



**MEDICION Y PRONOSTICO DE OLAS
EN EL EMBALSE CASA DE PIEDRA**

Acta Complementaria N° 1

**Informe Técnico N° 2
Septiembre 2003**

Informe LHA 212-07-03



EN EL EMBALSE CASA DE PIEDRA

Acta Complementaria N° 1

***Informe Técnico N° 2
Septiembre 2003***

RESUMEN: *Se describen las tareas realizadas hasta el 9 de septiembre de 2003, relativas al procesamiento y análisis de registros de olas obtenidos en el Embalse Casa de Piedra y la validación de un modelo matemático de pronóstico de olas a partir de vientos. Se realiza una evaluación de las olas extremas esperables para distintos períodos de retorno y se presenta un dimensionamiento de enrocado para el talud interno mediante la aplicación de un método probabilístico previamente implementado.*

PALABRAS CLAVE: *medición de olas – pronóstico de olas – modelos matemáticos – olas en embalses – protección de taludes - enrocados - embalse Casa de Piedra*



*Medición y Pronóstico de olas en el embalse Casa de Piedra
Acta Complementaria 1 - Informe Técnico 2*

Informe Producido por:

Ing. Roberto CASTELLANO

EQUIPO DE TRABAJO

Ing. N. TOMAZIN

Ing. A. GRANDE

INDICE

INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	3
ESTADO AL 9 DE SEPTIEMBRE DE 2003	3
Medición de vientos	3
Medición de olas	3
Análisis particular de eventos de interés	4
Temporales del 19 y 26 de marzo	4
Temporal del 25 de mayo de 2003	6
Temporal del 15 de junio de 2003.....	6
Temporal del 8 de julio de 2003.....	7
Temporal del 20 de julio de 2003.....	8
Temporal del 29 de agosto de 2003.....	9
Temporal del 5 de septiembre de 2003	10
Comentarios sobre la modelación de la altura de olas	11
Estadística de las olas	12
Dimensionamiento del enrocado	15



INFORME TECNICO 2

Septiembre 2003

INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico N° 2 describe las tareas realizadas en el marco del convenio suscripto entre el *Instituto Nacional del Agua* (INA) y el *Ente Ejecutivo Presa Embalse Casa de Piedra* (ECP) el 28 de Agosto de 2001, y el Acta Complementaria N° 1 al contrato, suscripta entre las partes el 11 de septiembre de 2002.

OBJETIVOS

El objetivo de este IT2 es la actualización al 9 de septiembre de 2003 de la descripción de los procesos físicos y de la evaluación de la seguridad del enrocado de protección que han formado parte del estudio encomendado por el ECP, en virtud de la ampliación de la base de datos disponible que son registrados en forma continua o periódica en el embalse (olas, vientos, relevamientos del talud de enrocado). El Informe Final presentado en 2002 incorporó la información de base disponible hasta el 15 de septiembre de ese año y el informe técnico IT1 actualizó dicha información al 15 de marzo del 2003.

ESTADO AL 9 DE SEPTIEMBRE DE 2003

Medición de vientos

Desde el 22 de enero de 1997 el ECP registra en forma continua variables meteorológicas en una estación ubicada sobre el muro de guía norte al aliviadero de la presa. A partir de 24 de octubre 2001 se registran adicionalmente en una segunda estación ubicada en la margen norte del embalse.

Medición de olas

Desde el 21 de febrero de 2002 se halla instalado un olígrafo InterOcean S4B. Los registros se obtienen cada 2 horas con una duración de 14 minutos. Los registros de olas disponibles para el nuevo período de análisis se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Resumen de los registros de olas para el período de análisis

