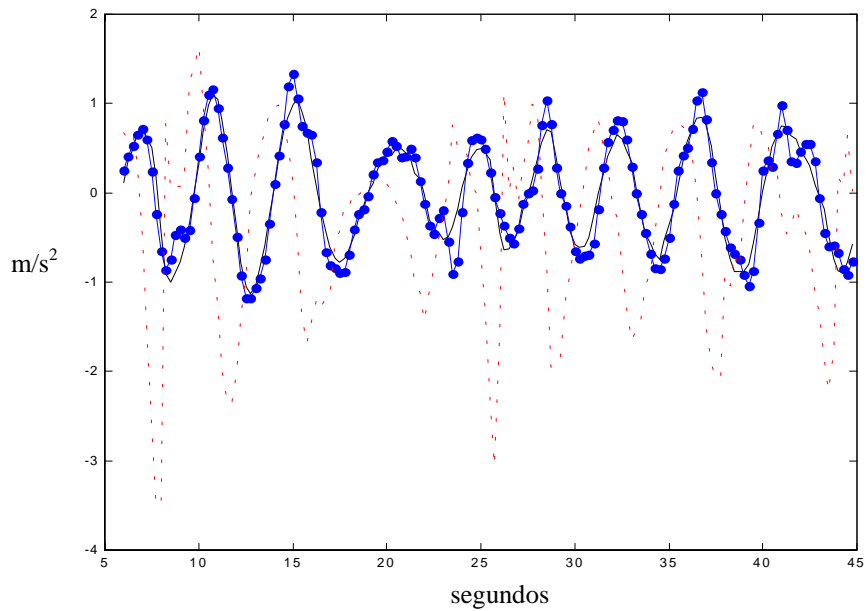


Figura 56 Validación aceleraciones heave. Olas irregulares.
 a_D : acel. datos(- -); a_H : acel. deducida heave(-); a_M : acel. modelo(\bullet)

Validación de los Modelos olas - pitch

Modelo p2m-14-06 (20 nudos) J = 1084.79

$$G(s) = \frac{(0.0) \cdot (-1.005) \cdot (0.256 \pm 2.149i) \cdot (-1.725 \pm 1.932i)}{(-0.367 \pm 0.733i) \cdot (-0.323 \pm 1.402i) \cdot (-0.651 \pm 1.29i)} =$$

$$= \frac{0.092 s^6 - 0.272 s^5 + 0.844 s^4 - 0.5858 s^3 + 1.0787 s^2 - 2.9042s}{s^6 + 2.682s^5 + 7.1007 s^4 + 9.0221 s^3 + 10.6492 s^2 + 5.8896 s + 2.9042}$$

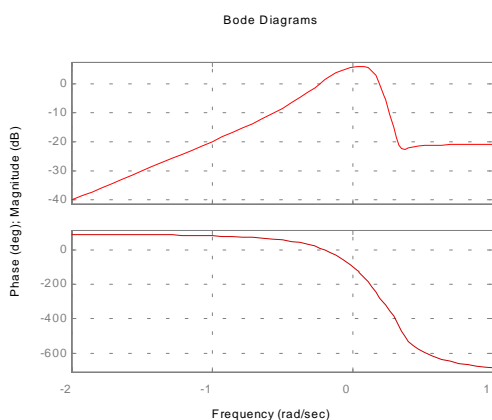


Figura 57. Bode del modelo en un rango general de frecuencias

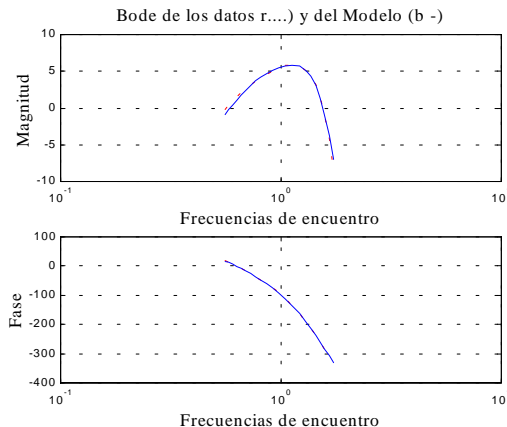


Figura 58: Bode comparativo de los datos y en un rango ω_e de trabajo

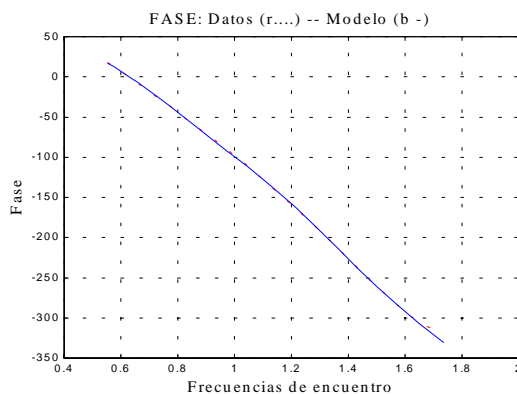
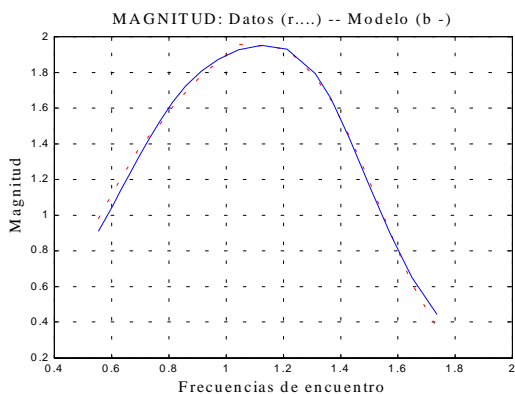


Figura 59: Bodes comparativos en el rango de frecuencias de trabajo

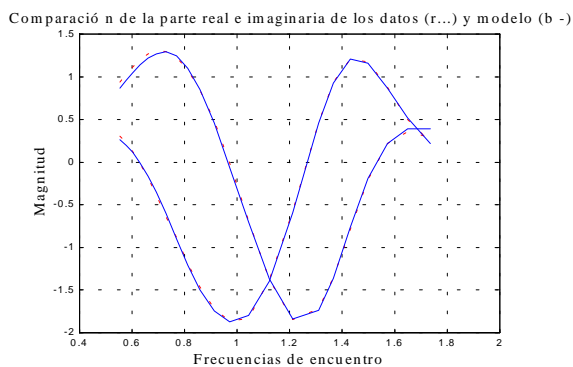


Figura 60: Comparación de la parte real e imaginaria de datos y modelo para la J

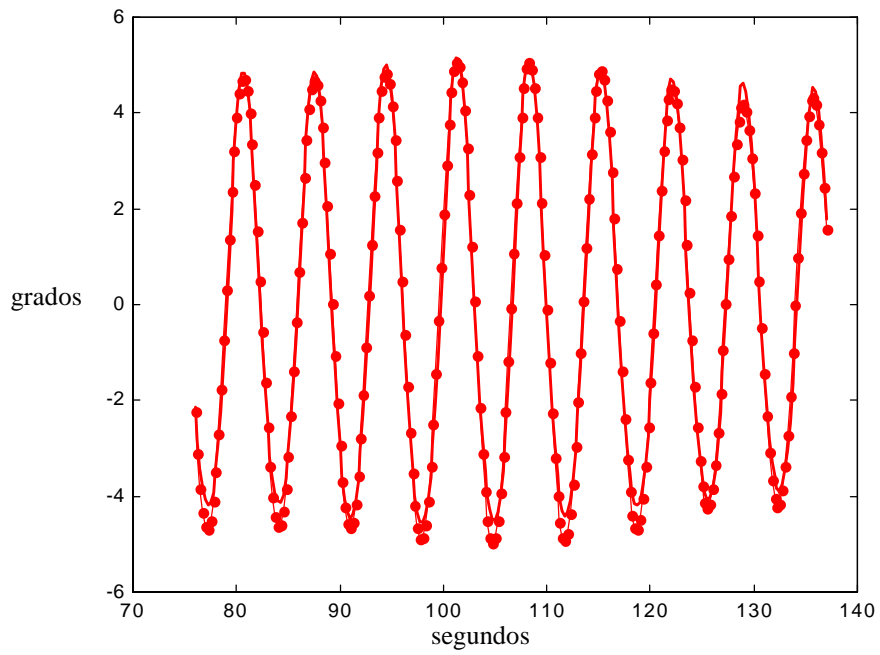


Figura 61 Validación pitch datos – pitch modelo para olas regulares. Error 0.0848

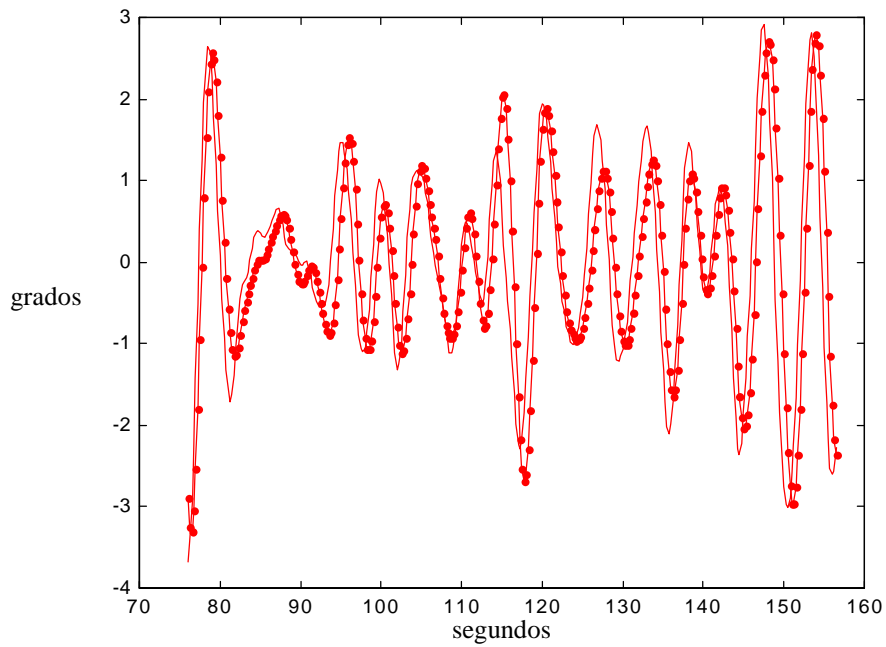


Figura 62: Validación pitch datos – pitch modelo para olas irregulares. Error 0.2353

Modelo p3m-14-06 (30 nudos) J = 1255.06

$$G(s) = \frac{(0.0) \cdot (-1.048) \cdot (0.232 \pm 2.446i) \cdot (-1.715 \pm 1.936i)}{(-0.612 \pm 1.664i) \cdot (-0.393 \pm 1.523i) \cdot (-0.482 \pm 0.731i)} =$$

$$= \frac{0.1409 s^6 - 0.4010 s^5 + 1.4422 s^4 - 1.2405 s^3 + 2.1737 s^2 - 5.9624 s}{s^6 + 2.974 s^5 + 9.2838 s^4 + 13.3826 s^3 + 18.1221 s^2 + 11.7128 s + 5.9624}$$

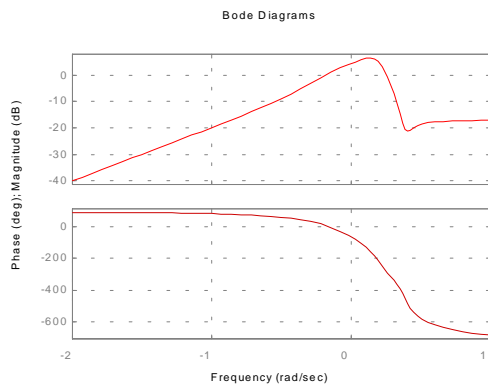


Figura 63. Bode del modelo en un rango general de frecuencias

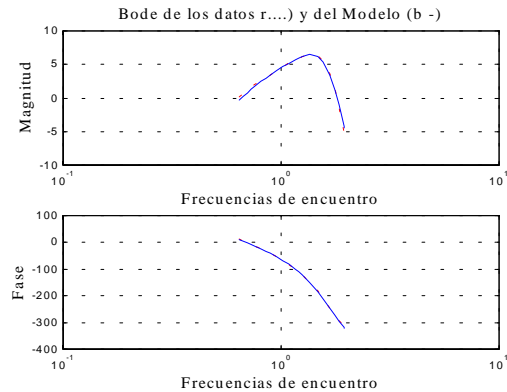


Figura 64: Bode comparativo de los datos y en un rango de trabajo

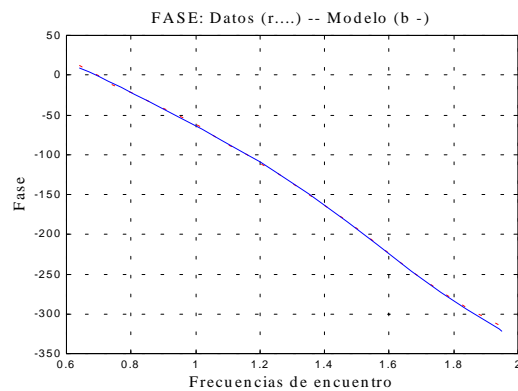
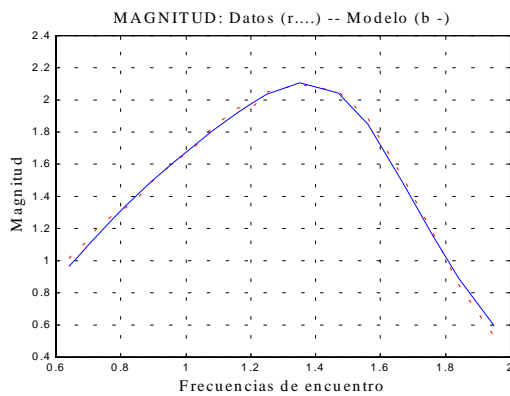


Figura 65: Bodes comparativos en el rango de frecuencias de trabajo

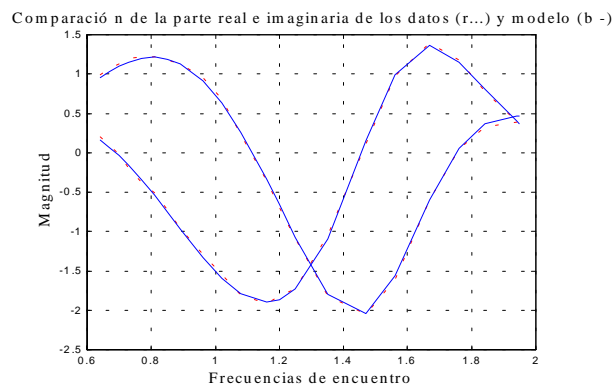


Figura 66: Comparación de la parte real e imaginaria de datos y modelo para la J

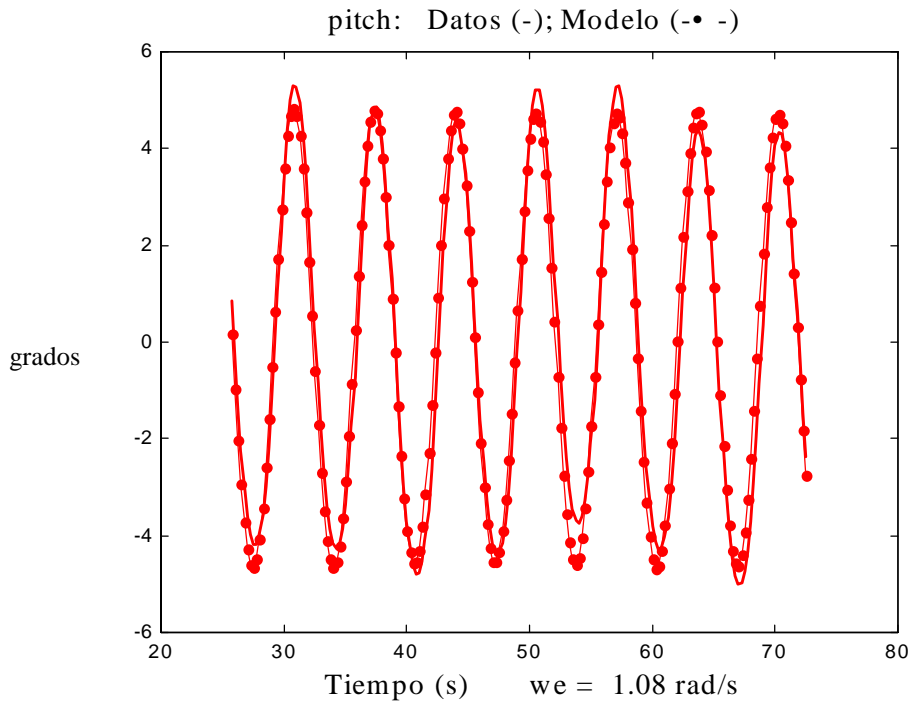


Figura 67 Validación pitch datos – pitch modelo para olas regulares. Error 0.161

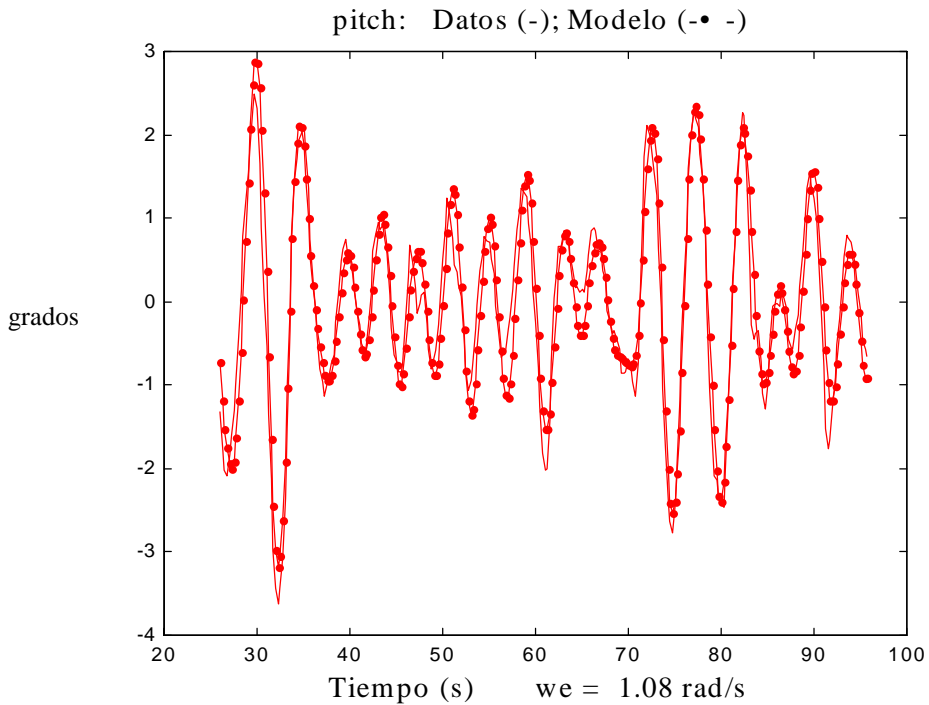


Figura 68: Validación pitch datos – pitch modelo para olas irregulares. Error 0.0509

Modelo p4m-14-06 (40 nudos) J = 1463.55

$$G(s) = \frac{(0.0) \cdot (-0.586) \cdot (0.07 \pm 2.521i) \cdot (-1.27 \pm 1.536i)}{(-0.318 \pm 1.651i) \cdot (-1.343 \pm 0.969i) \cdot (-1.253 \pm 0.55i)} =$$

$$= \frac{0.9806 s^6 - 2.0534 s^5 + 8.9408 s^4 - 10.2455 s^3 + 15.1716 s^2 - 14.5178 s}{s^6 + 5.828 s^5 + 17.4753 s^4 + 33.7961 s^3 + 44.7805 s^2 + 36.9138 s + 14.5178}$$

