



# CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

DOCUMENTO N°: **CRIBAV-03-01**

*Fecha:* 26-3-99

*Código SubProyecto:* **TAP97-0607-003-03**

TÍTULO DEL DOCUMENTO

MODELADO  
DE LAS  
PERTURBACIONES

**Autores:**

L. Bravo

E. Moyano

F.J. Velasco

# CRIBAV

---

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

DOCUMENTO N°: **CRIBAV-03-01**

*Fecha:* **26-3-99**

*Código SubProyecto:* **TAP97-0607-003-03**

## TÍTULO DEL DOCUMENTO

# MODELADO DE LAS PERTURBACIONES

### **Autores:**

L. Bravo

E.Moyano

F.J. Velasco

**Grupo:** U. Cantabria

**Responsable del Grupo:** F.J. Velasco

**Responsable del Informe:** F.J. Velasco

*SubProyecto:* **TAP97-0607-003-03**

*Version:* 2

### **Lista y Filiación de Autores:**

L. Bravo <sup>1</sup>

E. Moyano <sup>1</sup>

F.J. Velasco <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Depto. Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación. U. Cantabria

<sup>2</sup> Depto. TEISA. U. Cantabria

### **Agradecimientos:**

### **Lista de distribución:**

**Resumen:**

En este documento se analizan distintos modelos lineales discretos identificados para las perturbaciones que son los oleajes irregulares. Para ello se parte del espectro teórico de Bretschneider, que es uno de los recomendados por la ITTC. Dichos modelos se utilizan para implementar un modelo lineal en Simulink que permita simular las perturbaciones en función de distintos estados de la mar (Clasificación SSN: fuerzas 4, 5 y 6 con los valores utilizados en el CEHIPAR).

**Summary:**

## **CONTENIDO**

1.- MODELO LINEAL DE LAS PERTURBACIONES	
1.1 Introducción	2
1.2 Generación de las perturbacione	2
1.3 Identificación de los modelos lineales	
1.3.1.- Selección de la estructura del modelo	6
1.3.2.- Estimación de parámetros	8
1.3.3.- Validación de los modelos	10
2.- MODELO SIMULINK	13
BILIOGRAFIA	14

## 1 MODELO LINEAL DE LAS PERTURBACIONES

### 1.1 INTRODUCCION

En este documento se presenta el método utilizado para hallar modelos lineales discretos de tipo ARMA que describan las perturbaciones principales (olas), que afectan a un buque. Se emplea la toolbox System Identification de MATLAB.

Se consideran modelos para distintos estados de la mar, fuerzas 4, 5 y 6 SSN. Se considera que el espectro de Bretschneider describe adecuadamente el comportamiento unidireccional de la superficie de la mar con olas irregulares en aguas profundas. Este espectro es el utilizado en el CEHIPAR en los ensayos del Turboferry TF-130.

A partir de este espectro se genera una serie temporal que se utiliza como salida para identificar el modelo considerando una entrada de ruido blanco.

Se obtienen modelos ARMA con una estructura común para todos los estados de la mar considerados.

### 1.2 GENERACION DE LAS PERTURBACIONES

Se parte del espectro teórico de Bretschneider que es biparamétrico; los parámetros a partir de los cuales se obtiene dicho espectro son  $H_s$ , altura característica de las olas y  $\omega_0$ , frecuencia modal o de pico, siendo  $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_p}$

$$S(\omega) = \frac{1.25}{4} \frac{\omega_0^4}{\omega^5} H_s^2 \exp\left(-1.25 \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^4\right) \quad (m^2 s)$$

Este espectro es notablemente diferente de un estado de la mar a otro dentro de los estados considerados. En la figura 1 se representa el espectro de Bretschneider para estados de la mar extremos, el menor  $H_s$  y  $T_p$  de fuerza 4 y el mayor  $H_s$  y  $T_p$  de fuerza 4