Período	Fecha de recuperación	Inicio		Finalización		N° de registros	Hs max. (m)
		Día	Hora	Día	Hora		
1	04-04-03	28/03	12:00	04/04	8:00	83	0.32
2	10-04-03	04/04	12:00	10/04	10:00	72	0.27
3	14-04-03	10/04	12:00	14/04	10:00	48	0.45
4	28-04-03	21/04	14:00	28/04	10:00	83	0.10
5	05-05-03	28/04	14:00	05/05	10:00	83	0.25
6	09-05-03	05/05	12:00	09/05	8:00	47	0.15
7	15-05-03	09/05	12:00	15/05	12:00	73	0.50
8	21-05-03	15/05	13:00	21/05	11:00	72	0.40
9	29-05-03	21/05	14:00	29/05	10:00	95	0.94
10	04-06-03	29/05	14:00	01/06	18:00	39	0.10
11	09-06-03	04/06	14:00	09/06	12:00	60	0.59
12	24-06-03	09/06	14:00	24/06	10:00	179	0.01
13	15-07-03	25/06	16:00	05/07	20:00	123	0.40
14	29-07-03	16/07	18:00	26/07	22:00	123	0.54
15	04-08-03	31/07	14:00	04/08	10:00	47	0.68
16	14-08-03	11/08	12:00	14/08	10:00	36	0.10
17	22-08-03	14/08	12:00	22/08	10:00	96	0.90
18	02-09-03	22/08	14:00	01/09	18:00	123	0.04
19	04-09-03	02/09	12:00	04/09	12:00	25	0.1
20	09-09-03	04/09	14:00	09/09	14:00	61	2.03

Análisis particular de eventos de interés

Temporales del 19 y 26 de marzo

Entre el 15 y el 28 de marzo de 2003 se observa la ausencia de registros de medición de olas. En este período, los registros de vientos indican la ocurrencia de temporales de interés para nuestro análisis, los cuales, al ser estudiados con nuestro modelo dan como resultado alturas significativas de ola superiores a 1 m.

En las figuras 1 y 2 se muestra el resultado de la aplicación del modelo de generación de olas para los días 19 y 26 de marzo de 2003. En dichas figuras se incluyen, además, los vientos registrados para estos eventos. El 19 de marzo los vientos fueron provenientes del sector WSW, rotando luego a la dirección W; mientras que el 26 de marzo los vientos registrados fueron del NE.

Figura 1. Generación de olas para el 19 de marzo

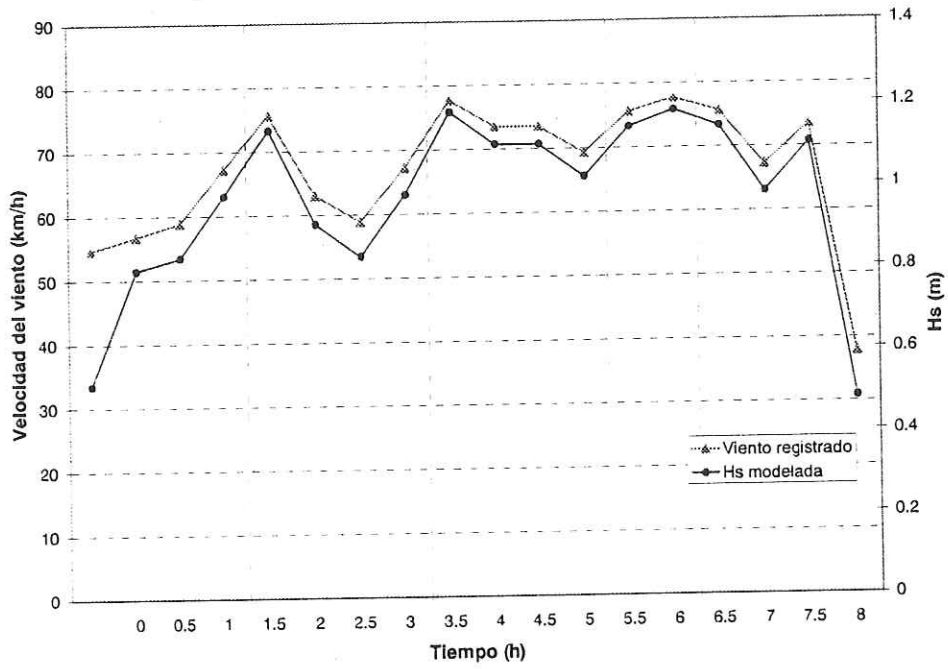
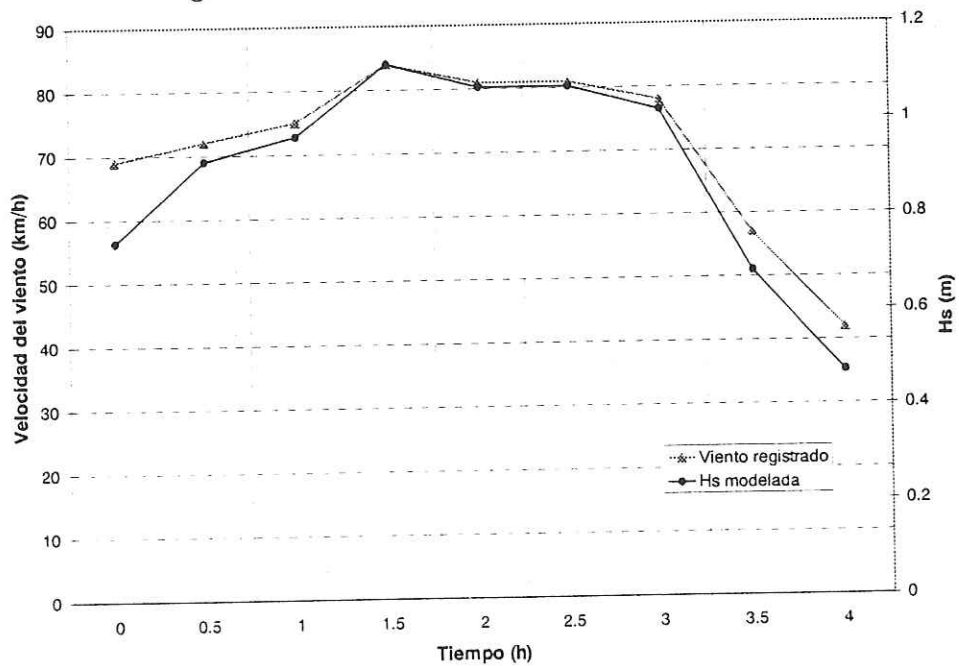