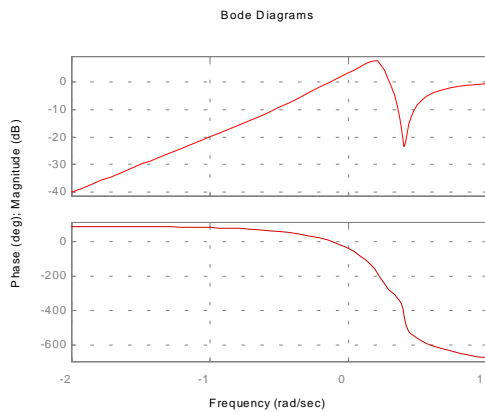


Figura 69. Bode del modelo en un rango general de frecuencias

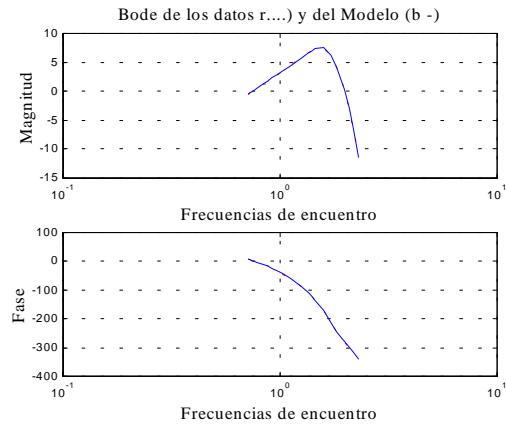


Figura 70: Bode comparativo de los datos y en un rango de trabajo

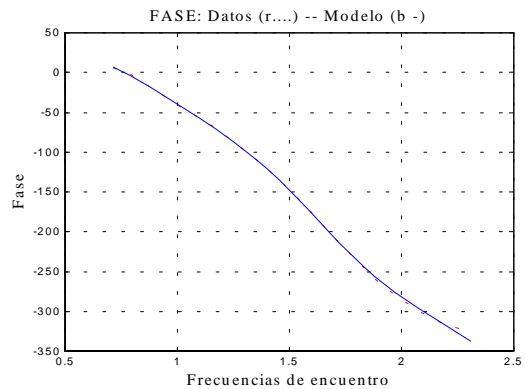
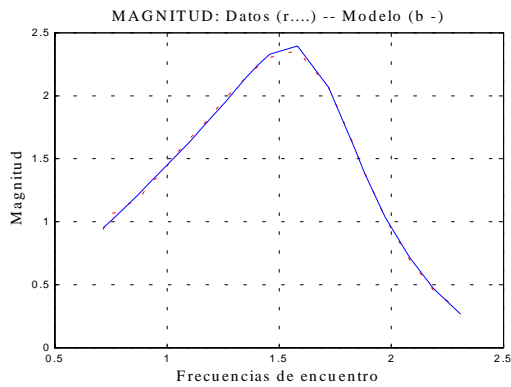


Figura 71: Bodes comparativos en el rango de frecuencias de trabajo

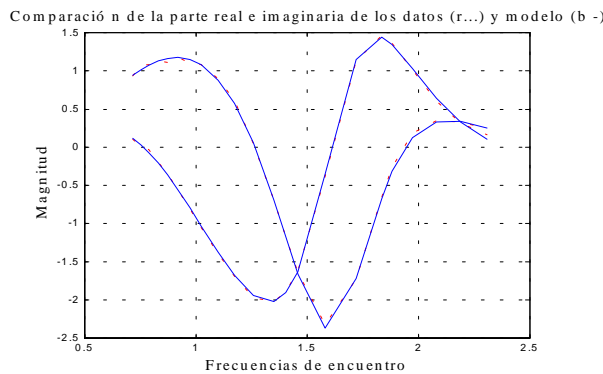


Figura 72: Comparación de la parte real e imaginaria de datos y modelo para la J

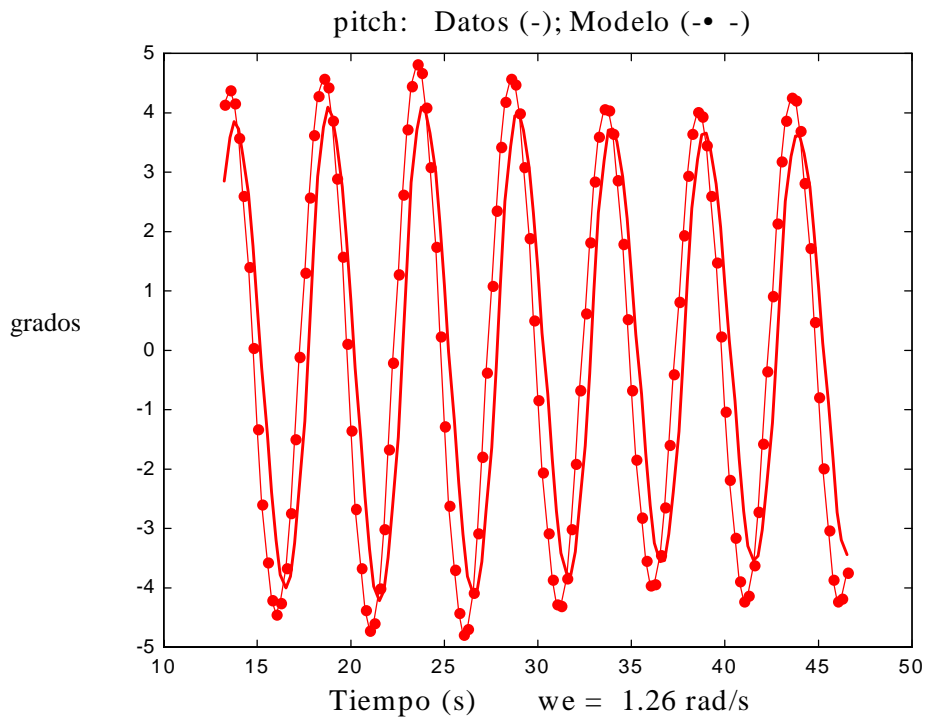


Figura 73 Validación pitch datos – pitch modelo para olas regulares. Error 0.5841.

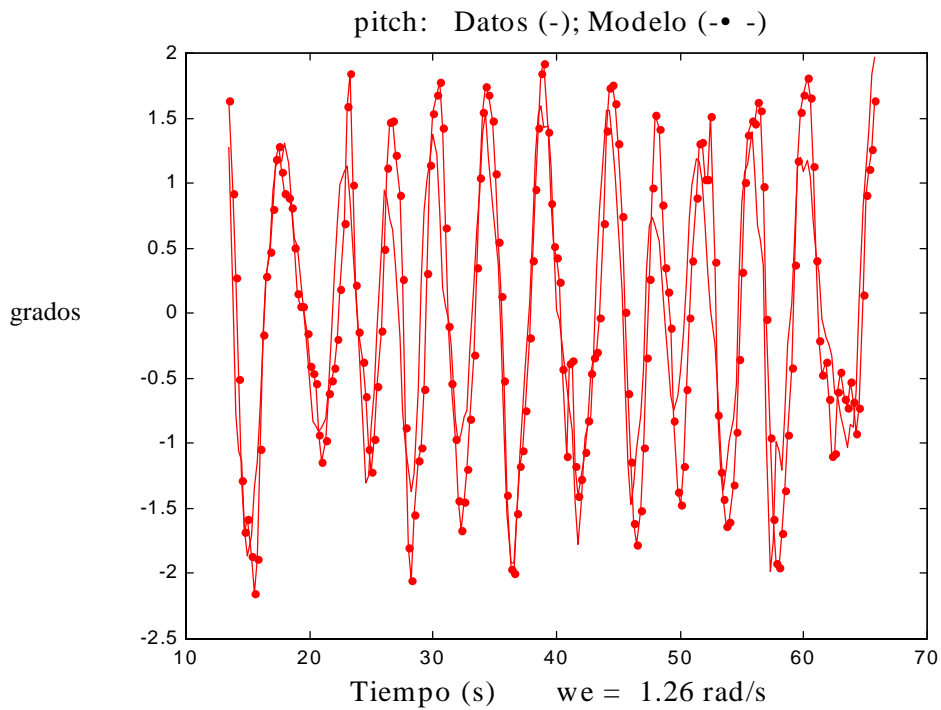


Figura 74: Validación pitch datos – pitch modelo para olas irregulares. Error 0.0908

CAPÍTULO

SEXTO

.ESTUDIO DE LOS MODELOS OLAS - FUERZAS – HEAVE Y OLAS - MOMENTOS - PITCH

olas fuerzas - heave
velocidad de 20 nudos
Modelo f2m-04-04

A.- Datos del modelo

Valor de la función de coste **J = 8595.88**

$$G(s) = \frac{(0.129 \pm 0.576i)(0.516 \pm 1.981i)}{(-0.228)(-0.502 \pm 1.410i)} =$$

$$= \frac{0.0798 s^4 - 0.1029 s^3 + 0.3832 s^2 - 0.1149 s + 0.1164}{s^4 + 1.46s^3 + 2.7499 s^2 + 1.0737s + 0.1164}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
0.129 + 0.576i	-0.219	0.59
0.516 + 1.981i	-0.252	2.05

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.228 + 0.001i	1.0	0.228
-0.502 + 1.410i	0.335	1.50

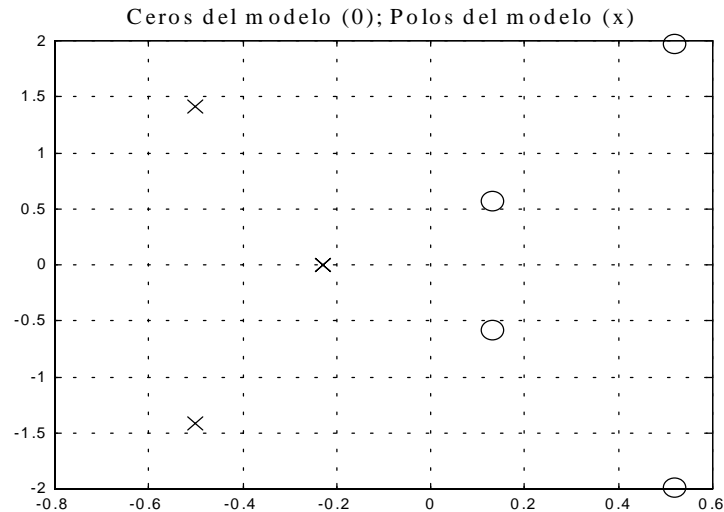


Figura 75: Ubicación de ceros y polos en el plano S

B.- Validación

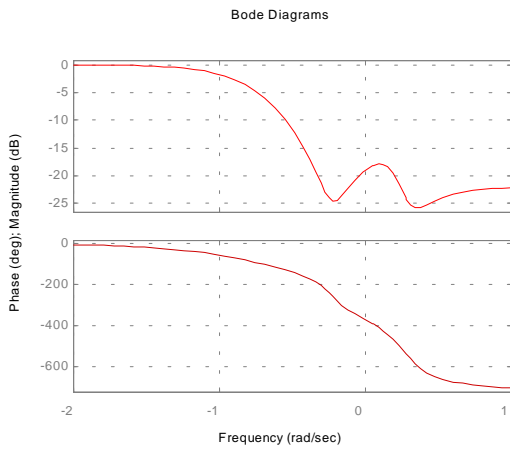


Figura 76. Bode del modelo en un rango general de frecuencias

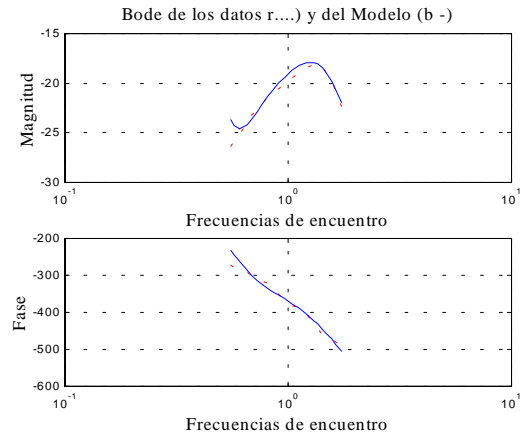


Figura 77: Bode comparativo de los datos y en un rango de trabajo

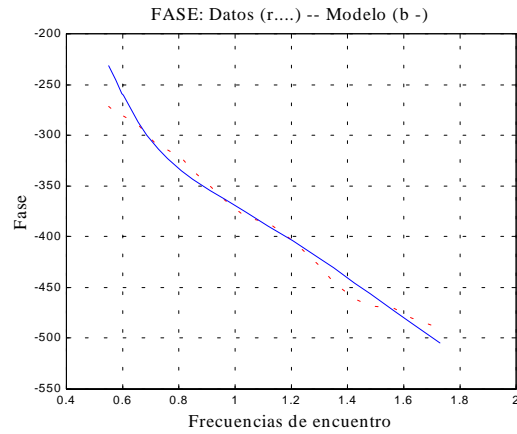
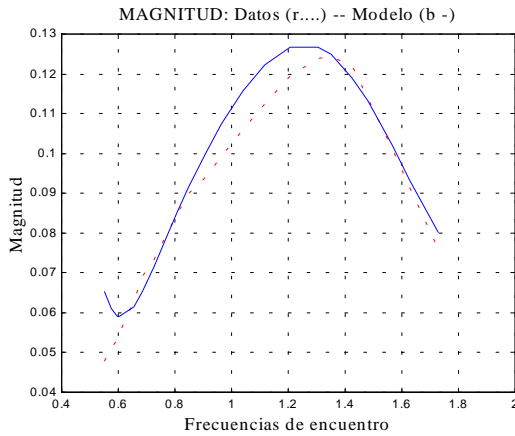


Figura 78: Bodes comparativos en el rango de frecuencias de trabajo

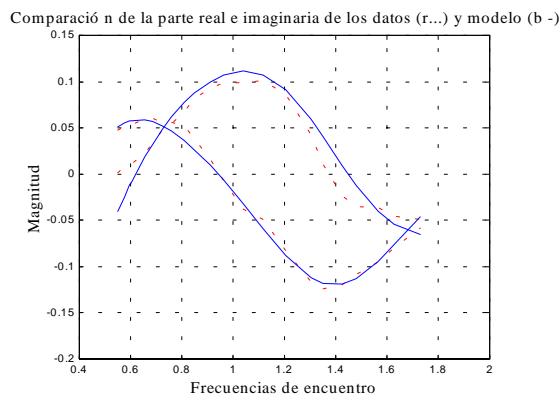
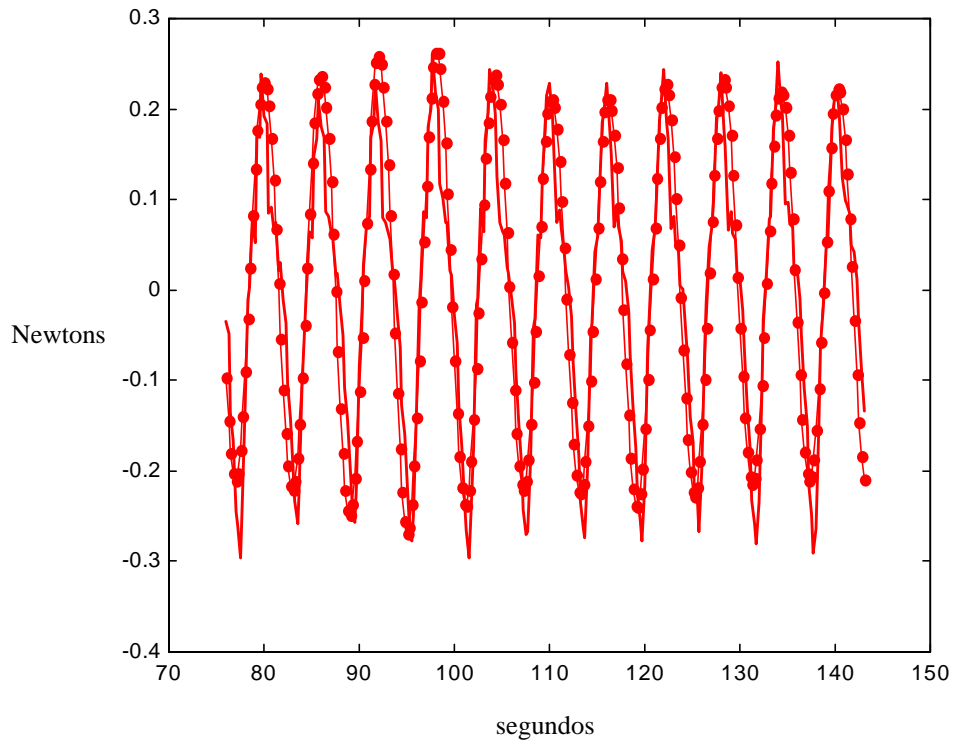
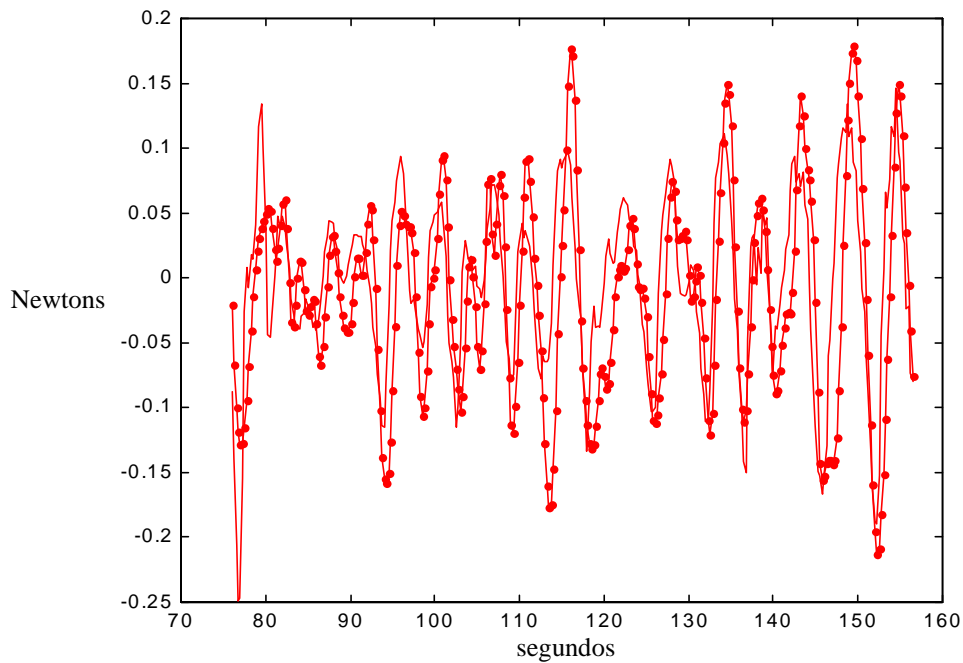


Figura 79: Comparación de la parte real e imaginaria de datos y modelo para la J



*Figura 80 Validación fuerza-heave datos – fuerza-heave modelo para olas regulares.
 Error 0.0013.*



*Figura 81: Validación fuerza-heave datos – fuerza-heave modelo para olas irregulares.
 Error 0.0015.*