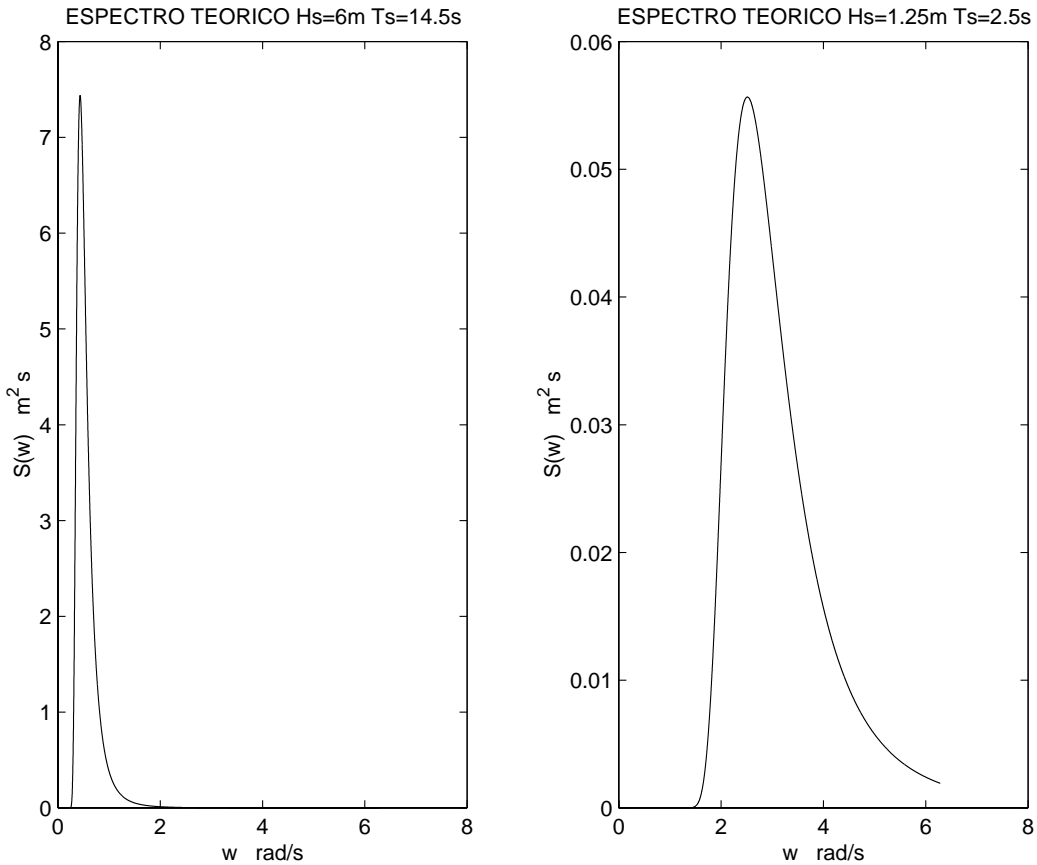


Figura 1

A partir de este espectro, se construye una serie temporal empleando la expresión:

$$y(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cos(\omega_i t + \phi_i) + \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} k_i A_i^2 \cos 2(\omega_i t + \phi_i) + O(A_i^3)$$

siendo:

$\phi_i$  un ángulo de fase elegido aleatoriamente con distribución uniforme e independiente del tiempo entre  $-\pi$  y  $\pi$

$k_i$  para aguas profundas se reduce a  $\omega_i^2/g$

El rango de frecuencias no se puede elegir constante ya que el intervalo de frecuencias significativas varía mucho de un estado de la mar a otro. En la literatura se señala que la función  $y(t)$  es muy sensible a las colas, ya que introducen ruidos innecesarios.

Tras varios ensayos se comprueba que el menor desplazamiento de frecuencia del espectro de la función  $y(t)$  respecto al espectro teórico se obtiene eligiendo un intervalo de frecuencias en el cual la altura (ocurrencia) sea mayor o igual al 20% de la altura máxima.

El intervalo entre dos frecuencias consecutivas es de 0.001. Para eliminar la tendencia a repetirse de  $y(t)$  al cabo de un cierto intervalo de tiempo ( $\Delta t \approx 2\pi/\Delta\omega$ ),  $S(\omega)$  evalúa en puntos aleatorios dentro de cada intervalo.

El intervalo de tiempos considerado es de 1000 a intervalos de 1. El cálculo de  $y(t)$  se mantiene estable hasta 2000. Variar la anchura del intervalo, así como su longitud introduce inestabilidad en la frecuencia de pico de  $y(t)$

En la figura 2 se muestran las funciones  $y(t)$  para dos estados diferentes y en la figura 3 las señales solapadas.