Figura 2. Generación de olas para el 26 de marzo

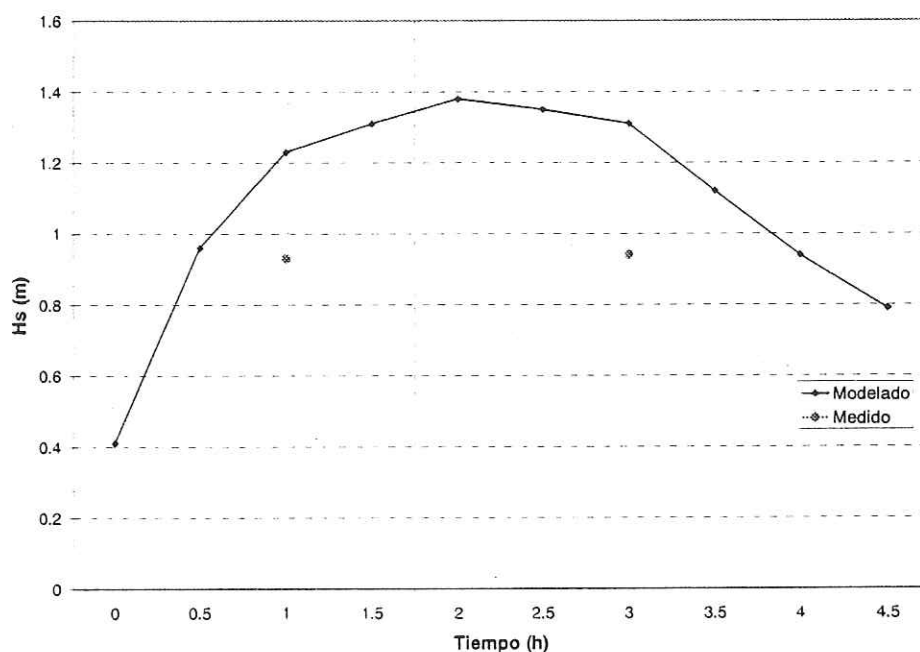


Temporal del 25 de mayo de 2003

El 25 de mayo de 2003 se produjo un temporal con vientos intensos que llegaron a superar los 70 Km/h entre las 15:00 y las 19:00 hs. La permanente rotación de los vientos entre las direcciones W y WSW, sumado a la corta duración del temporal, dificultan la aplicación modelo de generación de olas.