Modelo f2m-02-04**A.- Datos del modelo**Valor de la función de coste **J = 8928.86**

Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.0015 y 0.0014

$$G(s) = \frac{(0.179 \pm 0.584i)}{(-0.312 \pm 1.261i)(-0.058 \pm 0.159i)} =$$

$$= \frac{0.1296 s^2 - 0.0464 s + 0.0483}{s^4 + 0.74 s^3 + 1.7885 s^2 + 0.2136 s + 0.0483}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
0.179 + 0.584i	-0.293	0.611

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.312 + 1.261i	0.240	1.30
-0.058 + 0.159i	0.343	0.169

Velocidad de 30 nudos
Modelo f3m-04-04

A.- Datos del modelo

Valor de la función de coste **J = 4339.31**

$$G(s) = \frac{(1.120 \pm 2.688i)(-0.220 \pm 0.576i)}{(-0.167 \pm 0.120i)(-0.238 \pm 1.489i)} =$$

$$= \frac{0.0298 s^4 - 0.0799 s^3 + 0.2937 s^2 - 0.1367 s + 0.0962}{s^4 + 0.81 s^3 + 2.475 s^2 + 0.7796 s + 0.0962}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
1.120 + 2.688i	-0.385	2.91
-0.220 + 0.576i	-0.357	0.617

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.167 + -0.120i	0.812	0.206
-0.238 + 1.489i	0.158	1.51

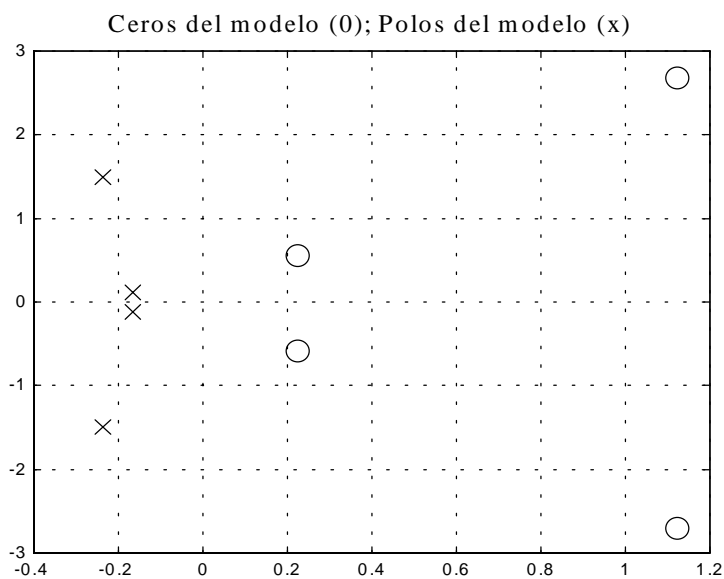


Figura 82 Ubicación de ceros y polos en el plano S

B.- Validación

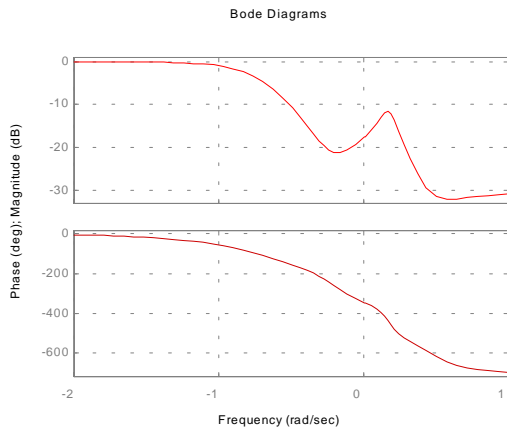


Figura 83. Bode del modelo en un rango general de frecuencias

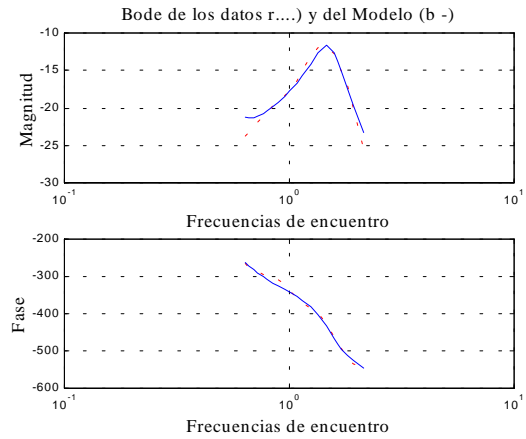


Figura 84: Bode comparativo de los datos y en un rango we de trabajo

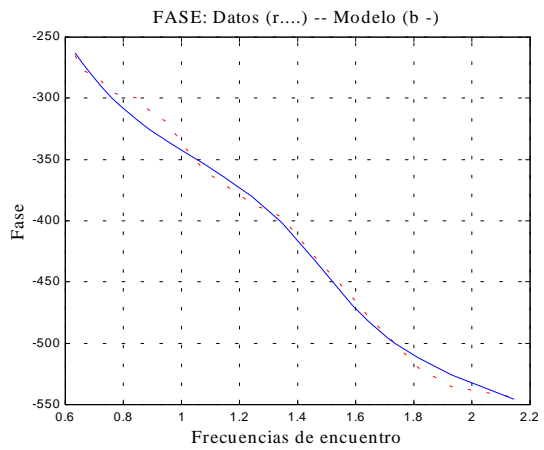
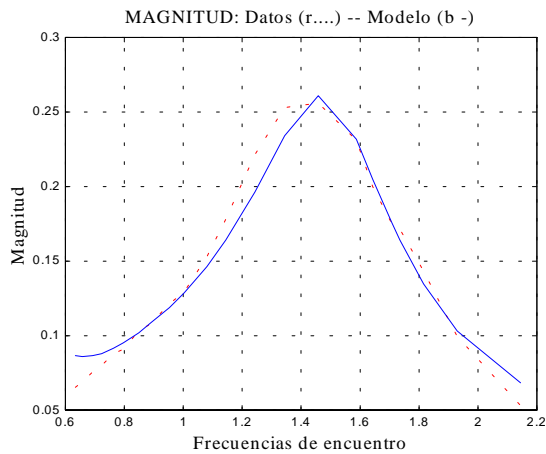


Figura 85: Bodes comparativos en el rango de frecuencias de trabajo

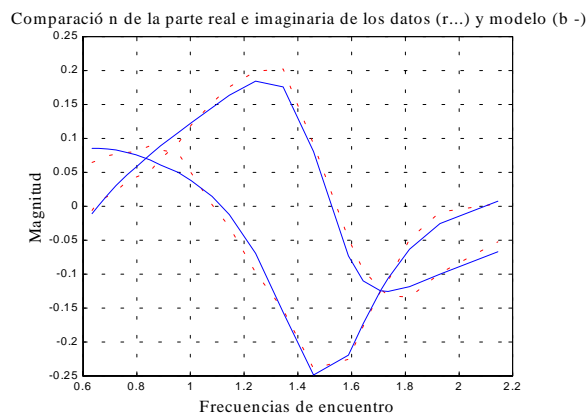


Figura 86: Comparación de la parte real e imaginaria de datos y modelo para la J

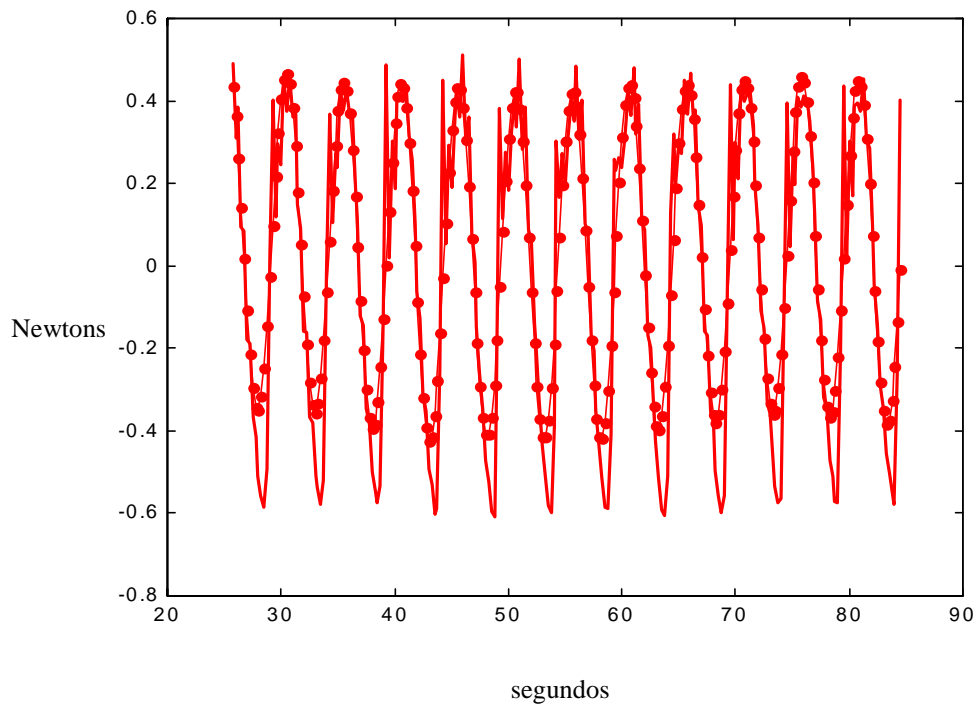


Figura 87 Validación fuerza-heave datos – fuerza-heave modelo para olas regulares.
 Error 0.115.

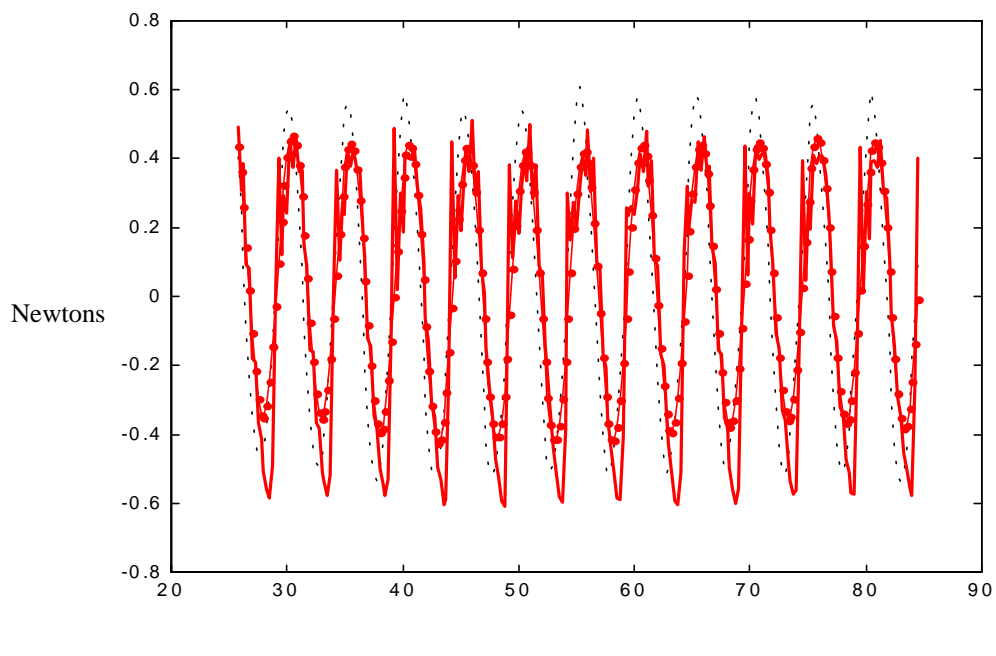


Figura 88: Validación fuerza-heave datos – fuerza-heave modelo para olas irregulares.
 Error 0.0013.

Modelo f3m-02-04**A.- Datos del modelo**Valor de la función de coste **J = 1585.69**

Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.231 y 0.0038

$$G(s) = \frac{(0.200 \pm 0.695i)}{(-0.206 \pm 1.423i)(-0.001 \pm 0.224i)} =$$

$$= \frac{0.1983 s^2 - 0.0793 s + 0.1037}{s^4 + 0.414 s^3 + 2.1184 s^2 + 0.0248s + 0.1037}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
0.200 + 0.695i	-0.277	0.723

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.206 + 1.423i	0.143	1.44
-0.001 + 0.224i	0.00446	0.224

Velocidad de 40 nudos
Modelo f4m-04-04

A.- Datos del modelo

Valor de la función de coste **J = 1782.82**

$$G(s) = \frac{(0.129 \pm 0.680i) \cdot (0.359 \pm 2.336i)}{(-0.237 \pm 0.230i) \cdot (-0.260 \pm 1.561i)} =$$

$$= \frac{0.1021s^4 - 0.0996s^3 + 0.6380s^2 - 0.1822s + 0.2731}{s^4 + 0.994s^3 + 2.860s^2 + 1.244s + 0.2731}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
0.129 + 0.680i	-0.186	0.692
0.359 + 2.336i	-0.152	2.36

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.237 + -0.230i	0.718	0.33
-0.260 + 1.561i	0.164	1.58

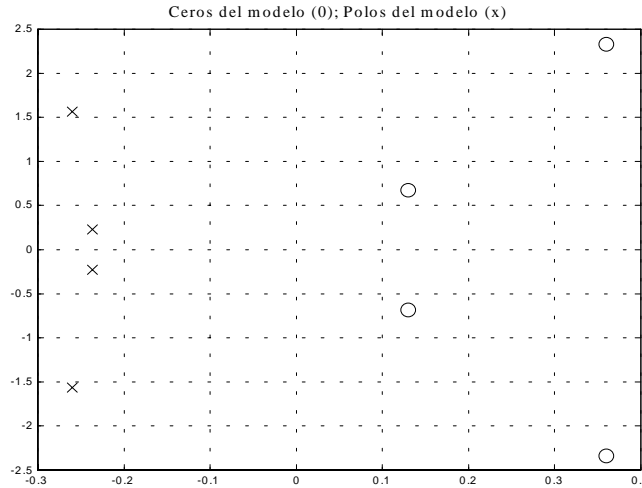


Figura 89 Ubicación de ceros y polos en el plano S

B.- Validación

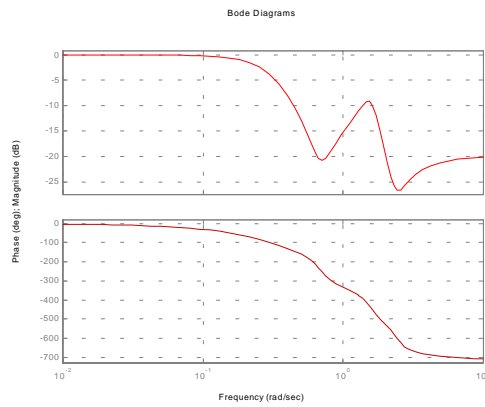


Figura 90. Bode del modelo en un rango general de frecuencias

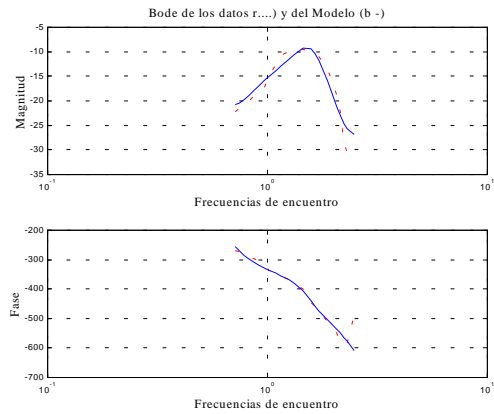


Figura 91: Bode comparativo de los datos y en un rango we de trabajo

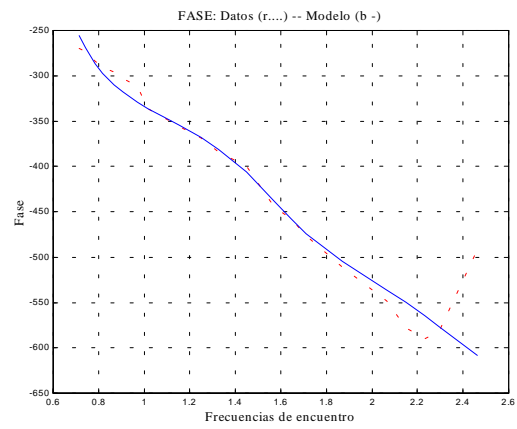
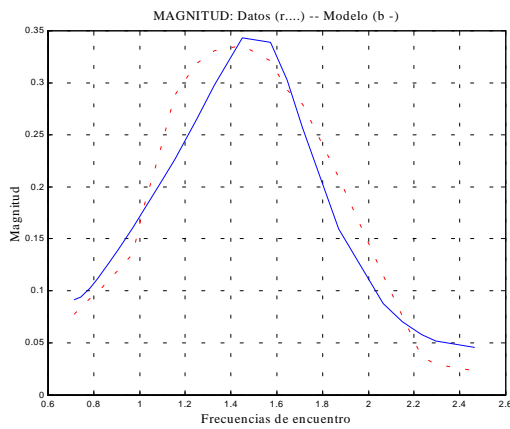


Figura 92: Bodes comparativos en el rango de frecuencias de trabajo

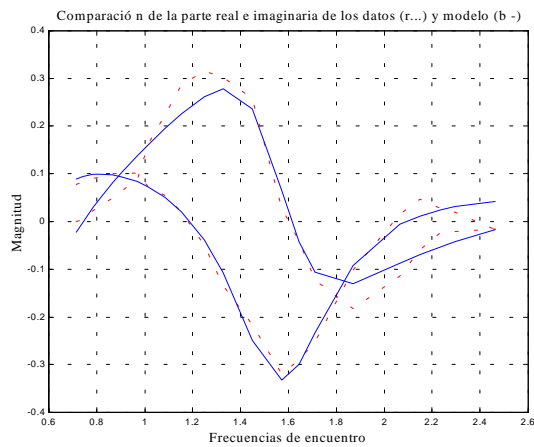
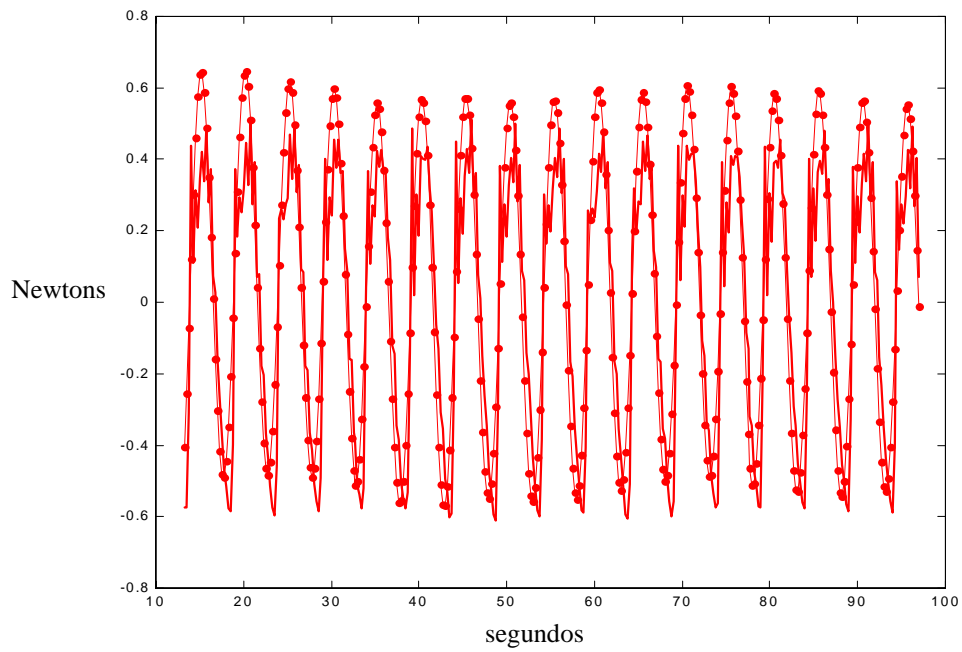
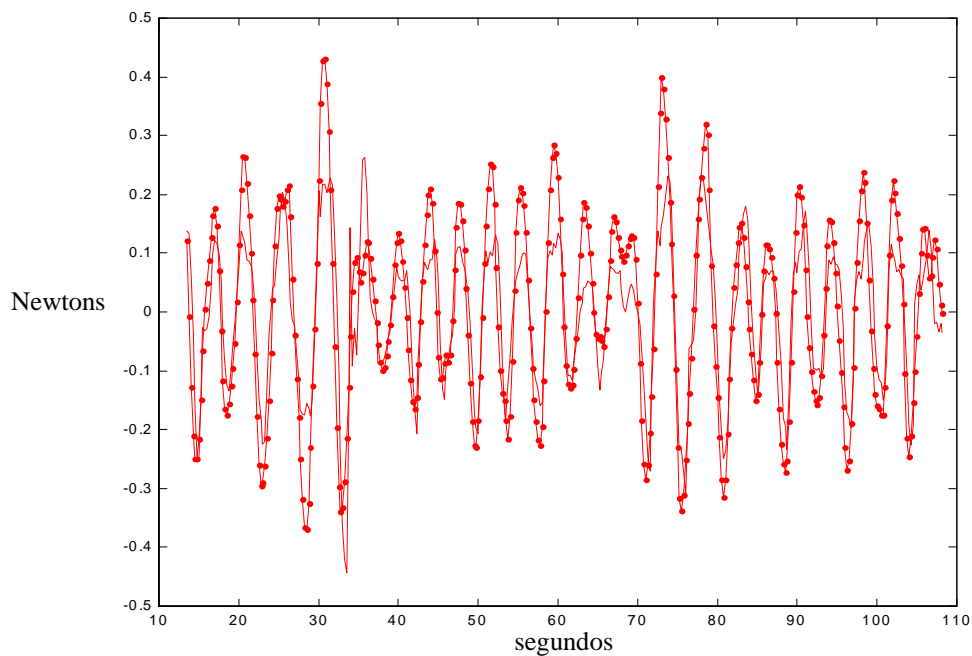