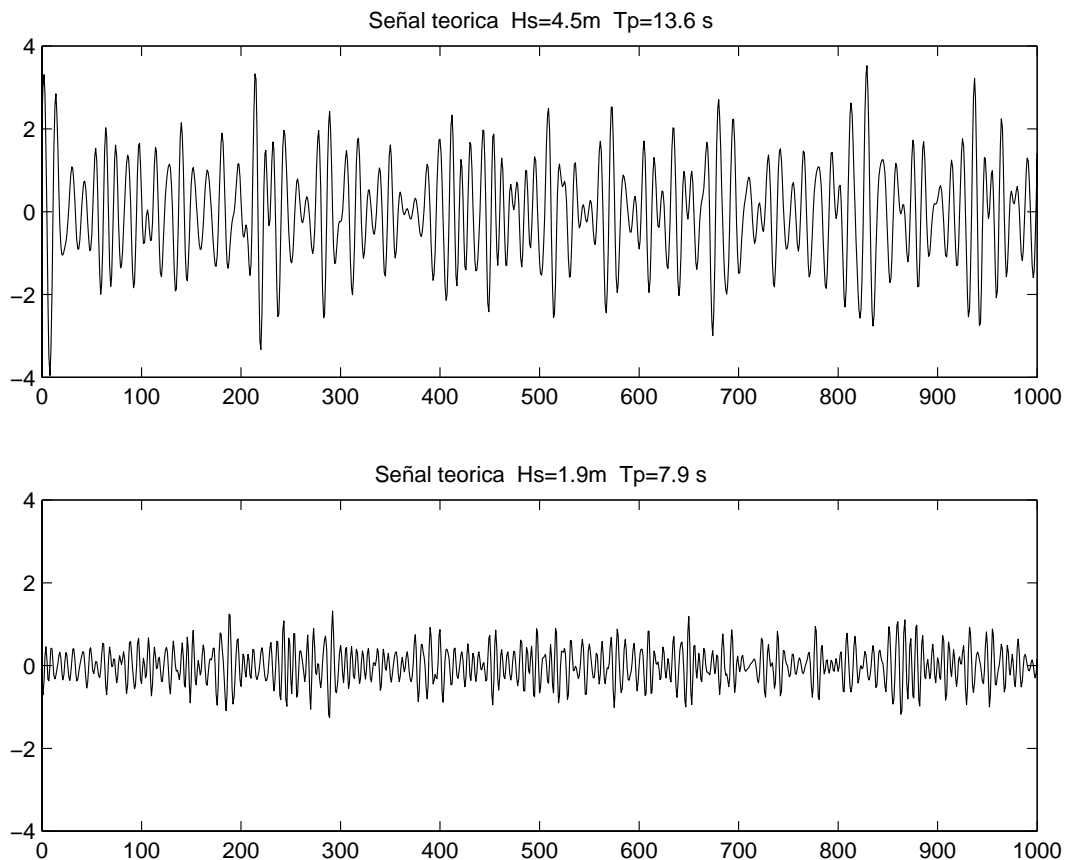


Figura 2



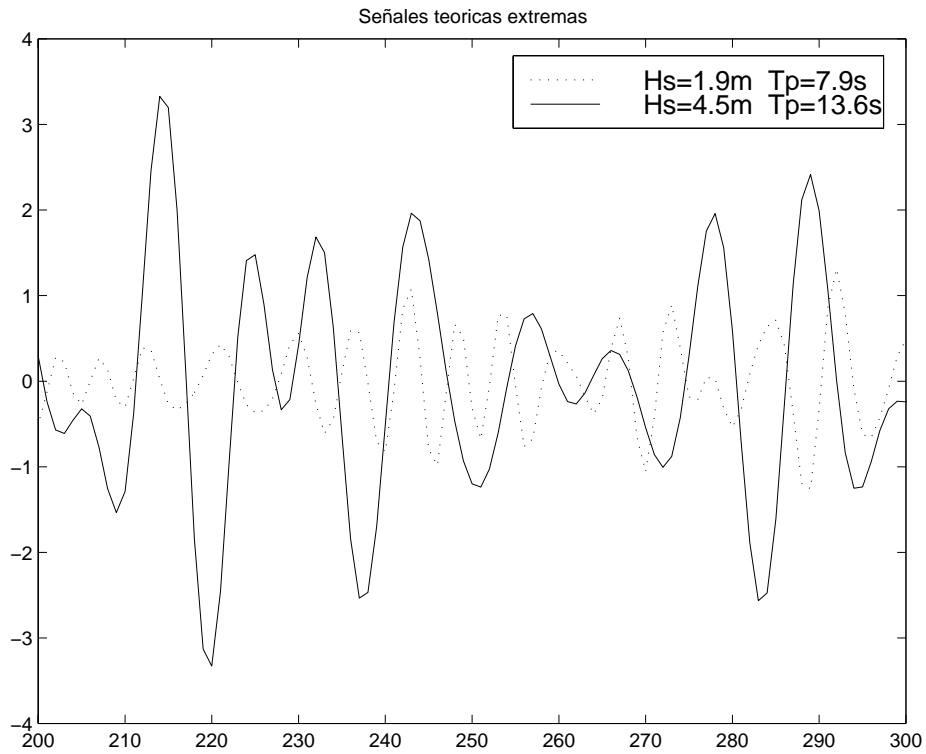


Figura 3

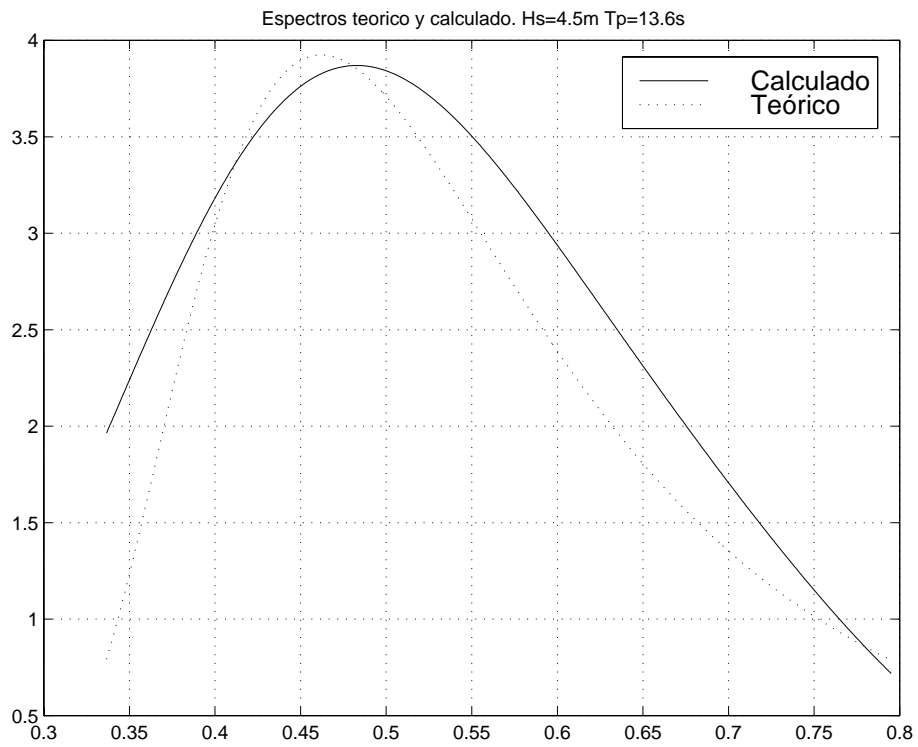


Figura 4

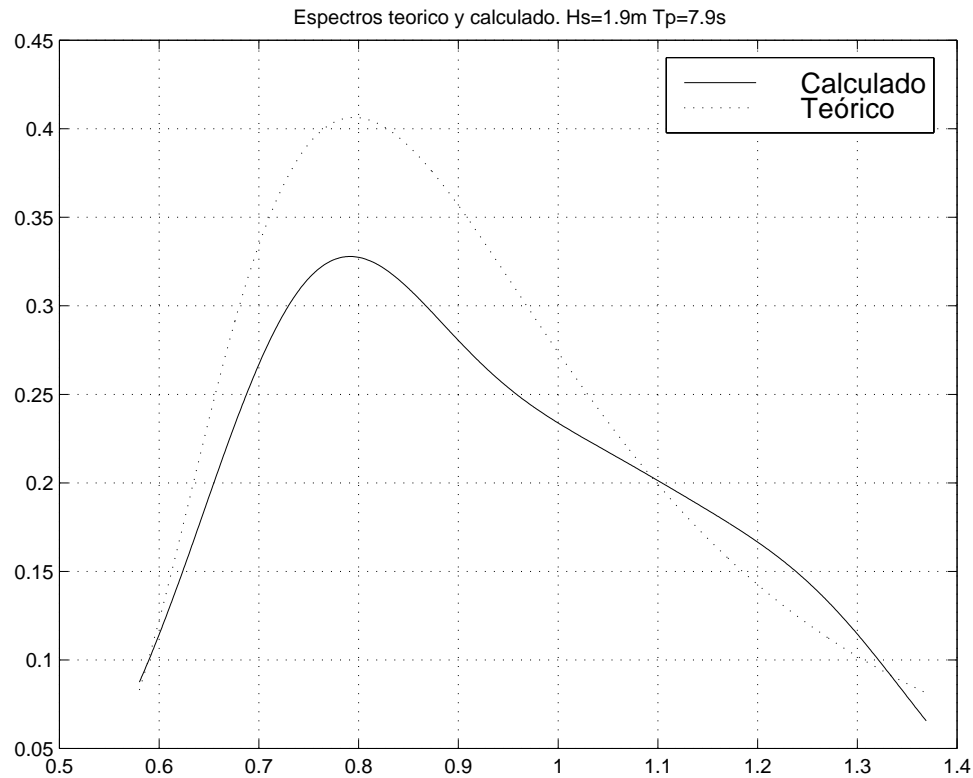


Figura 5

### 1.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS MODELOS LINEALES

A partir de esta serie temporal se ha identificado de la siguiente manera:

#### 1.3.1 SELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO.

Un modelo ARMA es de la forma:

$$A(q)y(t) = C(q)e(t)$$

siendo

$e(t)$  la entrada, una señal estocástica de ruido blanco con media cero y varianza  $\lambda$

$q^{-1}$  el operador retardo

$y(t)$  la salida

Los polinomios  $A(q)$  y  $C(q)$  son:

**CRIBAV**  
 CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

$$A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na}$$

$$C(q) = 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{nc} q^{-nc}$$

Los parámetros a estimar son los  $na+nc$  dados en el conjunto