En la figura 3 se muestran los resultados del análisis de este evento. Allí se observa que para el período de tiempo analizado existen sólo dos registros de olas y éstos no coinciden en el tiempo con los vientos más intensos.

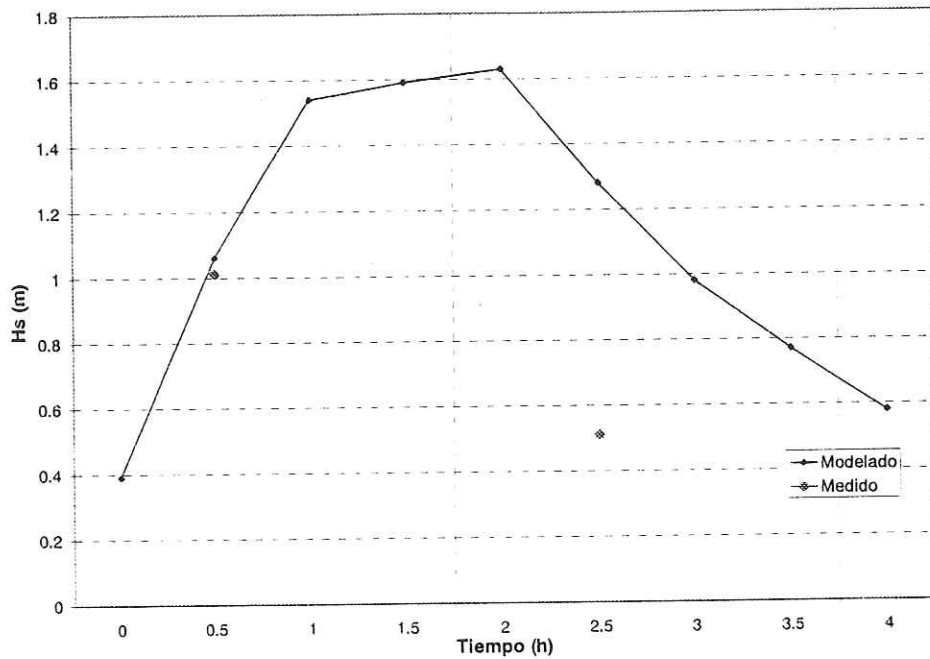
Figura 3. Temporal del 25 de mayo de 2003



Temporal del 15 de junio de 2003

El 15 de junio de 2003 tuvo lugar la ocurrencia de otro temporal de corta duración con vientos intensos. Entre la 1:00 y las 4:00 hs. los vientos alcanzaron intensidades de hasta 100 Km/h, rotando desde la dirección NNW hasta la dirección W. El valor máximo registrado para Hs en este evento fue de 1.01 m y el máximo calculado por modelo alcanzó 1.38 m. La figura 4 muestra el resultado de este análisis.