Figura 93: Comparación de la parte real e imaginaria de datos y modelo para la J



*Figura 94 Validación fuerza-heave datos – fuerza-heave modelo para olas regulares.
 Error 0.0095.*



*Figura 95: Validación fuerza-heave datos – fuerza-heave modelo para olas irregulares.
 Error 0.0026.*

Modelo f4m-02-04**A.- Datos del modelo**Valor de la función de coste **J = 503.66**

Valor del error para olas regulares e irregulares = 0.100 y 0.0027

$$G(s) = \frac{(0.186 \pm 0.572i)}{(-0.148 \pm 0.140i)(-0.206 \pm 1.472i)} =$$

$$= \frac{0.2534 s^2 - 0.0943 s + 0.0917}{s^4 + 0.7080 s^3 + 2.3727 s^2 + 0.6710 s + 0.0917}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
0.186 + 0.572i	-0.309	0.601

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.148 + 0.140i	0.726	0.204
-0.206 + 1.472i	0.139	1.49

**olas Momentos pitch
 velocidad de 20 nudos
 Modelo m2m-12-14**

A.- Datos del modelo

Valor de la función de coste **J = 924.85**

$$G(s) = \frac{(0.0)(-0.684)(0.776 \pm 0.872i)}{(-0.065)(-0.276 \pm 1.1114i)(-0.366 \pm 1.442i)} =$$

$$= \frac{2.0332 s^4 - 1.7649 s^3 + 0.6120 s^2 - 1.8950 s}{s^5 + 1.3490s^4 + 4.0180 s^3 + 2.4417 s^2 + 3.0574 s + 0.1895}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.684	1.0	0.684
0.776 + 0.872i	-0.665	1.17

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.065	1.0	0.065
-0.276 + 1.114i	0.240	1.15
-0.366 + 1.442i	0.246	1.49

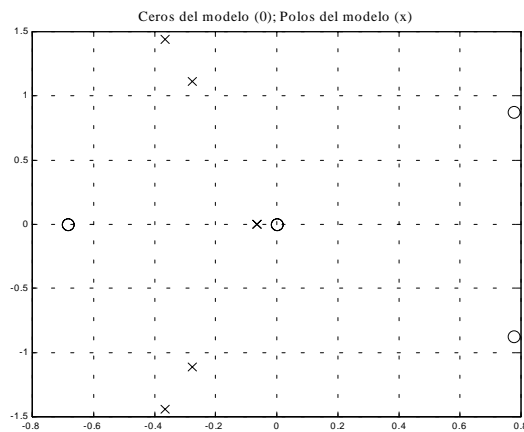


Figura 96 Ubicación de ceros y polos en el plano S

B.- Validación

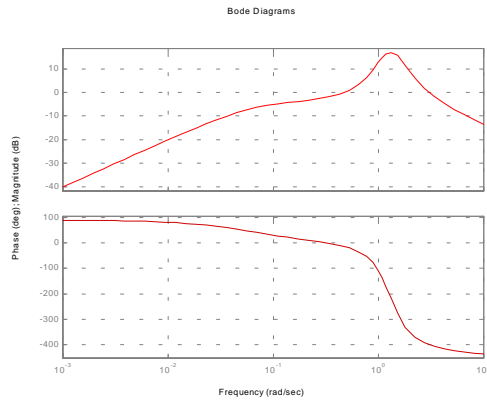


Figura 97. Bode del modelo en un rango general de frecuencias

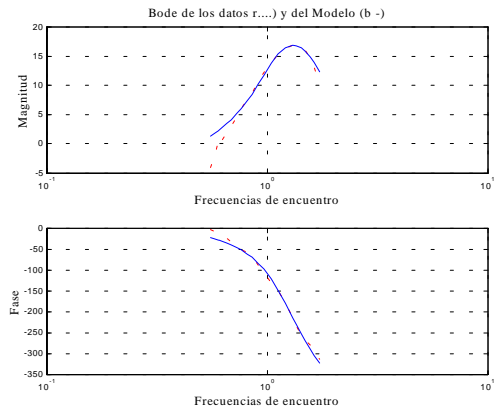


Figura 98: Bode comparativo de los datos y en un rango ω_e de trabajo

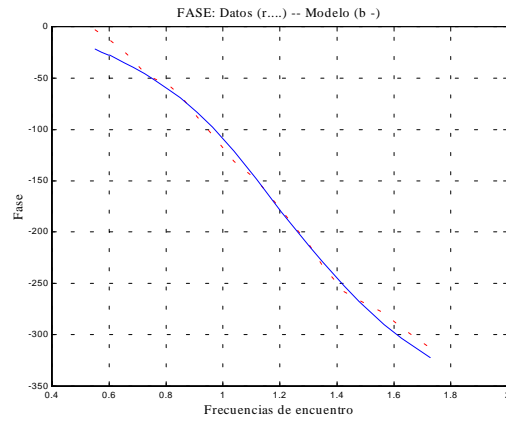
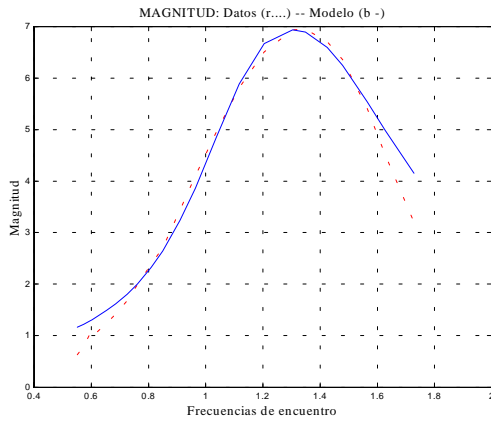


Figura 99: Bodes comparativos en el rango de frecuencias de trabajo

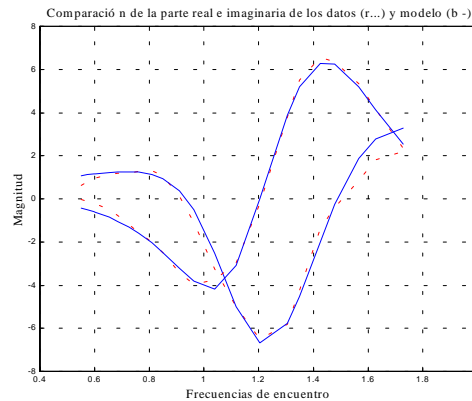


Figura 100: Comparación de la parte real e imaginaria de datos y modelo para la J

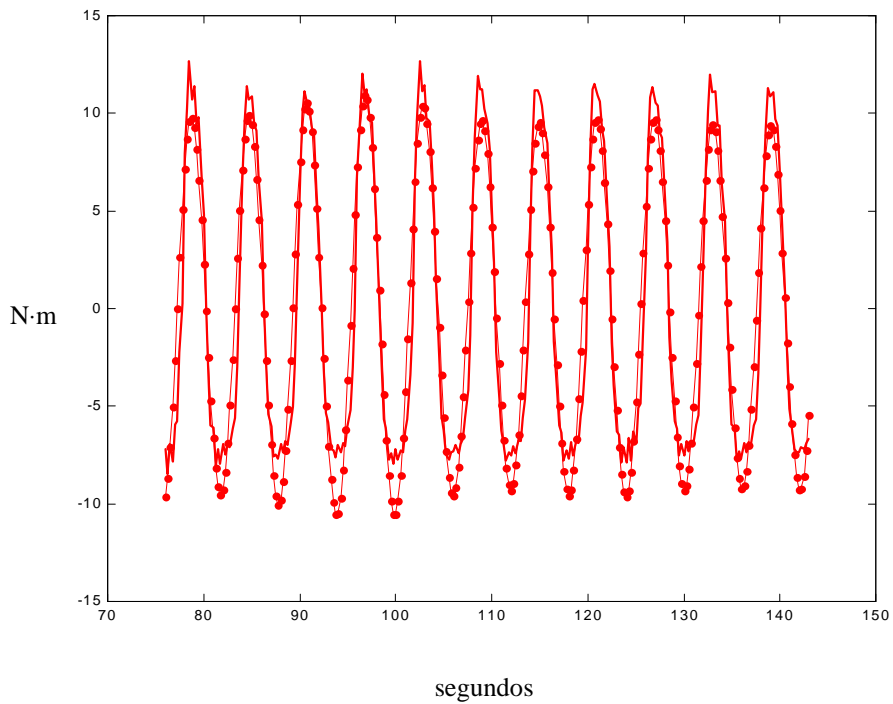


Figura 101 Validación momentos pitch datos – momentos pitch modelo para olas regulares. Error 2.044.

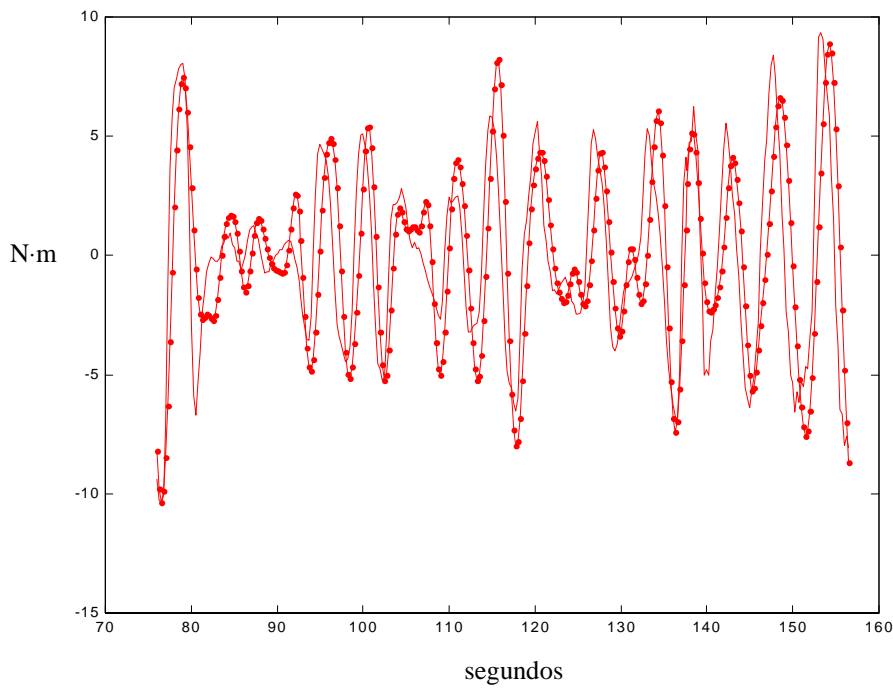


Figura 102: Validación momentos pitch datos – momentos pitch modelo para olas irregulares. Error 3.467.

velocidad de 30 nudos
Modelo m3m-12-14

A.- Datos del modelo

Valor de la función de coste **J = 659.03**

$$G(s) = \frac{(0.0)(-0.820).(1.017 \pm 1.039i)}{(-0.078)(-0.266 \pm 1.168i).(-0.297 \pm 1.721i)} =$$

$$= \frac{1.9696s^4 - 2.3910s^3 + 0.8783s^2 - 3.4139s}{s^5 + 1.2040s^4 + 4.8889s^3 + 2.8495s^2 + 4.5698s + 0.3414}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.820	1.0	0.820
1.017 + 1.039i	-0.70	1.45

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.078	1.0	0.78
-0.266 + 1.168i	0.222	1.20
-0.297 + 1.721i	0.170	1.75

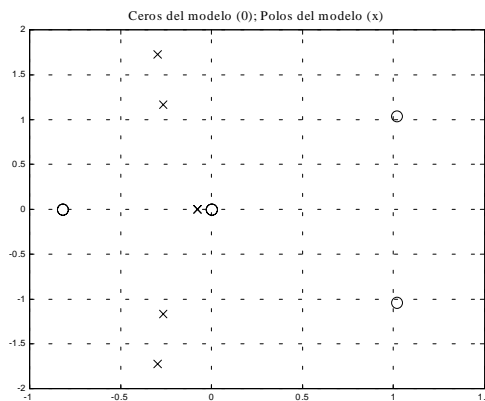


Figura 103 Ubicación de ceros y polos en el plano S

B.- Validación

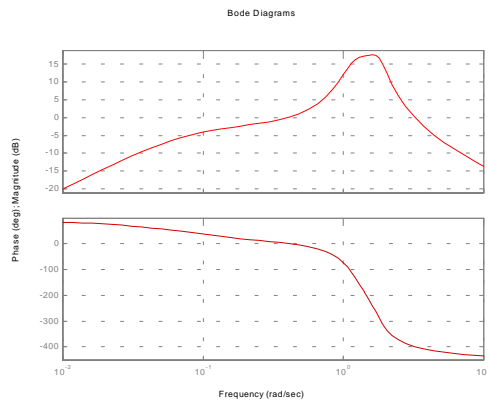


Figura 104. Bode del modelo en un rango de datos y general de frecuencias

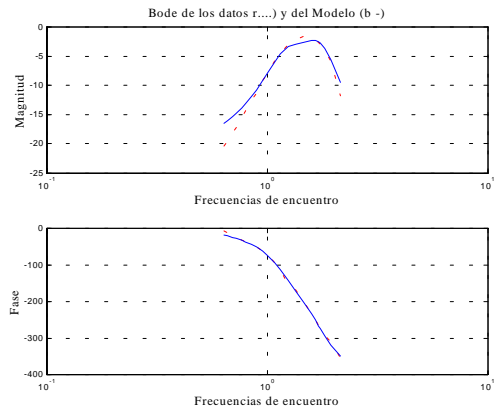


Figura 105: Bode comparativo de los datos y del Modelo en un rango de trabajo

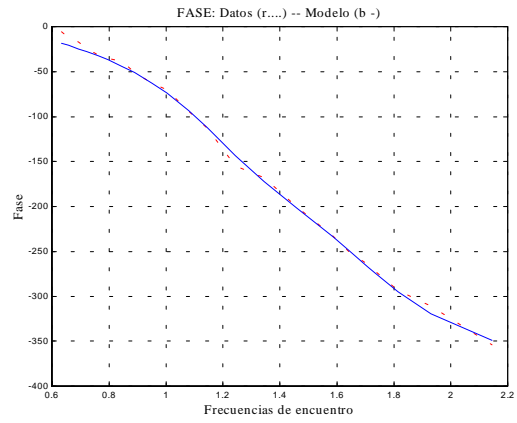
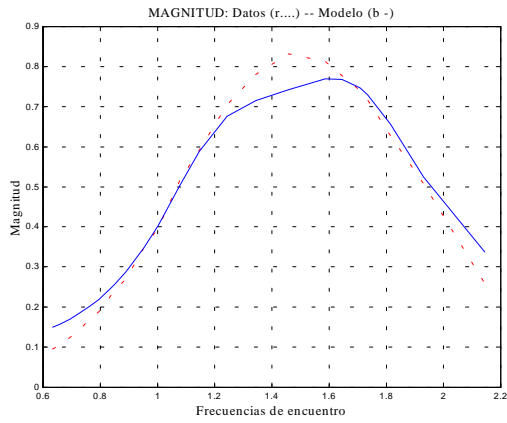


Figura 106: Bodes comparativos en el rango de frecuencias de trabajo

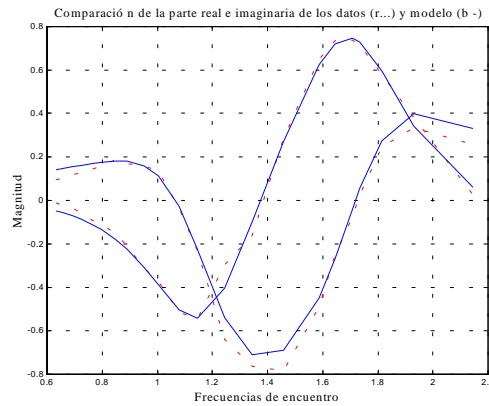


Figura 107: Comparación de la parte real e imaginaria de datos y modelo para la J

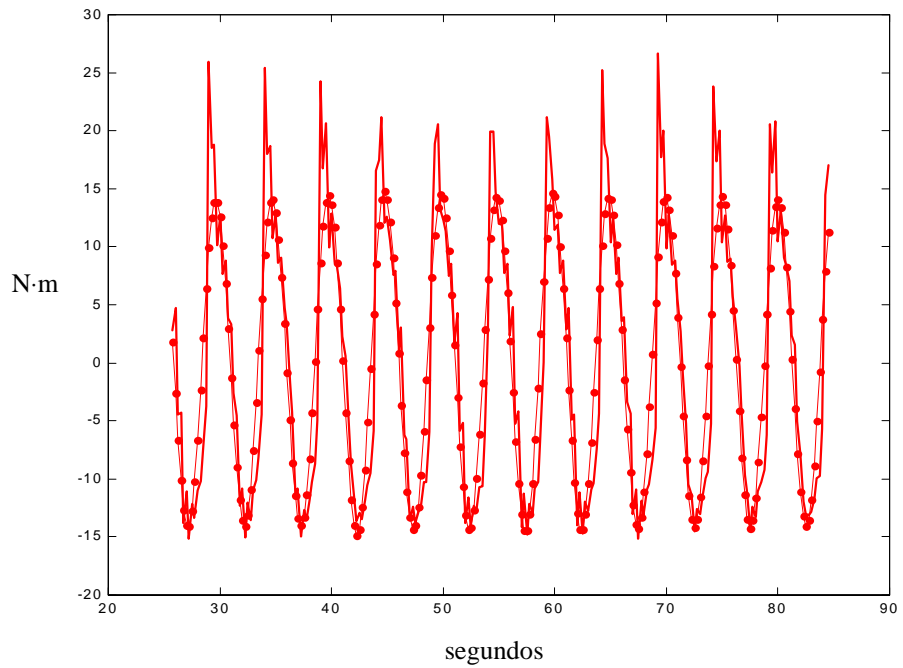


Figura 108 Validación momentos pitch datos – momentos pitch modelo para olas regulares. Error 11.591.