$$[a_1, a_2, \dots, a_{na}, c_1, c_2, \dots, c_{nc}]^T$$

siendo

$na$  el número de polos discretos  
 $nc$  el número de ceros discretos.

Nos referiremos en adelante a los modelos con la notación  $(na,nc)$ .

Se ha empleado el criterio de Akaike para seleccionar la estructura del modelo común para los tres estados de la mar.

En las tablas siguientes se muestran los resultados obtenidos para algunas estructuras y algunos estados de la mar.

Estado de la mar	Orden del modelo ARMA (na,nc)	FPE (*10 <sup>-5</sup> m)
4	(6,4)	5.95
	(9,4)	3.10
	(10,3)	3.92
	(11,4)	4.01
Hs=1.9 m Tp=7.9 s	(6,4)	11.8
	(9,4)	7.78
	(10,3)	7.56
	(11,4)	8.86

Tabla 1

Estado de la mar	Orden del modelo ARMA (na,nc)	FPE (*10 <sup>-5</sup> m)
5	(6,4)	23.9
	(9,4)	19.0
	(10,3)	7.33
	(11,4)	7.46
Hs=3.25m Tp=8.7 s	(6,4)	1.56
	(9,4)	0.97
	(10,3)	0.11
	(11,4)	0.10

Tabla 2

Estado de la mar 6	Orden del modelo ARMA (na,nc)	FPE (*10 <sup>-5</sup> m)
Hs=4.5 m Tp=11.2 s	(6,4)	0.73
	(9,4)	0.39
	(10,3)	0.038
	(11,4)	0.043
Hs=4.5 m Tp=13.6 s	(6,4)	0.38
	(9,4)	0.37
	(10,3)	0.011
	(11,4)	0.017

Tabla 3

A partir de estos datos se ha seleccionado la estructura (10,3) para casi todos los estados (salvo estado 5, que es muy próximo) de la mar ya que es la que presenta un FPE mínimo en todos los estados. Las estructuras con mas de 10 polos no mejoran el FPE y además de complicar el modelo empiezan a presentar casos en los que se puede reducir el modelo por cancelación de ceros y polos.

### 1.3.2 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

A continuación se presentan como ejemplo, los parámetros identificados para fuerza 4 (Hs=1.9 m, Tp=7.9 s) y fuerza 6 (Hs=4.5 m, Tp=13.6 s) junto con los diagramas de ceros y polos correspondientes en el modelo (10,3)

#### Fuerza 4

A =

Columns 1 through 7

```

1.0000 -3.8374  8.4579 -11.7764  11.3920 -6.9457  2.0607
0  0.0157  0.0581  0.1100  0.1197  0.0616  0.0646

```

Columns 8 through 11

```

0.7885 -0.9727  0.4074 -0.0009
0.1194  0.1062  0.0546  0.0142