Figura 4. Temporal del 15 de junio de 2003

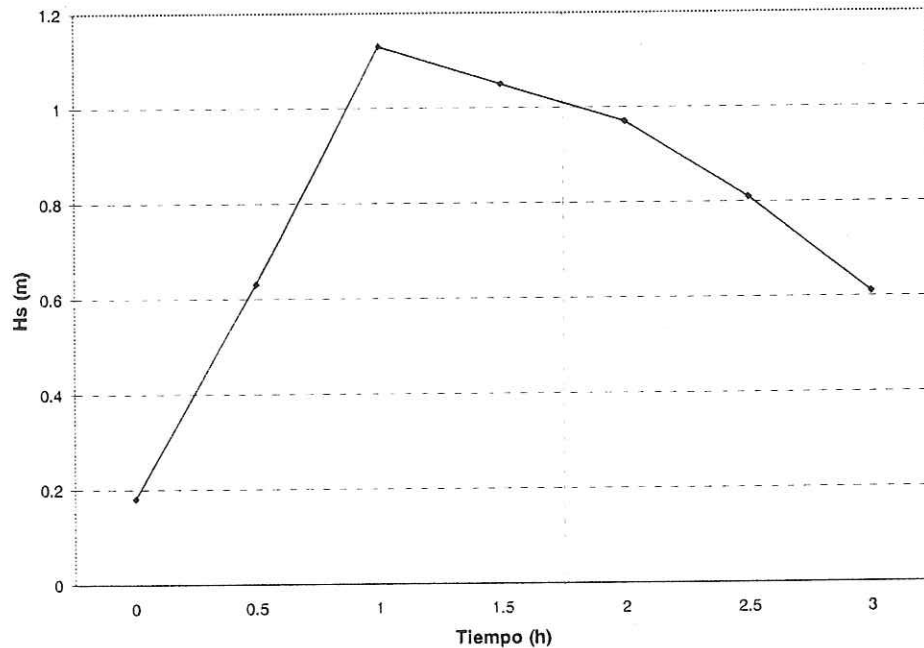


Temporal del 8 de julio de 2003

El día 8 de julio de 2003 entre las 12:00 y las 15:00 soplaron vientos en la dirección WSW con intensidades superiores a 70 Km/h, generando en un breve lapso de tiempo alturas de olas superiores a 1m. Luego se produjo la rotación del viento a la dirección SW y la disminución en la intensidad del mismo.

Para ese día no se cuenta con información del olígrafo, pero nuestro modelo estimó para el pico del evento, producido a las 14:00, el valor de $H_s = 1.13$ m. La figura 5 muestra el resultado de la modelación para este caso.

Figura 5. Temporal del 8 de julio de 2003



Temporal del 20 de julio de 2003

El día 20 de julio de 2003 se produjo el temporal de gran importancia en cuanto a la intensidad y a la persistencia del viento.

Entre las 00:00 y las 9:00 hs. los vientos soplaron des la dirección WSW con intensidades de hasta 70 Km/h, a partir de ese momento rotaron a la dirección W donde mantuvieron intensidades importantes, superando los 90 Km/h, hasta las 18:00 hs.

Se observó una importante persistencia en la altura de olas que superaron el valor de 1m, registrándose como valor máximo para el temporal $H_s = 1.54$.

En la figura 6 se muestra un análisis de este evento, graficándose simultáneamente los valores de altura de ola registrados por el olígrafo y los valores estimados por el modelo de generación de olas.

Obsérvese que en este caso, donde el fenómeno se manifiesta con vientos intensos y una importante persistencia en su dirección, el ajuste de nuestro modelo resulta más satisfactorio que en las figuras anteriores.

Figura 6. Temporal del 20 de julio de 2003



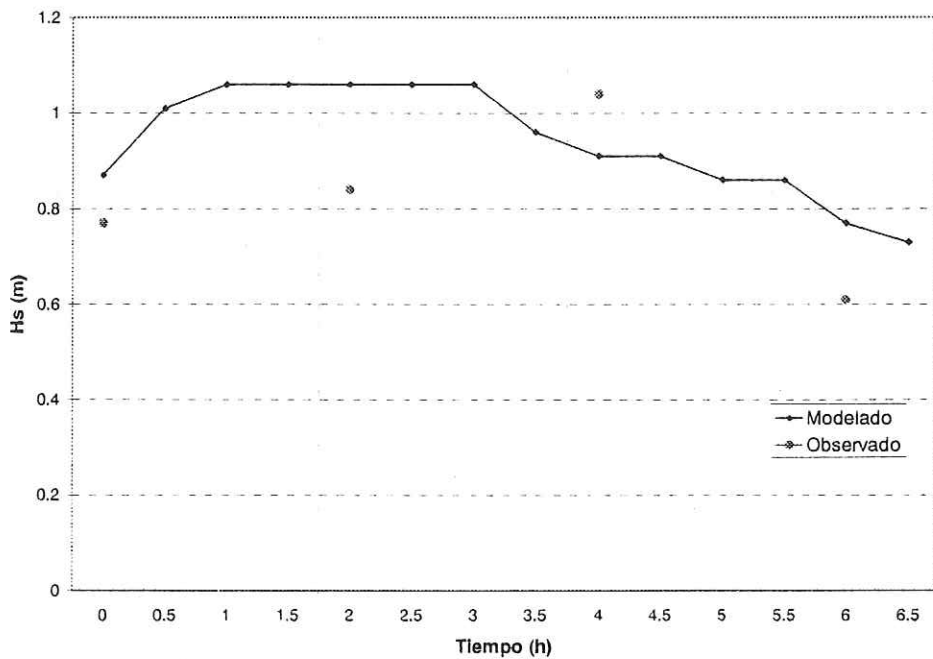
Temporal del 29 de agosto de 2003

El día 29 de agosto de 2003 tuvo lugar un temporal de corta duración donde se observaron olas con una altura significativa superior a 1m.