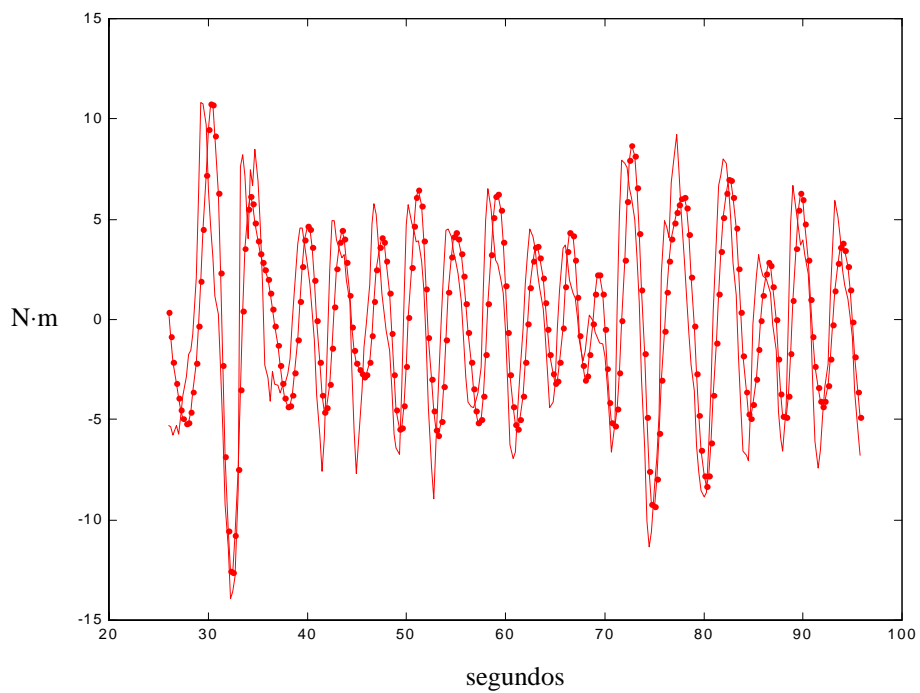


Figura 109: Validación momentos pitch datos – momentos pitch modelo para olas irregulares. Error 3.198.

velocidad de 40 nudos
Modelo m4m-12-14

A.- Datos del modelo

Valor de la función de coste **J = 281.45**

$$G(s) = \frac{(0.0)(-0.980)(1.290 \pm 0.988i)}{(-0.092)(-0.336 \pm 1.838i)(-0.334 \pm 1.241i)} =$$

$$= \frac{2.0502 s^4 - 3.2803 s^3 + 0.2293 s^2 - 5.3048 s}{s^5 + 1.432s^4 + 5.715 s^3 + 3.9564 s^2 + 6.0828 s + 0.5305}$$

Ceros	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.980	1.0	-0.794
1.290 + 0.988i	0.988	1.62

Polos	Factor de amortiguamiento	Frecuencia natural (rad/s)
-0.092	1.0	0.092
-0.336 + 1.838i	0.18	1.87
-0.334 + 1.241i	0.26	1.29

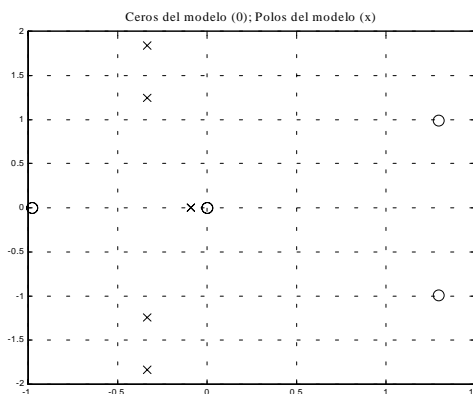


Figura 110 Ubicación de ceros y polos en el plano S

B.- Validación

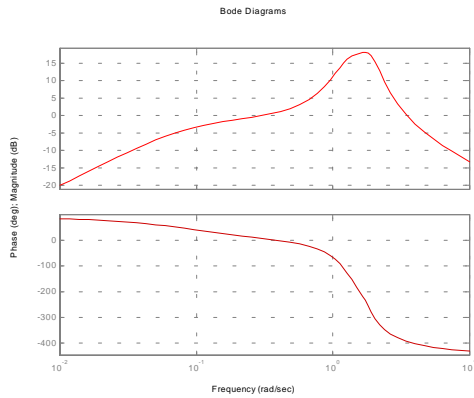


Figura 111. Bode del modelo en un rango de datos y general de frecuencias

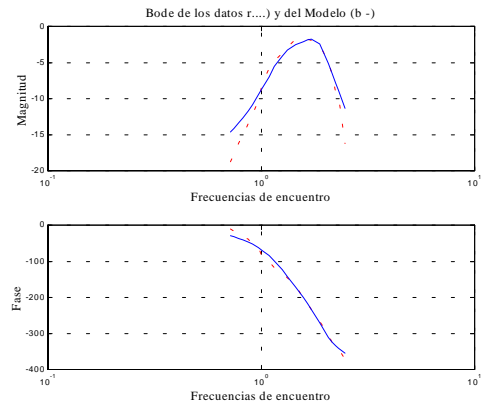


Figura 112: Bode comparativo de los datos en un rango de trabajo

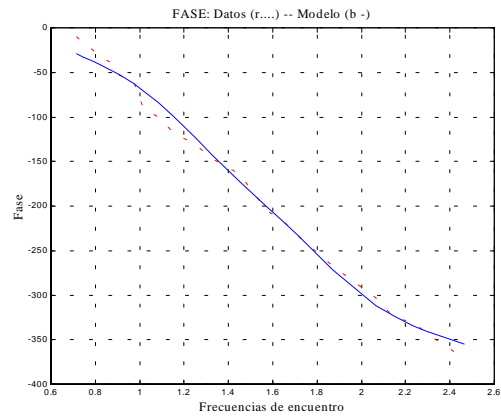
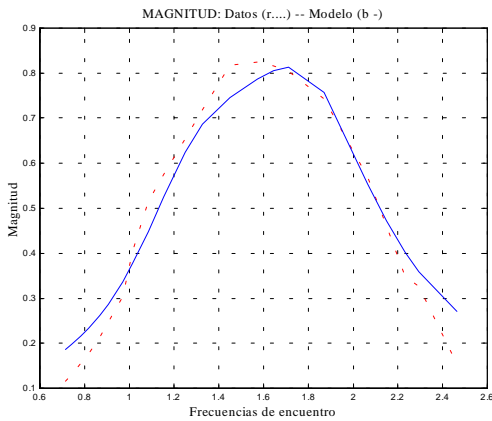


Figura 113: Bodes comparativos en el rango de frecuencias de trabajo

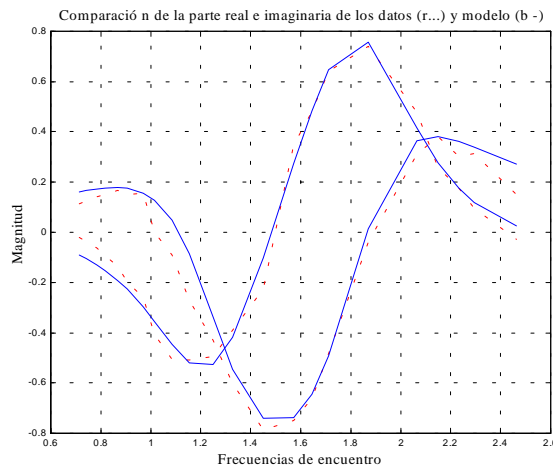


Figura 114: Comparación de la parte real e imaginaria de datos y modelo para la J

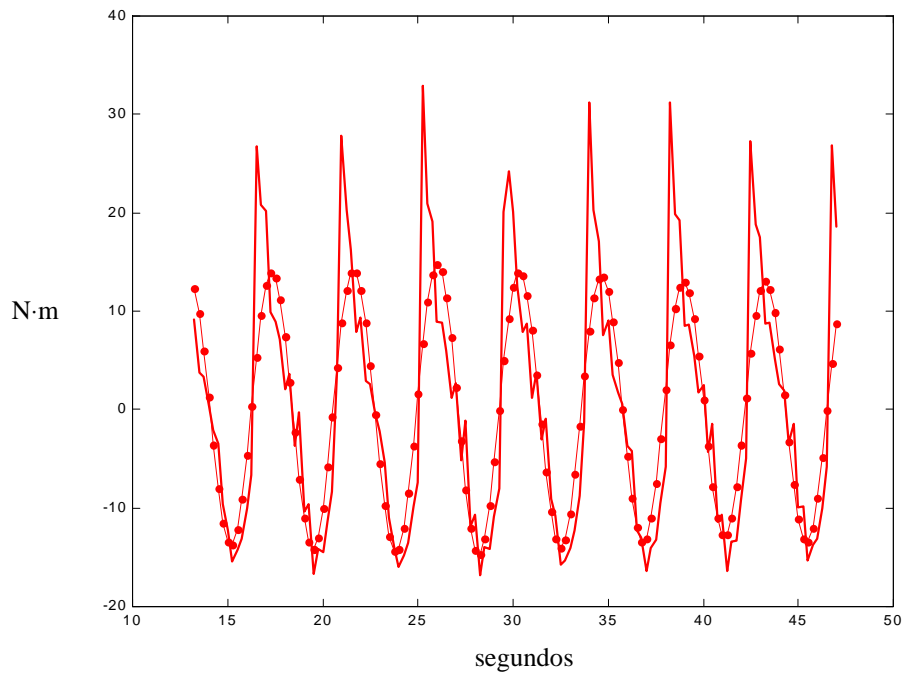


Figura 115 Validación momentos pitch datos – momentos pitch modelo para olas regulares. Error 0.0095.

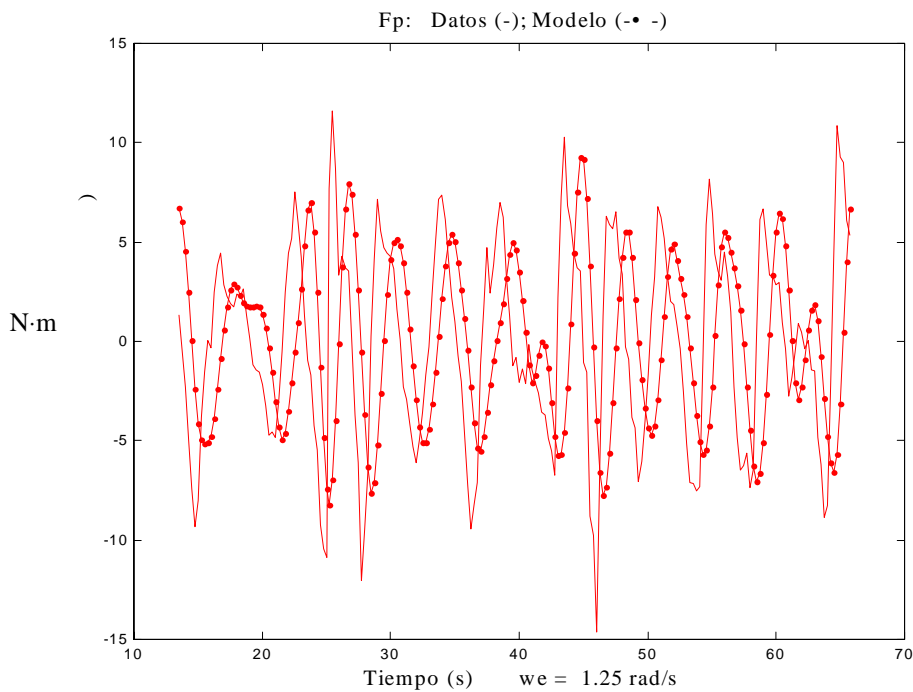


Figura 116: Validación momentos pitch datos – momentos pitch modelo para olas irregulares. Error 0.0026.