```

C =

```

1.0000 -0.4543 -0.9912  0.4481

```

0 0.0358 0.0021 0.0354

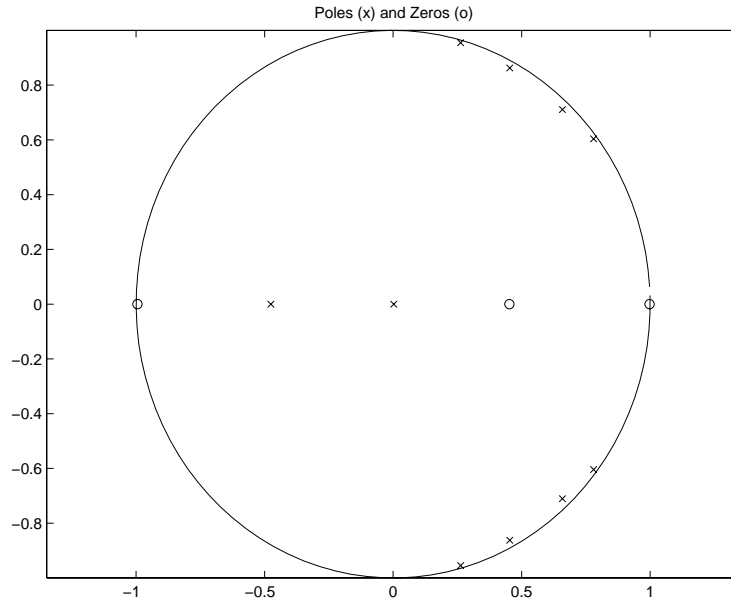


Figura 6  
 Ceros y polos modelo (10,3) de Hs=1.9 m Tp=7.9 s

Fuerza 6

A =

Columns 1 through 7

1.0000 -6.6864 21.7478 -45.3534 67.7116 -76.2179 65.7418  
 0 0.0040 0.0160 0.0241 0.0105 0.0236 0.0314

Columns 8 through 11

-42.7699 19.9315 -5.9586 0.8669  
 0.0121 0.0089 0.0089 0.0026

C =

1.0000 0.9412 -0.6850 -0.6538  
 0 0.0489 0.0416 0.0485

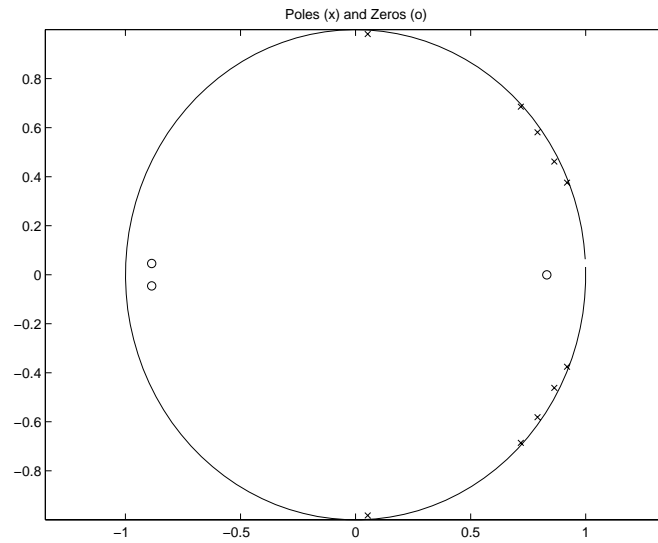


Figura 7  
Ceros y polos modelo (10,3) de  $H_s=4.5$  m  $T_p=13.6$  s

### 1.3.3 VALIDACION DE LOS MODELOS

Para validar los modelos se utiliza la señal temporal proporcionada por un bloque SIMULINK que se describirá posteriormente, basado en el modelo (10,3).

A continuación se muestran los espectros correspondientes a la señal  $y(t)$  calculada y a la señal simulada, para distintos estados de la mar.