Entre las 12:00 y las 19:00 hs. soplaron sostenidamente vientos intensos en dirección NE que provocaron como registro máximo del olígrafo el valor de $H_s = 1.04$ m a las 16:00 hs. El valor máximo estimado por el modelo de generación de olas para este temporal fue de $H_s = 1.06$ m.

En la figura 7 se muestra el resultado de nuestro análisis para este evento.

Figura 7. Temporal del 29 de agosto de 2003



Temporal del 5 de septiembre de 2003

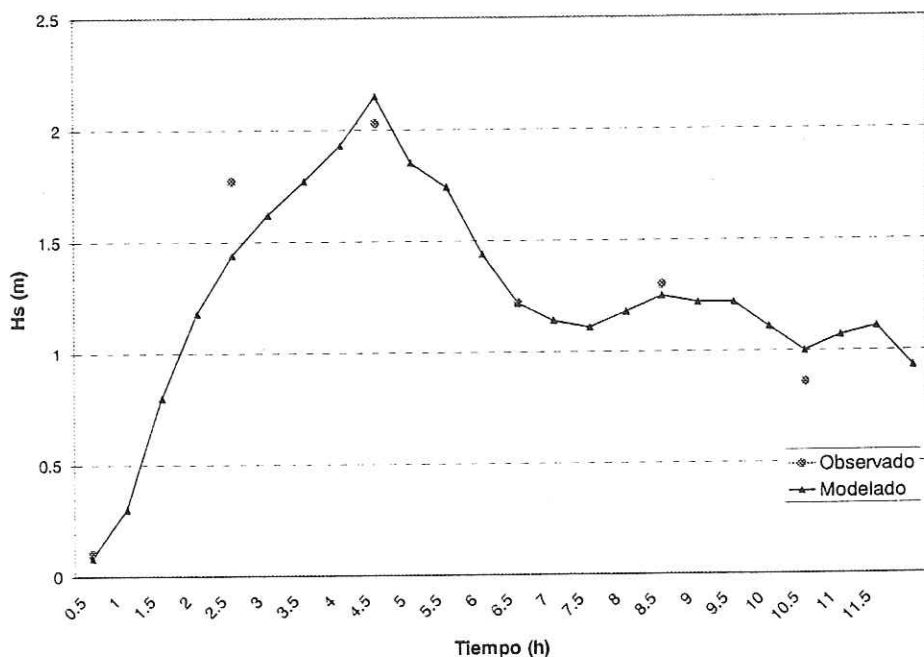
Entre el 5 y el 6 de septiembre de 2003 se produjo el temporal de mayor intensidad en lo que va del año, donde las olas registradas por el olígrafo alcanzaron un valor máximo de $H_s = 2.03$ m.

Fuertes vientos, rotando constantemente entre las direcciones W y WSW, soplaron desde las 20:00 hs. del 5 de septiembre hasta las 8:00 hs. del día 6 de septiembre, superando por momentos velocidades de 100 Km/h.

El valor máximo de altura de olas estimado por el modelo fue de $H_s = 2.15$ m para las 24:00 hs. del día 5 de septiembre. Nuevamente, se observa que al tratarse de un temporal con una persistencia significativa en cuanto a la duración de valores importantes de altura de olas, el modelo ajusta los valores medidos mejor que en los casos anteriores.

El resultado de la aplicación del modelo de generación de olas para el análisis de este evento aparece graficado en la figura 8.

Figura 7. Temporal del 29 de agosto de 2003



Comentarios sobre la modelación de la altura de olas

Se implementó un modelo de crecimiento de olas por acción del viento, el que se halla en fase de ajuste y calibración mediante la medición simultánea de olas y vientos. El modelo se basa en las fórmulas empíricas de predicción de desarrollo de olas en aguas profundas.