VALIDACIÓN DE UN ÚNICO MODELO PARA LAS VELOCIDADES DE 20, 30 Y 40 NUDOS

Heave Modelo h3m0406

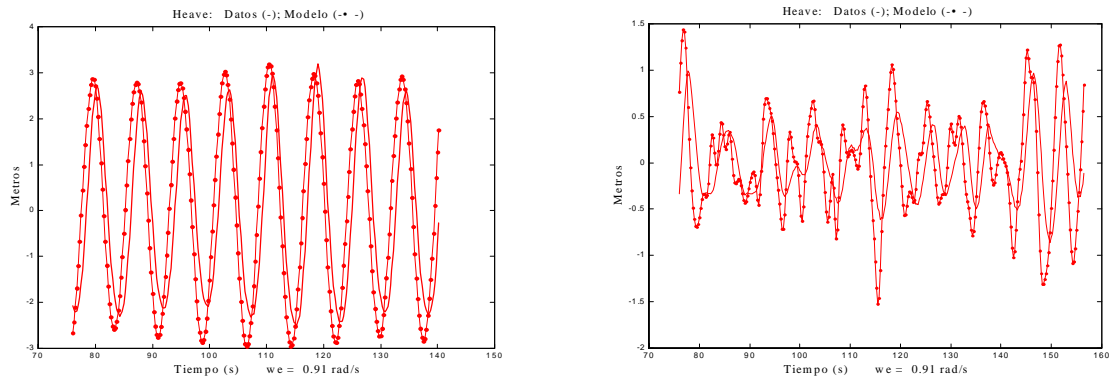


Figura 117. Respuesta Olas-Heave para 20 nudos. Error 0.2857 – Error 0.0874

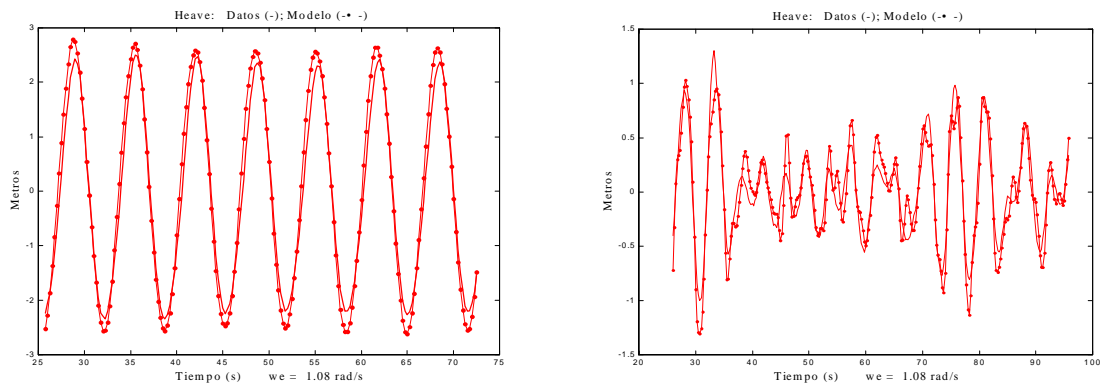


Figura 118. Respuesta Olas-Heave para 30 nudos. Error 0.0387 – Error 0.0101

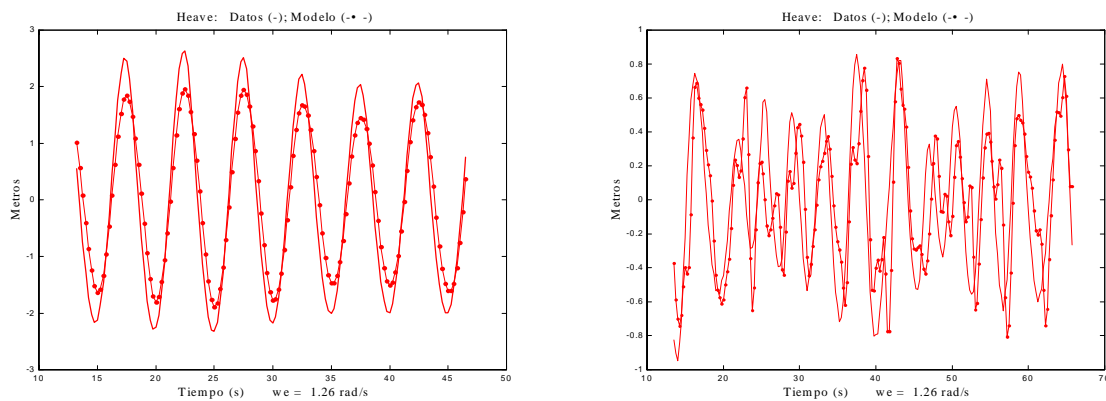


Figura 119. Respuesta Olas-Heave para 40 nudos. Error 0.0506 – Error 0.0343

Heave Modelo h3m1406

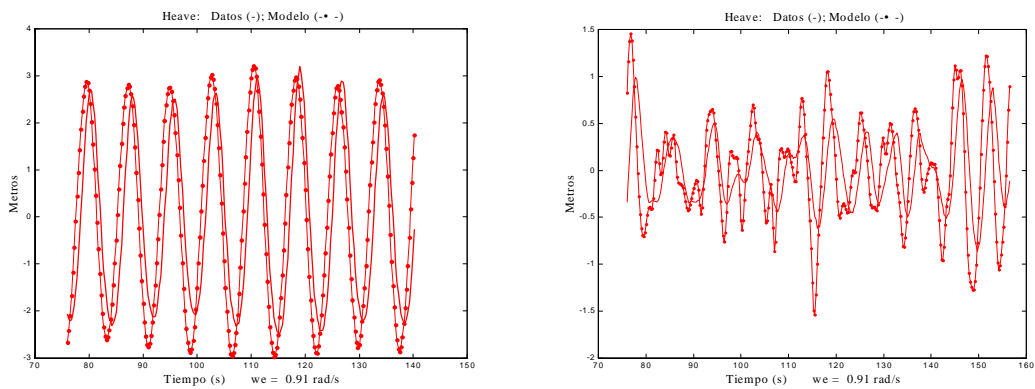


Figura 120. Respuesta Olas-Heave para 20 nudos. Error 0.2923 – Error 0.0867

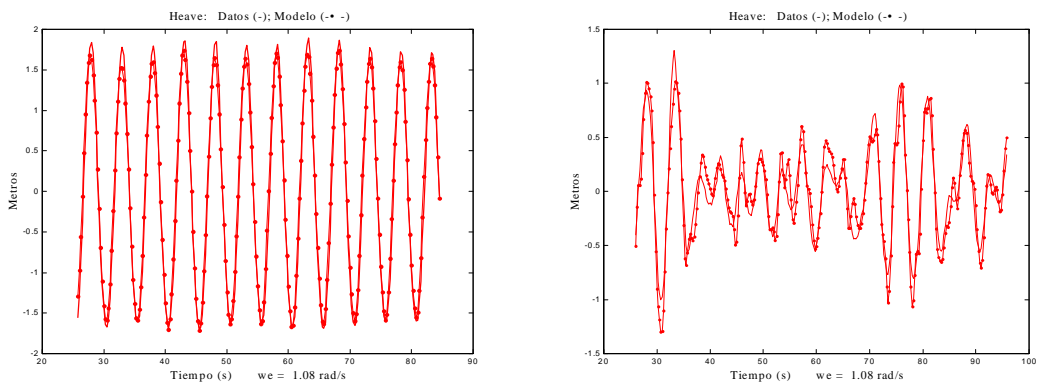


Figura 121. Respuesta Olas-Heave para 30 nudos. Error 0.0097 – Error 0.0085

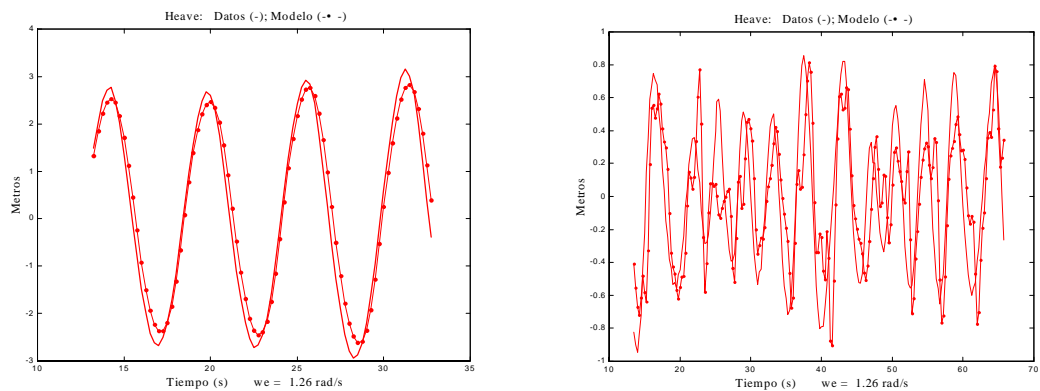


Figura 122. Respuesta Olas-Heave para 40 nudos. Error 0.0422 – Error 0.0337

PITCH Modelo P3m1406

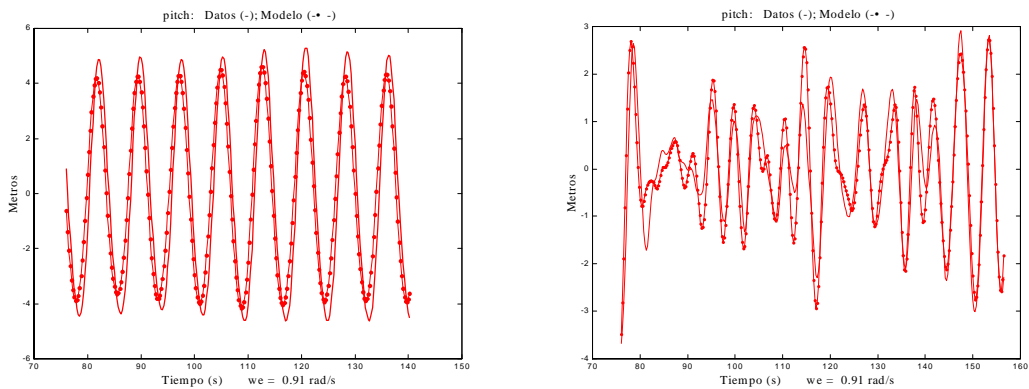


Figura 123. Respuesta Olas-Pitch para 20 nudos. Error 0.3324 – Error 0.1124

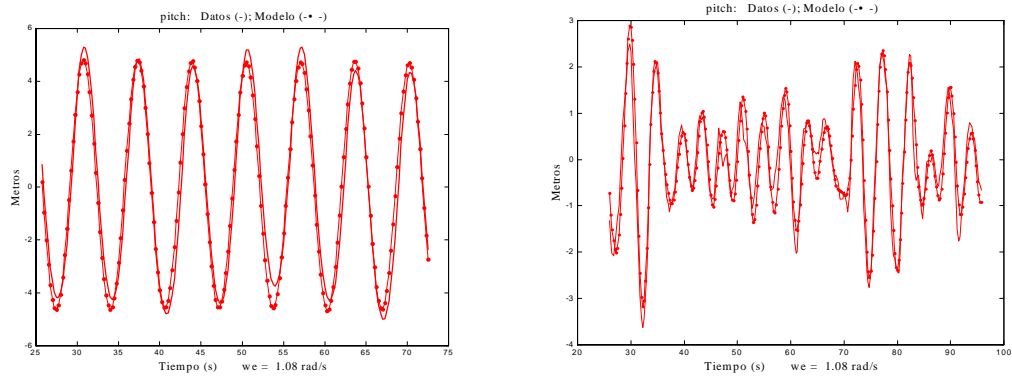


Figura 124. Respuesta Olas-pitch para 30 nudos. Error 0.1610 – Error 0.0509

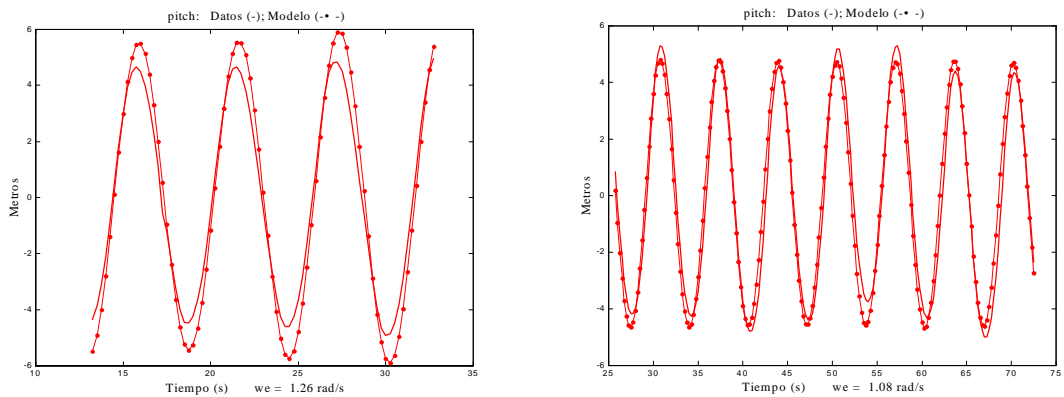


Figura 125. Respuesta Olas-Pitch para 40 nudos. Error 0.1583 – Error 0.2464

PITCH Modelo P3m0406

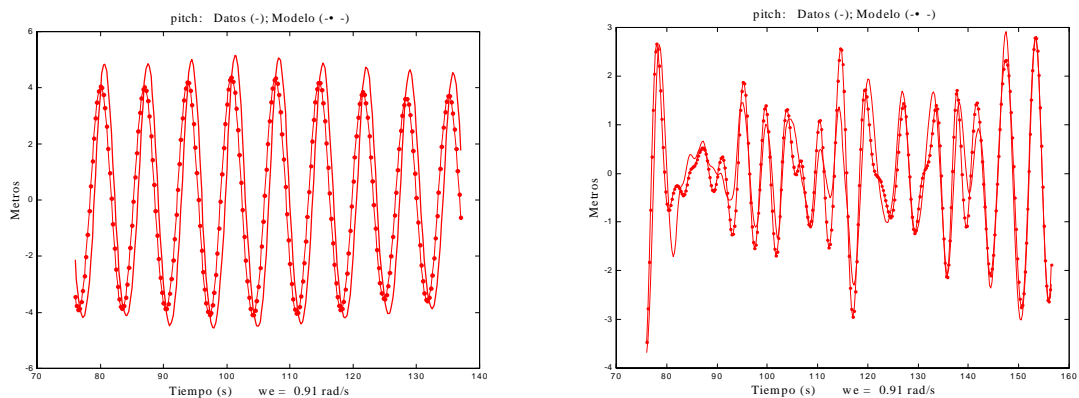


Figura 126. Respuesta Olas-Pitch para 20 nudos. Error 0.6171 – Error 0.1128

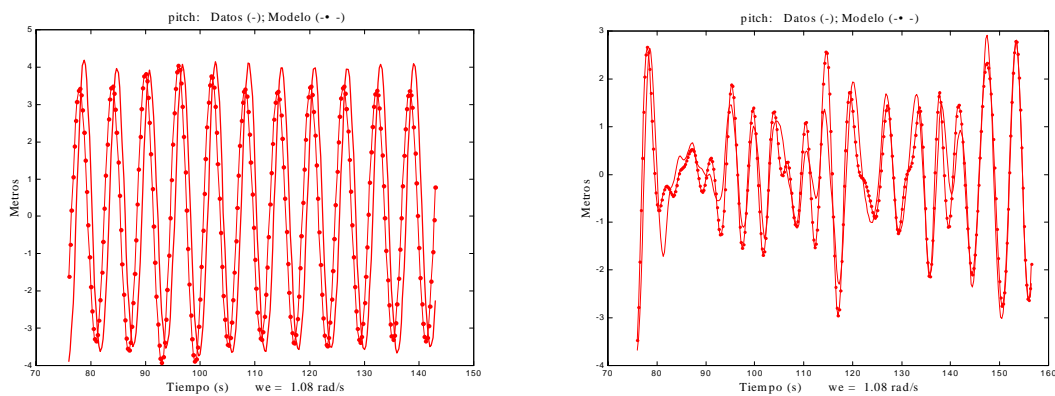


Figura 127. Respuesta Olas-Pitch para 30 nudos. Error 0.9414 – Error 0.1128

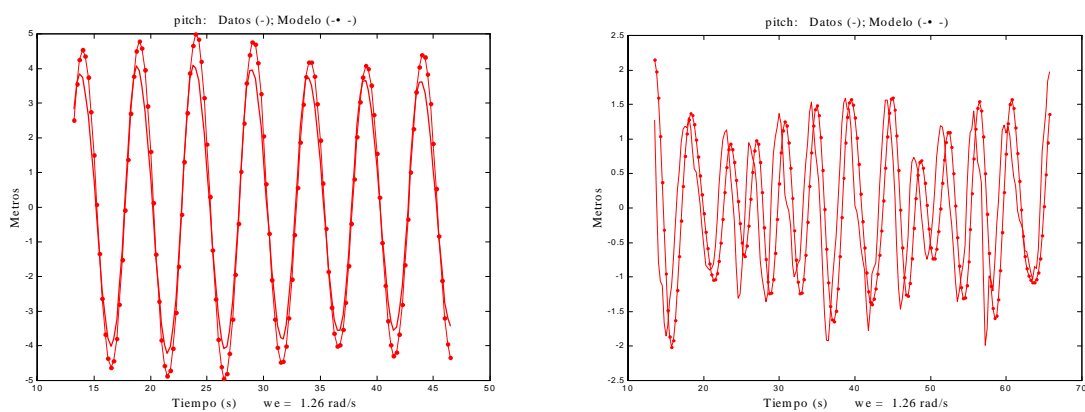


Figura 128. Respuesta Olas-Pitch para 40 nudos. Error 0.0898 – Error 0.2450

REFERENCIAS

- [1] Principles of Naval Architecture. Edward V. Lewis. 1989
- [2] Seakeeping: Ship Behaviour in Rough Weather. A.T.J.M. LOYD. 1989
- [3] Informe OTI-2135-CM-2 de los resultados del programa de comportamiento en la mar "PRECAL" del Ferry TF-120 para investigación de control. CANAL DE EXPERIENCIAS HIDRODINÁMICAS DEL PARDO.
- [4] Informe OTI-2135-CM-1 de los ensayos de comportamiento en la mar del Ferry TF-120 para investigación de control. CANAL DE EXPERIENCIAS HIDRODINÁMICAS DEL PARDO.
- [5] A Method for Model Parameter Identification Using Parallel Genetic Algorithms. J.I. Hidalgo, M. Prieto, J. Lanchares, F.Tirado, B. de Andrés, S.Esteban and D. Rivera. A genetic And Evolutionary Computation Conference. GECCO-99 13 de julio de 1999. Orlando. (USA).
- [6] Parallel Genetic Algorithms: An application for Model Parameter Identification in Process Control. B.de Andrés, S. Esteban, D. Rivera, J.I. Hidalgo, M. Prieto, J. Lanchares, F. Tirado. EuroPVM/MPI'99. Sabadell (Spain). 26 de septiembre de 1999.

APÉNDICE I

**MODELOS OBTENIDOS MEDIANTE LA PARALELIZACIÓN DE LOS
ALGORITMOS GENÉTICOS**

Resumen:

Esta parte del documento presenta un estudio del modelo lineal para los movimientos Heave y Pitch y para las fuerzas Heave y los momentos Pitch de un barco de alta velocidad. Para ello se han tomado los datos experimentales a las velocidades de 20, 30 y 40 nudos. Con estos datos se ha realizado la identificación de los parámetros del mismo mediante Algoritmos Genéticos. Para ello se han estudiado distintos modelos haciendo variar el número de ceros y polos de la F.T en un rango bastante amplio.

Con todos los modelos estudiados se presenta una propuesta de los más aceptables, teniendo en cuenta el valor de la función de coste y su correspondencia a las distintas velocidades.

Los modelos se han validado con los datos experimentales dados por el CEHIPAR y PRECAL.

Se presentan dos tipos de modelos:

1º.- Un modelo complejo donde se tiene en cuenta tres posibles funciones de transferencias según muestra el gráfico (fig.1)

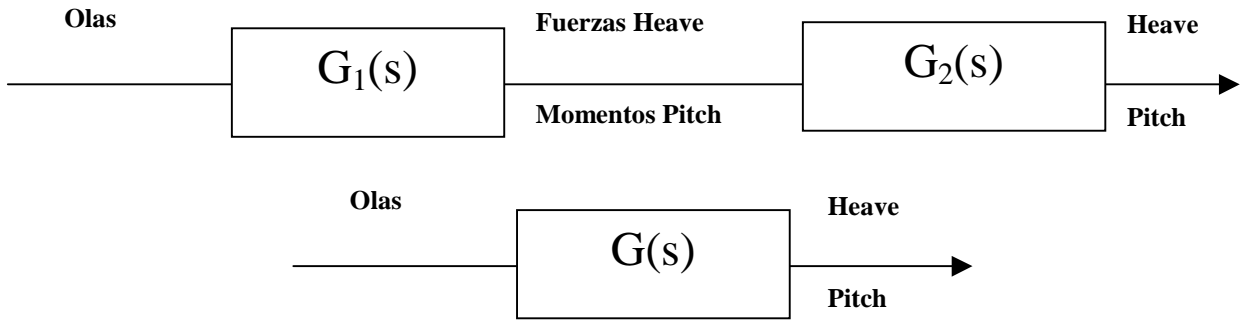


Figura 129 Esquemas de bloques de entradas salidas

2º.- Un modelo simplificado de entrada olas y salida heave (pitch)

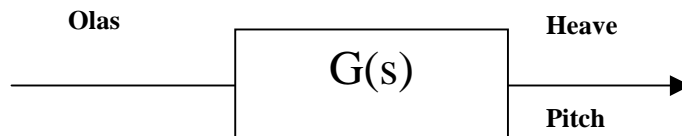


Figura 130 Esquema sencillo de entradas salidas

Modelos para construir los filtros G1 y G

Modelos para el Filtro "olas fuerzas heave"

w2f0204 -53 -1518 -1195 0 -346 -1081 619.860718
w2f0212 5 -1637 -611 0 -307 -968 930.335083
w2f0214 3 -1634 -610 0 -309 -968 0 -10000 902.428284
w2f1204 133 0 91 1897 -311 -968 -207 -127 2681.148193
w2f1212 -1874 0 212 1684 -504 0 -296 -901 1196.306519
w3f0204 -139 1861 -454 -1244 -1446 -1 783.727173
w3f0212 -88 -2066 -735 0 -391 -1116 1134.825806
w3f0214 -98 2060 -726 0 0 -10000 -390 -1115 1084.616577
w3f1204 144 0 65 -2579 -288 -12 -428 -1100 3731.387939
w3f1212 -2112 0 241 2181 -603 0 -372 -1037 1467.372681
w4f0204 -311 -2152 -530 -1390 -1606 0 979.541443
w4f0212 -326 2528 -836 0 -470 -1238 1379.866943
w4f0214 -302 -2502 -830 0 0 -10000 -472 -1244 1292.125732
w4f1204 143 0 -466 -3258 -488 -1234 -301 -18 5344.611328
w4f1212 -2033 0 273 -2766 -676 0 -449 -1147 1790.168823

Modelos para el filtro "Olas heave"

w2h1206 133 0 91 1897 -311 968 -207 127 -597 -1642 1339.836182
w2h1216 133 0 91 1897 -311 968 -207 127 -101 -1112 0 -1683 35.764946
w2h1406 133 0 91 1897 796 2333 -311 968 -207 127 -228 -1724 2119.950195
w2h1416 133 0 91 1897 -686 1 -311 968 -207 127 -300 -751 -196 -1272 1352.054810
w3h1206 144 0 65 2579 -288 12 -428 1100 -411 -1613 730.554138
w3h1216 144 0 65 2579 -288 12 -428 1100 -731 0 0 -9992 88.036339
w3h1406 144 0 65 2579 729 2861 -288 12 -428 1100 -239 -1668 2727.090576
w3h1416 144 0 65 2579 -2289 1 -288 12 -428 1100 -213 -1552 -480 0 2799.156982
w4h1206 143 0 -466 3258 -488 1234 -301 18 -363 -1653 473.654755
w4h1216 143 0 -466 3258 -488 1234 -301 18 -147 -1443 -112 -2029 40.181831
w4h1406 143 0 -466 3258 918 3180 -488 1234 -301 18 -233 -1728 4648.909180
w4h1416 143 0 -466 3258 -1300 0 -488 1234 -301 18 -335 -1033 -144 -1597 440.908203

Modelos para el filtro "Olas momentos pitch"

w2m1004 1432 0 -338 -780 -3605 -1 2801.031494
w2m0214 745 536 -10000 0 -1 -16 -413 -1069 10025.715820
w2m1012 700 0 -10000 0 -300 -759 1258.854004
w2m1014 4000 0 -10000 0 -476 -1050 -1099 -367 9016.822266
w2m1204 1257 0 268 1707 -3671 -3 -636 -862 24180.884766
w2m1214 4000 0 373 1882 -543 0 -473 -1180 -6977 -35 108202.367188
w2m0204 -36 0 -3556 -1 -136 -692 614.611511
w2m1004 1450 0 -332 -776 -3668 -1 2513.465820
w3m1004 2118 0 -471 -868 -3521 -1 3501.801025
w3m0214 1099 -1 -10000 0 -506 -1258 -1 -176 13280.484375
w3m1012 996 0 -10000 0 -368 -836 1399.125610
w3m1014 4000 0 -489 0 -446 -1161 -1056 -4335 6486.505859
w3m1204 1512 0 294 -2142 -787 -884 -4576 -5 17435.091797
w3m1214 4000 0 362 -2394 -506 0 -580 -1357 -4731 -6054 77160.562500
w3m0204 259 0 -128 -624 -3480 -1 649.159546
w4m1004 3050 0 -604 -938 -3585 -1 4294.224121
w4m0204 534 774 -1 -496 -3140 -1 747.445618
w4m0214 1363 0 -8357 0 -1 -1 -655 -1404 8995.913086
w4m1012 1320 0 -10000 0 -441 -904 1549.720337
w4m1014 4000 0 -503 0 -487 -1284 -1 -4135 4463.807617
w4m1204 1775 0 292 2586 -878 -907 -5673 -7 13446.164062
w4m1214 4000 0 215 2895 -517 0 -4217 -6924 -678 -1522 55635.078125