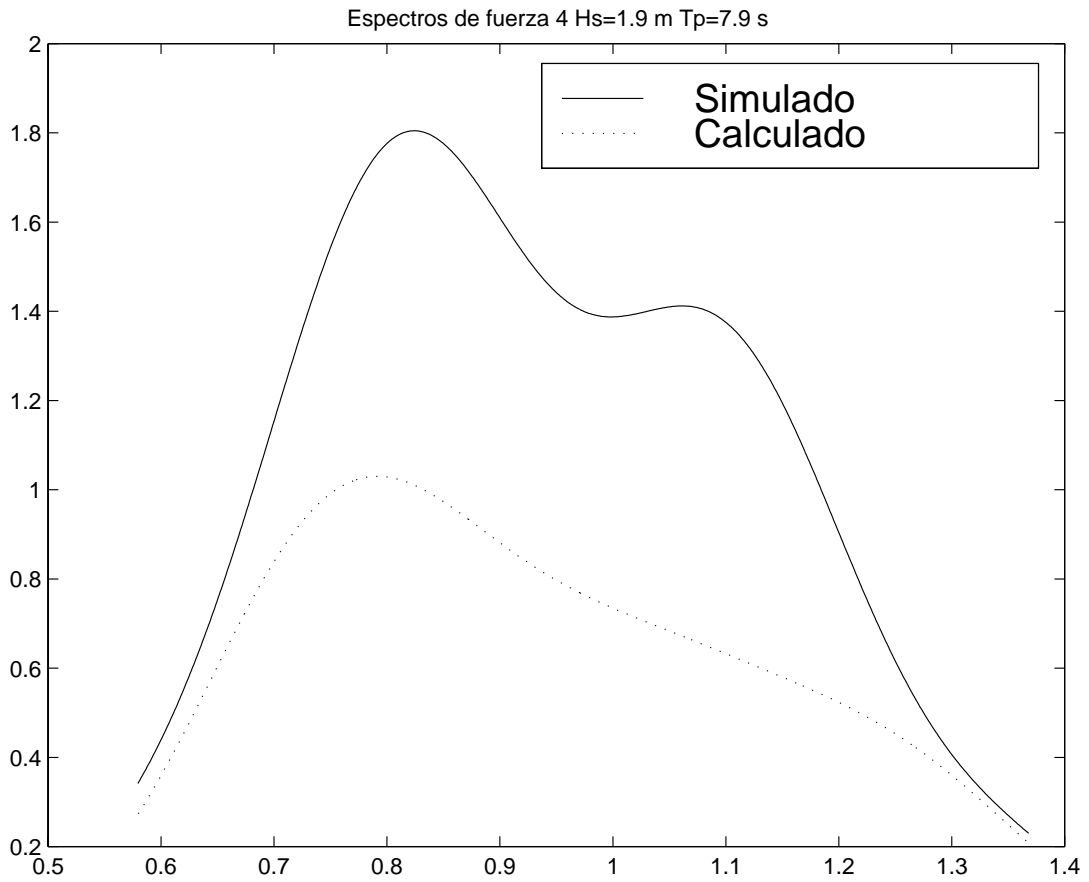


Figura 8

	Hs	Tp	T02	T04
Teorico	1.5819	7.9423	6.6016	6.0809
Simulado	2.0699	7.6185	6.5616	6.1220