Para la etapa actual de calibración del modelo se han utilizado los registros de altura de olas y vientos de temporales seleccionados del período febrero 2002 – marzo 2003. Se espera que en el transcurso de este año se produzca la aparición de nuevos eventos de interés que permitan realizar una nueva calibración con el fin de mejorar la calidad de los ajustes.

En el SPM¹ se mencionan las limitaciones de las ecuaciones utilizadas en nuestro modelo para la simulación de temporales en los cuales la altura de las olas varía significativamente. Allí se aclara que el modelo es capaz de representar adecuadamente lo que ocurre para un rango determinado de valores de Hs.

¹ US Army Corps of Engineers, Shore Protection Manual, 1984

Por otra parte, se han considerado a los valores registrados por el olígrafo como “verdaderos” cuando en realidad también están afectados de error en su medición. Estos errores son más importantes cuando las olas son de corto período (T menor que 5 segundos) debido a la resolución de muestreo del instrumento (5Hz). Son precisamente las olas de pequeña amplitud las que también presentan los períodos más cortos.

El objetivo principal de este trabajo es lograr un ajuste satisfactorio del modelo para aquellos temporales capaces de generar algún daño sobre el enrocado de protección de la presa, es decir que en la selección de los temporales para la calibración de interés son aquellos de duración prolongada y valores importantes en la altura de olas.

En consecuencia se aceptarán desvíos entre los valores registrados y los modelados en tanto la modelación realizada con los mismos parámetros de ajuste permita representar adecuadamente alturas de olas que superen 1,50 m.

Estadística de las olas

Se realizó un análisis de valores extremos para la serie de máximos anuales de H_s correspondientes al período 1997-2003. La serie analizada está conformada por los valores estimados por el modelo en la etapa actual de ajuste. Dicha serie se ilustra en la tabla 2.

Tabla 2. Serie de máximos anuales para H_s

Año	H_s máximo (m)
1997	1.69
1998	1.65
1999	1.57
2000	1.88
2001	2.18
2002	2.18
2003	2.15

Con el propósito de estimar los valores de altura significativa de olas H_s correspondientes a distintos períodos de retorno T_r se utilizó la función de distribución de Gumbel. Los parámetros para el ajuste de esta función de distribución fueron estimados por dos métodos diferentes: primero, por el método de los momentos y luego, utilizando el método de máxima verosimilitud.

El resultado de este análisis aparece en las tablas 3 y 4, donde se incorpora una columna con el desvío estandar asociado a cada uno de los valores de H_s estimados.

Tabla 3. Valores estimados por el método de máxima verosimilitud

T_r (años)	H_s (m)	Desvío
2	1.9	0.1
5	2.1	0.1
10	2.3	0.2
25	2.4	0.2
50	2.6	0.3
100	2.8	0.3
250	3.0	0.4
500	3.1	0.4
1000	3.3	0.5
5000	3.6	0.6
10000	3.8	0.6

Tabla 4. Valores estimados por el método de los momentos

Tr (años)	Hs (m)	Desvío
2	1.9	0.1
5	2.2	0.2
10	2.4	0.3
25	2.7	0.4
50	3.0	0.5
100	3.2	0.6
250	3.5	0.7
500	3.7	0.8
1000	3.9	0.8
5000	4.4	1.0
10000	4.6	1.1

Ambos métodos de estimación son utilizados habitualmente en la práctica de la ingeniería. Mientras que la utilidad del método de los momentos se fundamenta en la simplicidad de sus expresiones de cálculo, el método de máxima verosimilitud, que requiere mayor esfuerzo en su aplicación, brinda resultados más precisos.

El hecho de pronosticar valores de Hs para distintos períodos de retorno utilizando una serie con una longitud de sólo siete años introduce un importante grado de incertidumbre en las estimaciones. Esto se refleja en el valor de los desvíos que figuran en las tablas 3 y 4, los cuales crecen considerablemente a medida que aumentan los valores de Tr.

Para mostrar esquemáticamente la incertidumbre asociada a las estimaciones se presenta la figura 8, en la que se grafican los valores estimados por ambos métodos para los distintos períodos de retorno junto con los correspondientes intervalos de confianza obtenidos a partir de los valores de desvíos que figuran en las tablas 3 y 4.