Modelos para el filtro "Olas pitch"

m2p1406	1266 0 319 1919 -1242 -3044	-5245 4 -454 808 -243 -1308 155.670059
m2p1416	4000 0 392 2064 -1586 -2982	-496 0 -428 1136 -8433 8 -302 -1309 82.935188
m3p1406	1658 0 410 2416 -524 3627	-567 850 -6708 9 -233 -1511 179.704544
m3p1416	4000 0 377 2685 -636 3714	-515 0 -554 1308 -6663 6247 -284 -1527 110.341209
m4p1406	2090 0 490 2926 -487 3732	-656 855 -8377 8 -208 -1629 127.693062
m4p1416	4000 0 477 3187 -433 -3832	-487 0 -1 9855 -638 1439 -258 -1642 121.610100

Modelos para construir los filtros G de modo directo sin evolución de un filtro inferior**Modelos para el filtro "Olas Heave" sin evolución de un filtro inferior**

w2h0212	475 1386	-775 0 -347 -966	2085.95
w2h0406	562 -1559 -1086 45	-384 -556 -2797 -706 -368 -1085	7033.31
w2h0414	557 1131 -4 -1840	-1648 0 -427 -999 -9997 -7376	8536.36
w2h1406	-2891 0 -42 -1809 538 1128	-936 -1012 -527 -1025 -50 -10000	9856.64
w3h0212	658 -1543	-811 0 -326 -1195	506.93
w3h0406	732 -2026 -636 2959	-3032 -3977 -489 -855 -286 -1514	6202.35
w3h0414	671 -1417 -77 -2119	-10000 0 -873 -1066 -428 -1509	4790.75
w3h1406	-1735 0 -30 2146 670 1353	-771 776 -370 -1462 -10494 696	4773.12
w4h0212	849 -1704	-852 0 -298 -1369	251.40
w4h0406	-722 -3186 844 2398	-607 -1031 -4442 -1348 -264 -1657	5658.98
w4h0414	823 1742 -168 2376	-2160 0 -354 -1661 -909 -1420	4754.91
w4h1406	-1510 0 -174 -2354 817 1764	-380 -1662 -843 -1594 -1405 -526	4339.84

Modelos para el filtro "Olas pitch" sin evolución de un filtro inferior

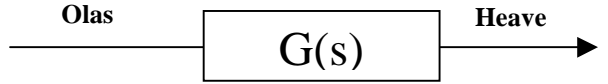
w2p1214	2450 0 490 1823	-4906 0 -255 -1358 -347 -815	1023.08
w3p1214	2287 0 528 2244	-4498 0 -261 1546 -448 920	854.57
w4p1214	2430 0 550 2597	-4713 0 -263 1661 -560 1041	935.24
w2p1206	4000 0 465 1994	-248 1363 -340 815 -2038 2349	1078.42
w3p1206	4000 0 469 2500	-269 1556 -471 938 -2135 2035	1128.36
w4p1206	4000 0 260 3141	-262 1690 -557 1127 -2938 703	1337.81
w2p1406	3853 0 342 2646 758 1886	-369 843 -265 1376 -6261 3715	1223.55
w3p1406	4000 0 1067 1888 -125 2434	-4935 386 -301 1591 -542 1043	2167.56
w4p1406	4000 0 1204 2135 -180 2674	-314 1679 -740 1245 -5004 129	3721.46
w2p1416	3998 0 -667 -3372 613 1857	-7519 0 -254 -1363 -352 -820 -1923 3011	1195.45
w3p1416	4000 0 -773 -2642 847 -2370	-7239 0 -266 -1597 -485 -1029 -2184 -1356	1412.67
w4p1416	4000 0 -704 3023 1029 3018	-6009 0 -276 -1708 -582 -1202 -3465 -145	2090.48

Presentación y validación de un modelo sencillo para el heave

Modelos Olas Heave $G(s) = wxh1406$

Este modelo responden a la estructura general siguiente:

**Velocidad de 20 nudos
 Ecuaciones del modelo a 20
 nudos**



$$G(s) = \frac{17.07 s^5 + 32.42 s^4 + 32.06 s^3 + 176.3 s^2 - 80.11 s + 252.4}{s^6 + 3.026 s^5 + 105.5 s^4 + 297.6 s^3 + 523.2 s^2 + 449.2 s + 252.4}$$

damping de los polos

Eigenvalue	Damping	Freq. (rad/s)
-5.00e-002 + 1.00e+001i	5.00e-003	1.00e+001
-5.00e-002 - 1.00e+001i	5.00e-003	1.00e+001
-9.36e-001 + 1.01e+000i	6.79e-001	1.38e+000
-5.27e-001 + 1.02e+000i	4.57e-001	1.15e+000
-9.36e-001 - 1.01e+000i	6.79e-001	1.38e+000
-5.27e-001 - 1.02e+000i	4.57e-001	1.15e+000

J = 9.8587e+003

Gráficas de resultados

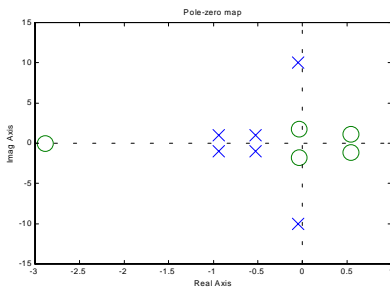


Figura 131: Mapa de polos y ceros.

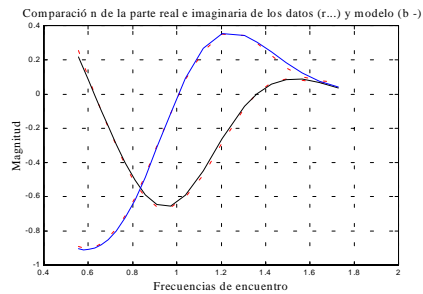


Figura 132: Parte real e imaginaria.

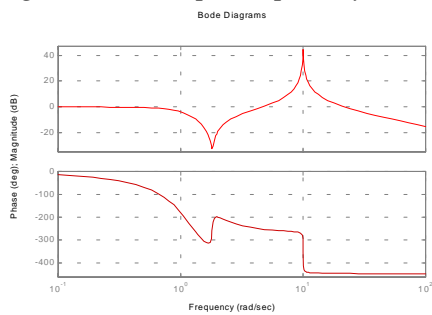


Figura 133: Bode del sistema.

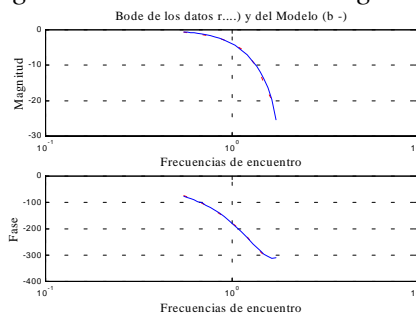


Figura 134: Bode comparado.

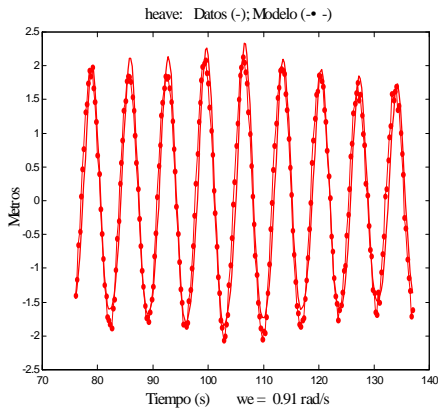


Figura 135: Validación con olas regulares.

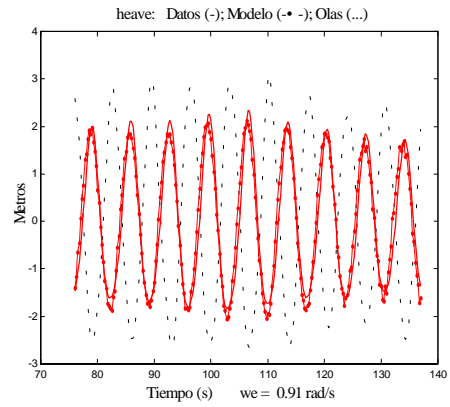


Figura 136: Validación con olas regulares.

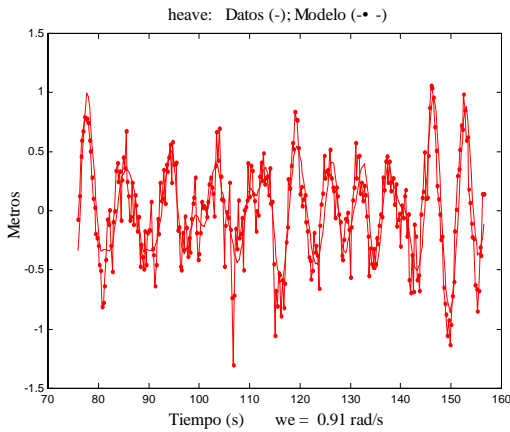


Figura 137: Validación con olas irregulares.

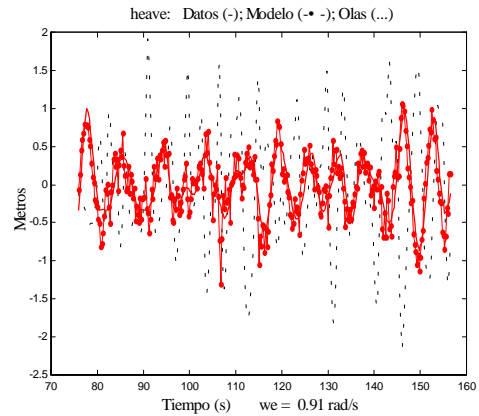


Figura 138: Validación con olas irregulares.

Para las olas regulares

Error cuadrático medio ...= 0.1423
 Covarianza..... = 0.0528

Para las olas irregulares

Error cuadrático medio ...= 0.0874
 Covarianza = 0.0325

Velocidad de 30 nudos
Ecuaciones del modelo a 30 nudos

$$G(s) = \frac{16.52 s^5 + 7.518 s^4 + 75.75 s^3 + 95.37 s^2 + 0.4662 s + 301}{s^6 + 23.27 s^5 + 163.1 s^4 + 353.6 s^3 + 605 s^2 + 543 s + 301}$$

damping de los polos

Eigenvalue	Damping	Freq. (rad/s)
-1.05e+001 - 6.96e-001i	9.98e-001	1.05e+001
-1.05e+001 + 6.96e-001i	9.98e-001	1.05e+001
-3.70e-001 - 1.46e+000i	2.45e-001	1.51e+000
-7.71e-001 - 7.76e-001i	7.05e-001	1.09e+000
-3.70e-001 + 1.46e+000i	2.45e-001	1.51e+000
-7.71e-001 + 7.76e-001i	7.05e-001	1.09e+000

J = 4773.6

Gráficas de resultados para el modelo olas MOMENTO w4m1204

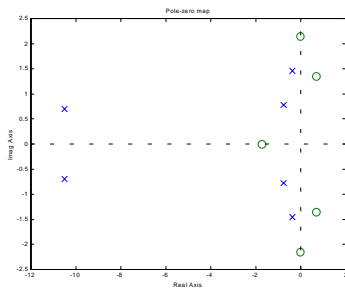


Figura 139: Mapa de polos y ceros.

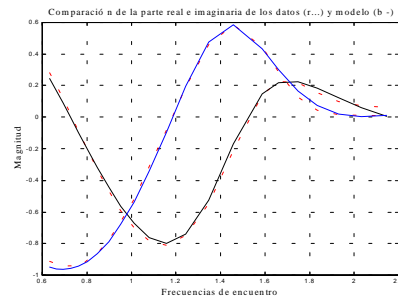


Figura 140: Parte real e imaginaria.

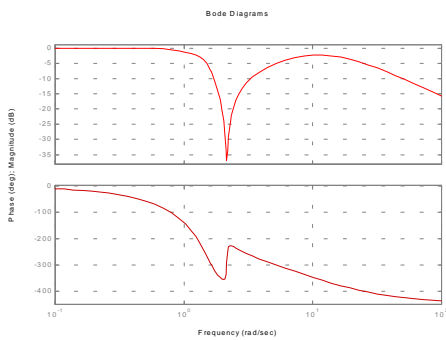


Figura 141: Bode del sistema.

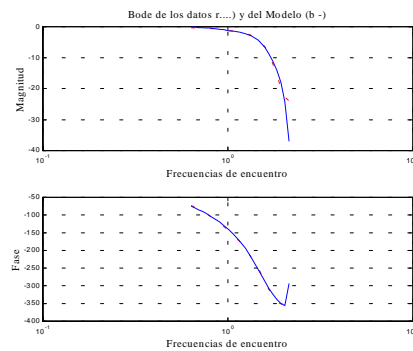


Figura 142: Bode comparado.

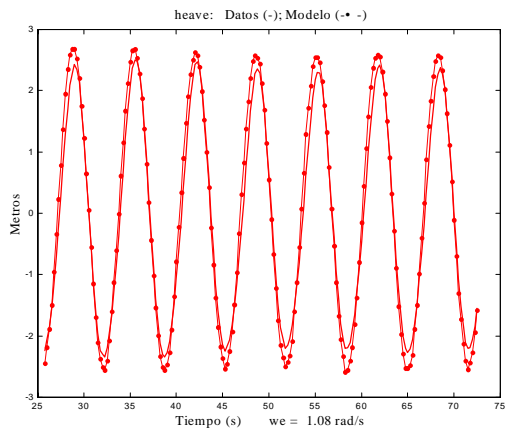


Figura 143: Validación con olas regulares.

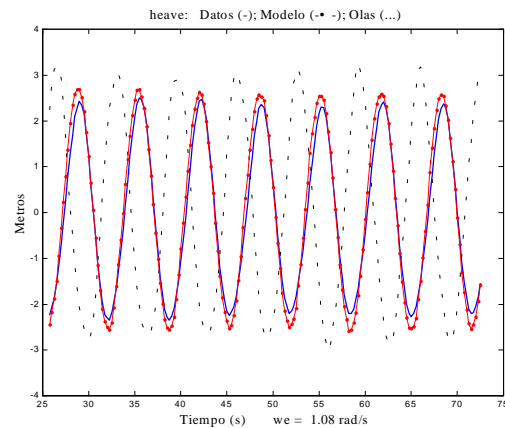


Figura 144: Validación con olas regulares.

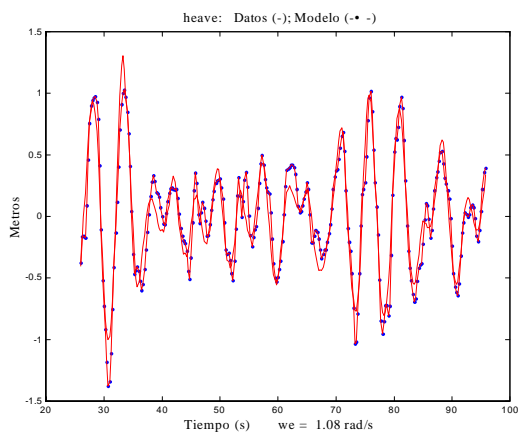


Figura 145: Validación con olas irregulares.

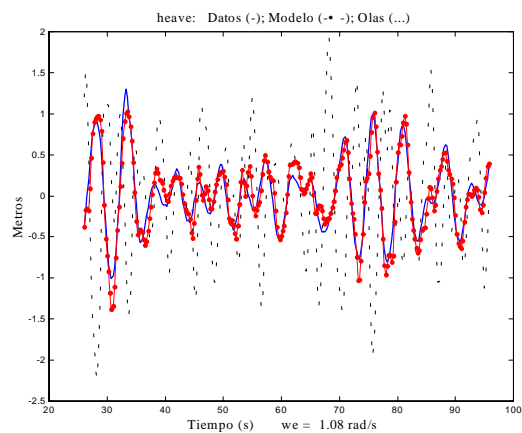


Figura 146: Validación con olas irregulares.

Para las olas regulares

Error cuadrático medio ...= 0.0953
 Covarianza.....= 0.0331

Para las olas irregulares

Error cuadrático medio ...= 0.0221
 Covarianza = 0.0076

Velocidad de 40 nudos Ecuaciones del modelo a 40 nudos

$$G(s) = \frac{0.669 s^5 + 0.1499 s^4 + 4.576 s^3 + 3.661 s^2 + 6.218 s + 21.27}{s^6 + 5.256 s^5 + 16.56 s^4 + 33.78 s^3 + 46.91 s^2 + 43.15 s + 21.27}$$

damping de los polos

Eigenvalue	Damping	Freq. (rad/s)
-3.80e-001 + 1.66e+000i	2.23e-001	1.70e+000
-8.43e-001 + 1.59e+000i	4.68e-001	1.80e+000
-3.80e-001 - 1.66e+000i	2.23e-001	1.70e+000
-8.43e-001 - 1.59e+000i	4.68e-001	1.80e+000
-1.40e+000 - 5.26e-001i	9.37e-001	1.50e+000
-1.41e+000 + 5.26e-001i	9.37e-001	1.50e+000

J = 4.3402e+003

Gráficas de resultados para el modelo olas MOMENTO w4m1204

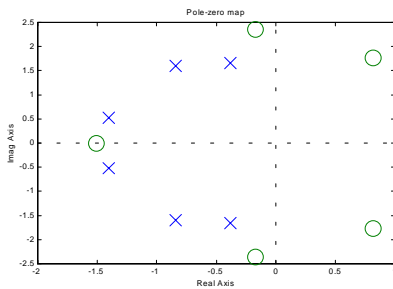


Figura 147: Mapa de polos y ceros.

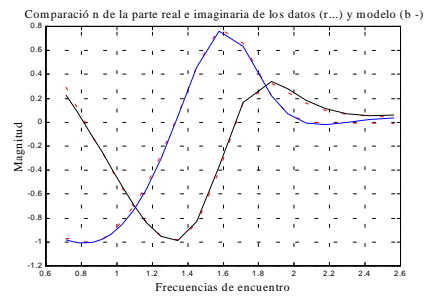


Figura 148: Parte real e imaginaria.

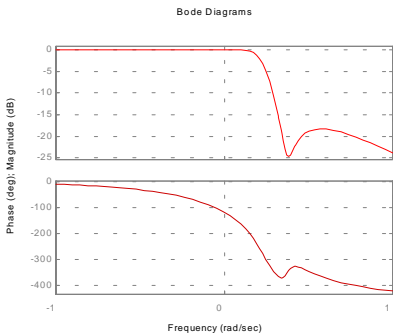


Figura 149: Bode del sistema.

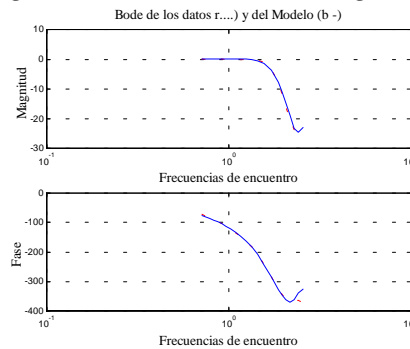


Figura 150: Bode comparado.

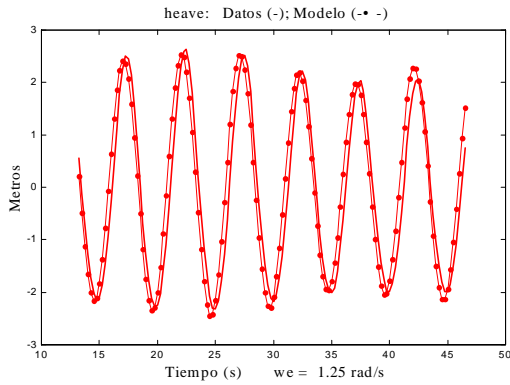


Figura 151: Validación con olas regulares.