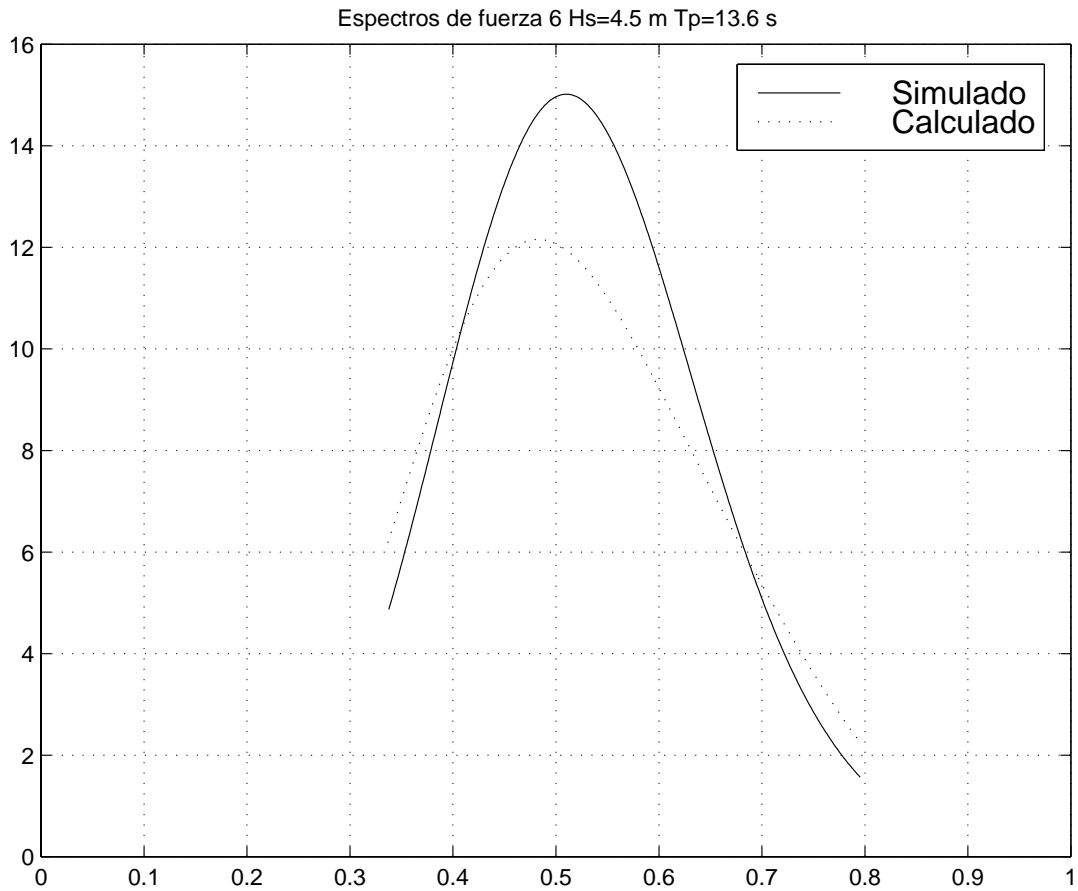


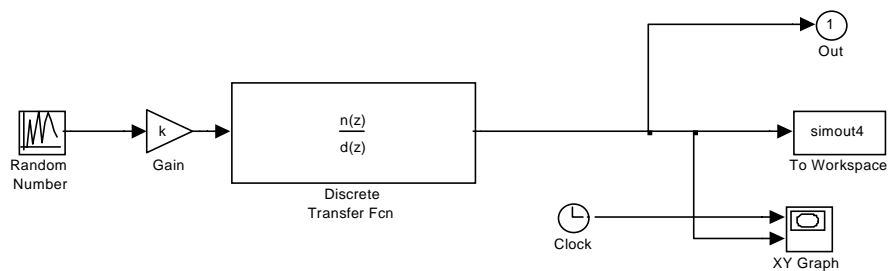
Figura 9

	Hs	Tp	T02	T04
Teorico	4.2531	12.9970	11.5654	10.6550
Simulado	4.5007	12.3245	11.5905	10.8061



## 2 MODELO SIMULINK UTILIZADO PARA SIMULAR LAS PERTURBACIONES

A continuación se muestra el bloque Simulink utilizado para simular las perturbaciones:



Tiene los siguientes componentes:

Generador de ruido blanco

- Generador de ruido blanco
- Ganancia
- Visualizador de señal de entrada
- Función de transferencia generada en función de  $H_s$  y  $T_p$
- Visualizador de señal de salida
- Tiene una salida al espacio de trabajo y otra salida para permitir el cálculo iterativo.

Los parámetros de los que depende son los siguientes:

El generador de ruido blanco permite seleccionar la media y la varianza. En todas las simulaciones están la media en 0 y la varianza en 1

La ganancia ( $k$ ) se obtiene en cada caso mediante cálculo iterativo, ya que depende de  $H_s$  y  $T_p$ . Está determinada para que permita una variación máxima del 5% sobre la  $H_s$  seleccionada.

## **CRIBAV**

---

CONTROL ROBUSTO E INTELIGENTE DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD

Los parámetros  $n$  y  $d$  de la función de transferencia dependen de la señal  $y(t)$  seleccionada. Se considera el modelo ARMA (10,3). Se recomienda utilizar los valores de las variables obtenidos en la generación, ya que son sensibles al redondeo.

## BIBLIOGRAFIA

LLOYD, A.R.J.M. "Seakeeping: Ship behavior in rough waters". Ellis Horwood Limited. (John Wiley & Sons).

LEWIS, E.V. "Principles of naval architecture. Second Revision" Volumen III: Motions in waves and controllability. The Society of Naval Architects & Marine Engineers.

LJUNG, L. "System Identification". Theory for the user. Prentice Hall

LJUNG, L. "System Identification toolbox". User's guide. The Math Works Inc.

Price, W.G. & Bishop, R.E.D. "Probabilistic theory of ship dynamics". Chapman & Halls.

Sorensen, R.M. "Basic wave mechanics for coastal and ocean engineers". John Wiley & Sons.

Fossen, T.I. "Guidance and control of ocean vehicles". John Wiley & Sons