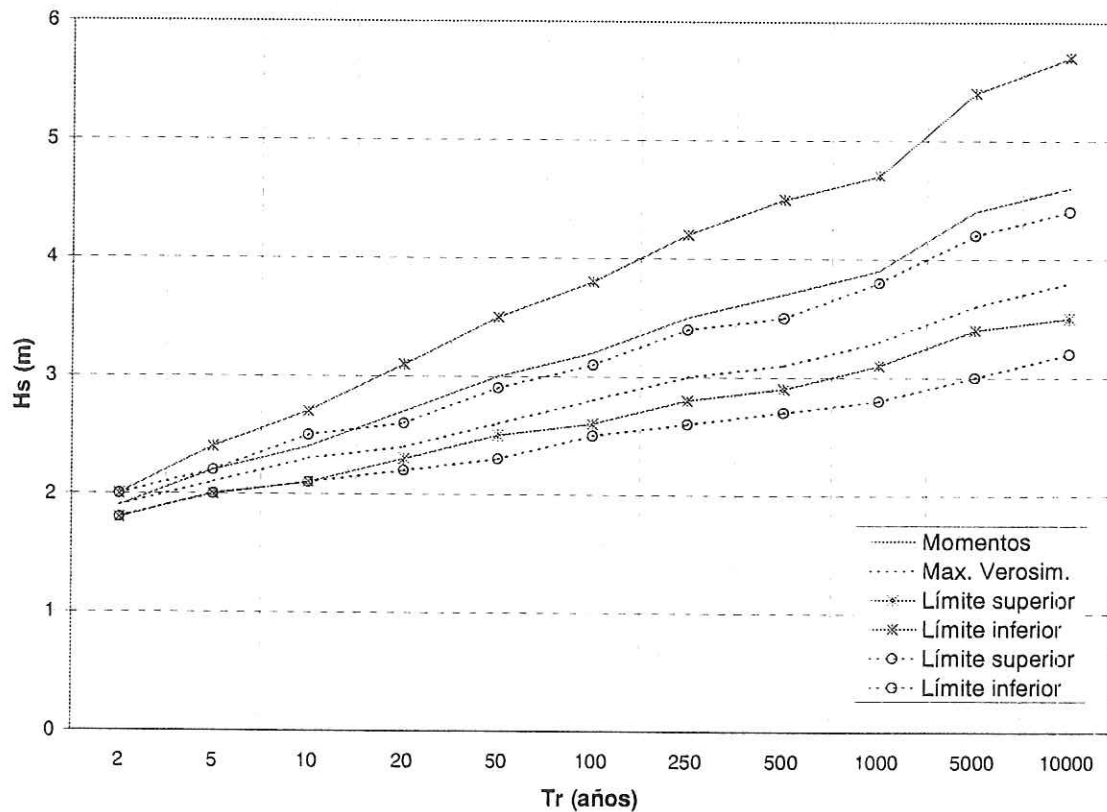


Figura 8. Incertidumbre asociada a las estimaciones

En la figura 8 puede observarse que los valores de H_s estimados por el método de los momentos son superiores a los estimados por máxima verosimilitud. También es mayor la incertidumbre para el método de los momentos, ya que, como se ve claramente, el intervalo de confianza en éste resulta más amplio que para el método de máxima verosimilitud. Por último, se destaca en el gráfico que existe una importante zona de coincidencia en los pronósticos realizados por ambos métodos.

Puede notarse finalmente que el ajuste de la serie de máximos anuales realizado por el método de máxima verosimilitud produce resultados equivalentes a los obtenidos con la serie de valores que superan un umbral determinado (IT 1²).

Dimensionamiento del enrocado

Por la razón indicada precedentemente hasta la fecha los resultados de la aplicación del método probabilístico ya presentados en IT 1 siguen siendo válidos. En particular, para

² Medición y Pronóstico de Olas en el Embalse Casa de Piedra, INA-LHA, Informe Técnico 1, Abril 2003

riolita de peso específico $\gamma=2.45 \text{ t/m}^3$, la figura 12 del IT 1 indica la necesidad de un diámetro nominal $D_n \cong 0.90 \text{ m}$ si la probabilidad de falla (nivel de daño $S = 6$ en 50 años) desea mantenerse en el entorno de 10 a 20%.