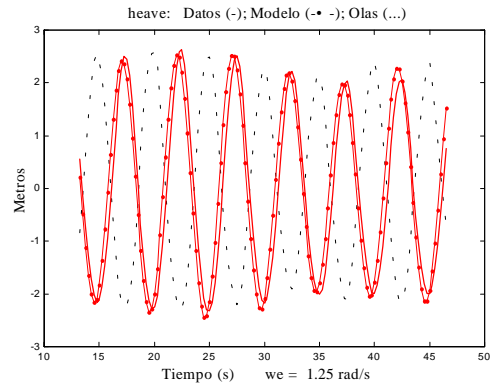


Figura 152: Validación con olas regulares.

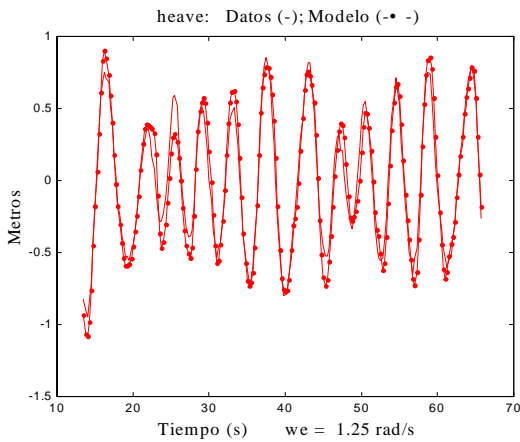


Figura 153: Validación con olas irregulares.

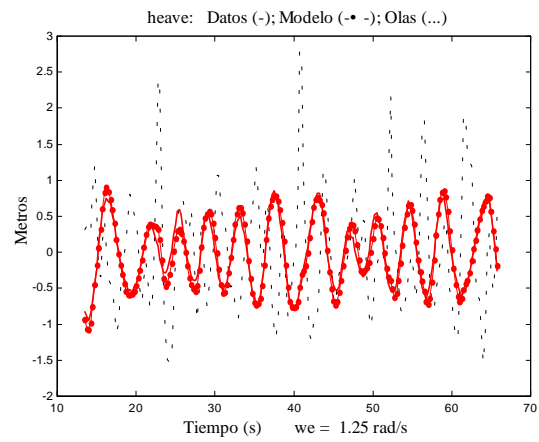


Figura 154: Validación con olas irregulares.

Para las olas regulares

Error cuadrático medio ...= 0.3205

Covarianza..... = 0.0728

Para las olas irregulares

Error cuadrático medio ...= 0.0122

Covarianza = 0.0043

Presentación y validación de un modelo sencillo para el Pitch

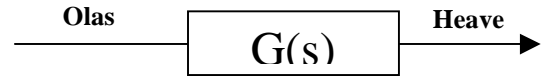
Modelos $G(s) = wxP1416$

Estos modelos responden a la estructura general siguiente:

Velocidad de 20 nudos

Ecuaciones del modelo a 20 nudos

$$G(s) = \frac{s^6 - 3.89 s^5 + 13.57 s^4 - 65.37 s^3 + 82.7 s^2 - 180.6 s}{s^7 + 12.58 s^6 + 58.53 s^5 + 183.2 s^4 + 266.1 s^3 + 385.9 s^2 + 232.5 s + 146.9}$$



damping de los polos

Eigenvalue	Damping	Freq. (rad/s)
-7.52e+000 - 3.80e-016i	1.00e+000	7.52e+000
-1.92e+000 + 3.01e+000i	5.38e-001	3.57e+000
-1.92e+000 - 3.01e+000i	5.38e-001	3.57e+000
-2.54e-001 + 1.36e+000i	1.83e-001	1.39e+000
-2.54e-001 + 8.20e-001i	3.94e-001	8.92e-001
-2.54e-001 - 1.36e+000i	1.83e-001	1.39e+000
-2.54e-001 - 8.20e-001i	3.94e-001	8.92e-001

J = 1.1955e+003

Gráficas de resultados para el modelo olas pitch w2p1416

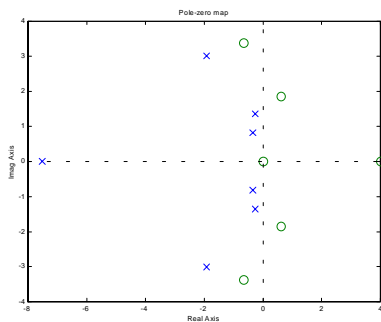


Figura 155: Mapa de polos y ceros.

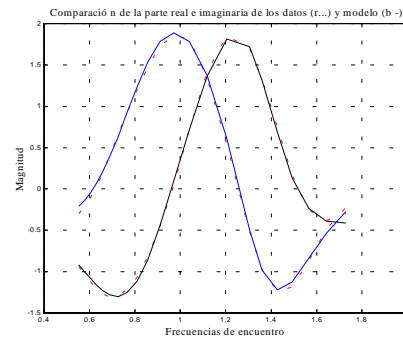


Figura 156: Parte real e imaginaria.

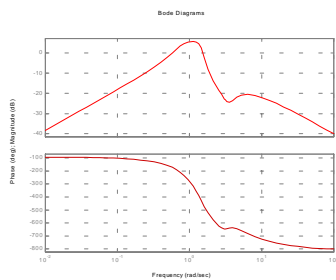


Figura 157: Bode del sistema.

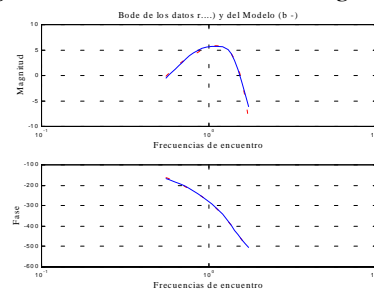


Figura 158: Bode comparado.

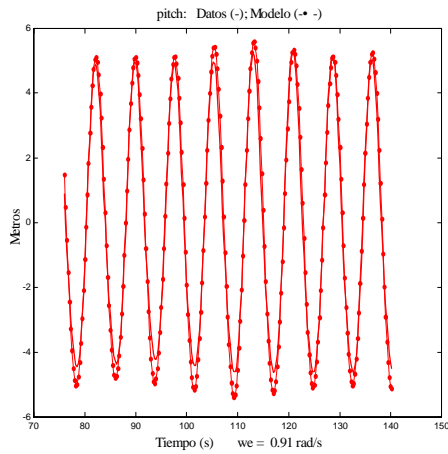


Figura 159: Validación con olas regulares.

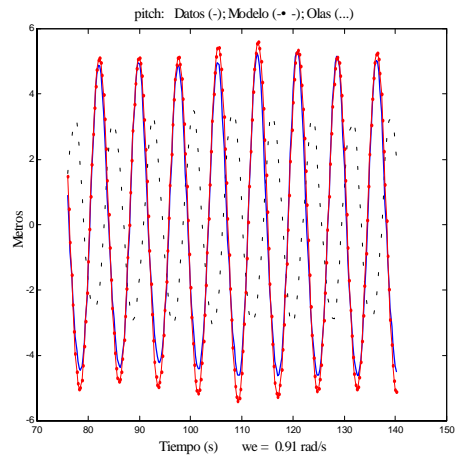


Figura 160: Validación con olas regulares.

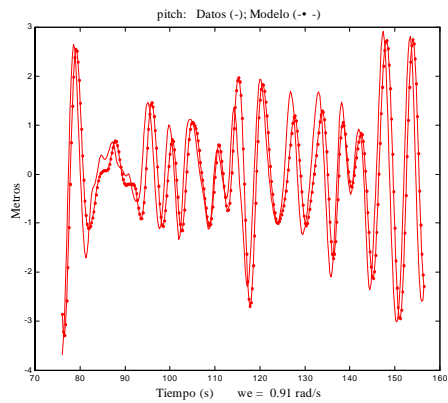


Figura 161: Validación con olas irregulares.

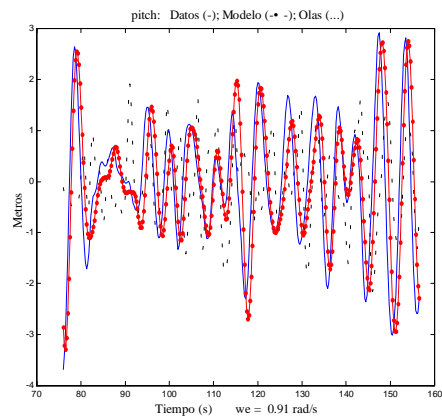


Figura 162: Validación con olas irregulares.

Para las olas regulares

Error cuadrático medio ...= 0.1644

Covarianza..... = 0.0548

Para las olas irregulares

Error cuadrático medio ...= 0.6878

Covarianza = 0.2584

Velocidad de 30 nudos Ecuaciones del modelo a 30 nudos

$$G(s) = \frac{s^6 - 4.148 s^5 + 11.89 s^4 - 48.22 s^3 + 60.17 s^2 - 192 s}{s^7 + 13.11s^6 + 60.09 s^5 + 159.9 s^4 + 282.1 s^3 + 374.9 s^2 + 284.2 s + 162.3}$$

damping de los polos

Eigenvalue	Damping	Freq. (rad/s)
-7.24e+000 + 5.28e-016i	1.00e+000	7.24e+000
-2.18e+000 - 1.36e+000i	8.50e-001	2.57e+000
-2.18e+000 + 1.36e+000i	8.50e-001	2.57e+000
-2.66e-001 - 1.60e+000i	1.64e-001	1.62e+000
-4.85e-001 - 1.03e+000i	4.26e-001	1.14e+000
-2.66e-001 + 1.60e+000i	1.64e-001	1.62e+000
-4.85e-001 + 1.03e+000i	4.26e-001	1.14e+000

J = 1.4127 e+003

Gráficas de resultados para el modelo olas pitch w3p1416

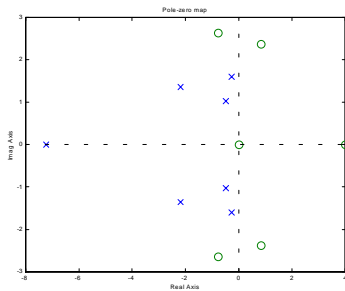


Figura 163: Mapa de polos y ceros.

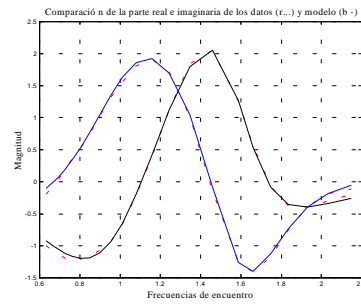


Figura 164: Parte real e imaginaria.

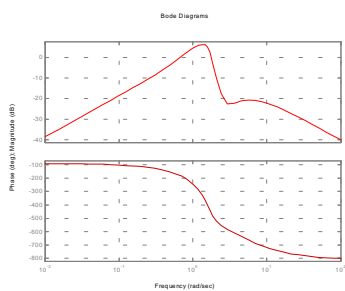


Figura 165: Bode del sistema.

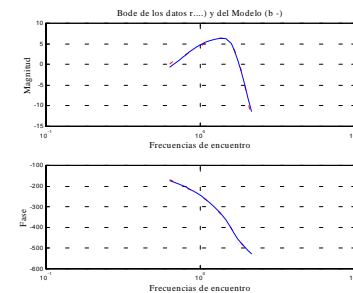


Figura 166: Bode comparado.

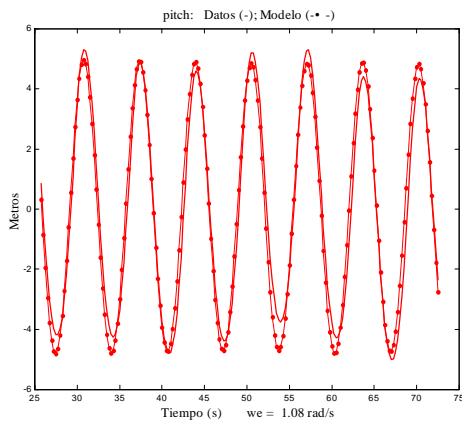


Figura 167: Validación con olas regulares.

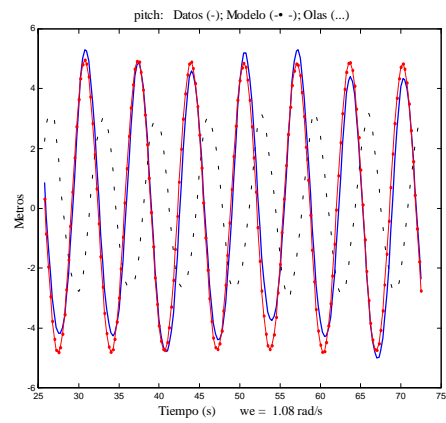


Figura 168: Validación con olas regulares.

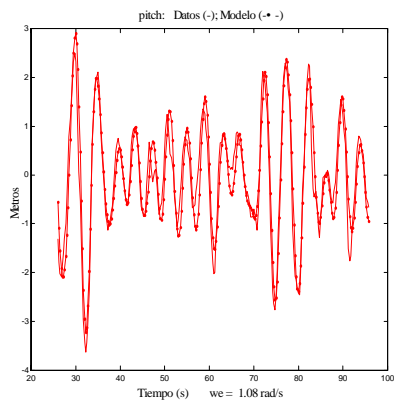


Figura 169: Validación con olas irregulares.

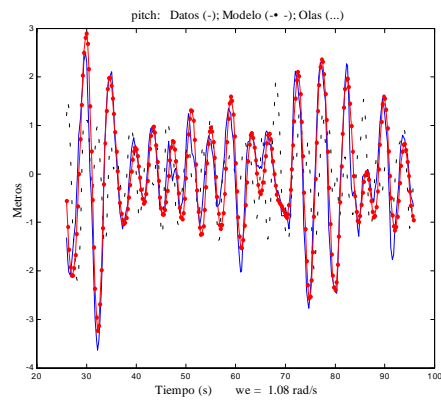


Figura 170: Validación con olas irregulares.

Para las olas regulares

Error cuadrático medio ... = 0.4576

Covarianza..... = 0.1492

Para las olas irregulares

Error cuadrático medio ... = 0.1704

Covarianza = 0.0623

Velocidad de 40 nudos Ecuaciones del modelo a 40 nudos

$$G(s) = \frac{s^6 - 4.65 s^5 + 19.5 s^4 - 73.13 s^3 + 120 s^2 - 391.8 s}{s^7 + 14.65 s^6 + 81.29 s^5 + 239 s^4 + 478 s^3 + 700.6 s^2 + 609.5 s + 385.9}$$

damping de los polos

Eigenvalue	Damping	Freq. (rad/s)
-6.01e+000 - 5.01e-016i	1.00e+000	6.01e+000
-3.47e+000 + 1.45e-001i	9.99e-001	3.47e+000
-3.47e+000 - 1.45e-001i	9.99e-001	3.47e+000
-2.76e-001 + 1.71e+000i	1.60e-001	1.73e+000
-5.82e-001 + 1.20e+000i	4.36e-001	1.34e+000
-2.76e-001 - 1.71e+000i	1.60e-001	1.73e+000
-5.82e-001 - 1.20e+000i	4.36e-001	1.34e+000

J = 2.0906e+003

Gráficas de resultados para el modelo olas pitch w4p1416

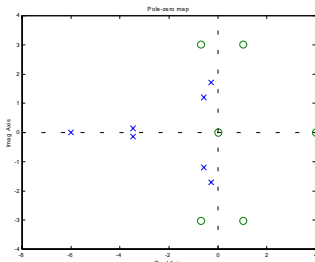


Figura 171: Mapa de polos y ceros.

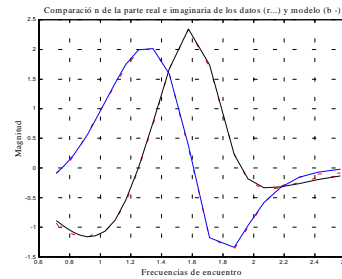


Figura 172: Parte real e imaginaria.

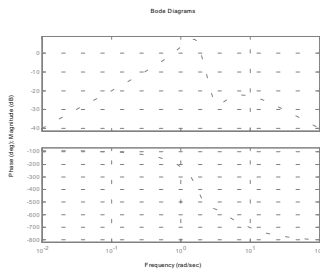


Figura 173: Bode del sistema.

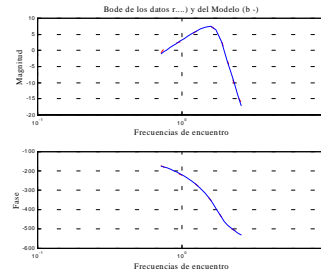


Figura 174: Bode comparado.

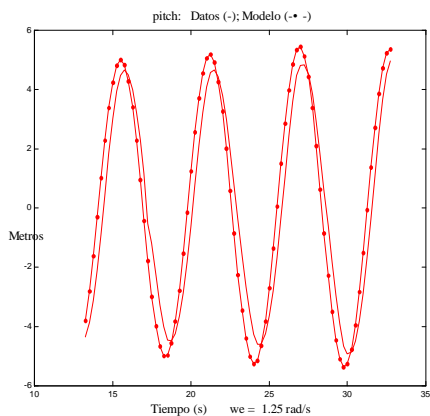


Figura 175: Validación con olas regulares.

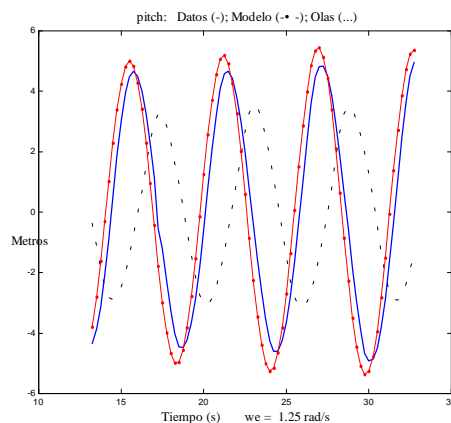


Figura 176: Validación con olas regulares.

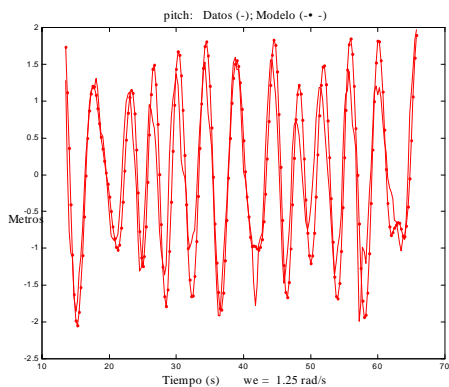


Figura 177: Validación con olas irregulares.

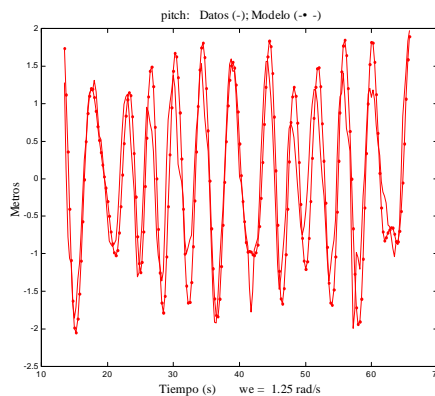


Figura 178: Validación con olas irregulares.

Para las olas regulares

Error cuadrático medio ...= 1.529
 Covarianza..... = 0.3211

Para las olas irregulares

Error cuadrático medio ...= 0.2733
 Covarianza = 0.0882