

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la realización de la tesina.

4.1. Temporales

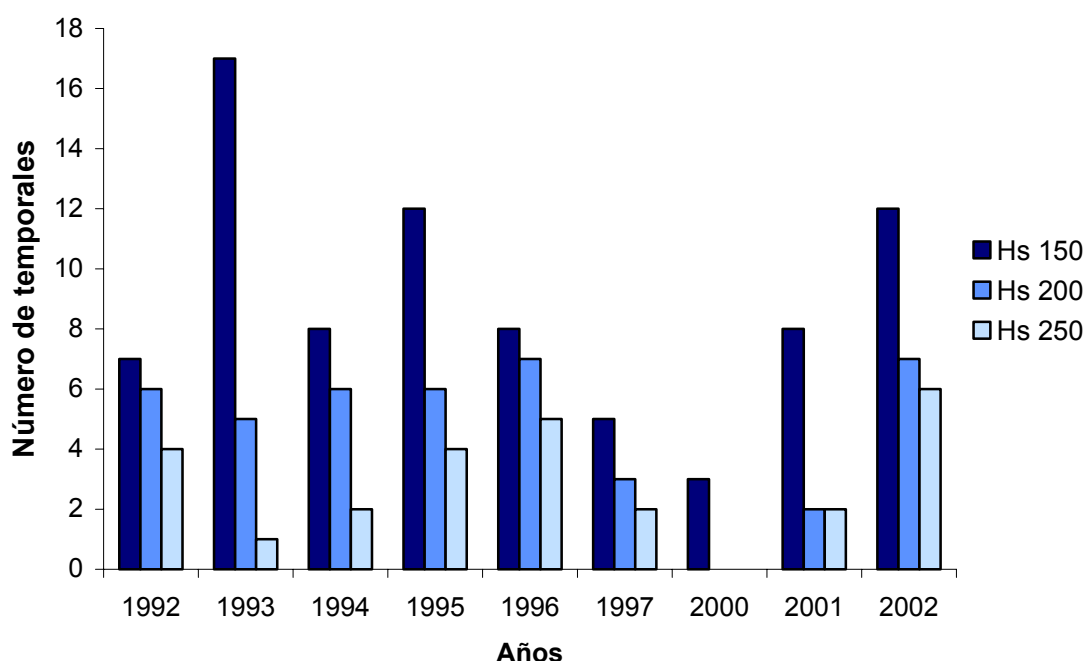
En este apartado se estudian las características de los temporales que se producen en cada zona, pero no solo de las independientes de donde se han extraído los máximos, sino de todas las que se han registrado.

En las gráficas 1, 2 y 3, una para cada boya, se puede ver el número de temporales para cada año que sobrepasan cada uno de los umbrales que se han establecido. En el eje de los años hay un salto de dos años, del 1997 se pasa al 2000, debido a que las boyas no estuvieron operativas en ese periodo.

Seguido de las gráficas se encuentran las tablas 3, 4 y 5 con las duraciones máxima, media y mínima de los temporales.

ROSES

TEMPORALES POR AÑO Y ALTURA



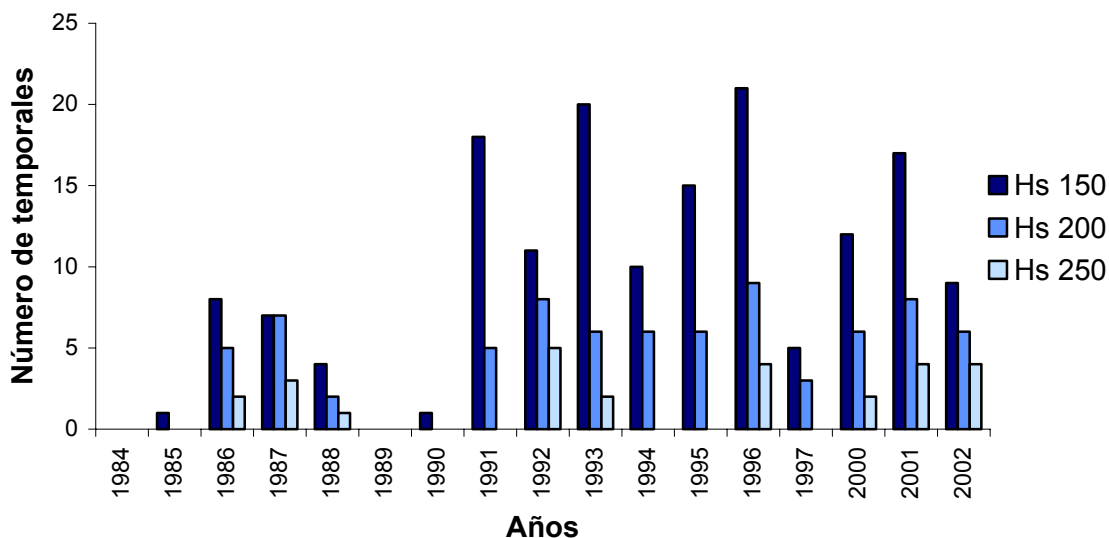
Gráfica 1: Número de temporales por año y altura en Roses

| | Hs > 150 | Hs > 200 | Hs > 250 |
|------------------------|----------|----------|----------|
| Duración máxima (días) | 3,52 | 2,61 | 2,11 |
| Duración media (días) | 1,21 | 1,12 | 0,85 |
| Duración mínima (días) | 0,25 | 0,254 | 0,3 |

Tabla 3: Duraciones de los temporales en Roses según el umbral Hs

BLANES

TEMPORALES POR AÑO Y ALTURA



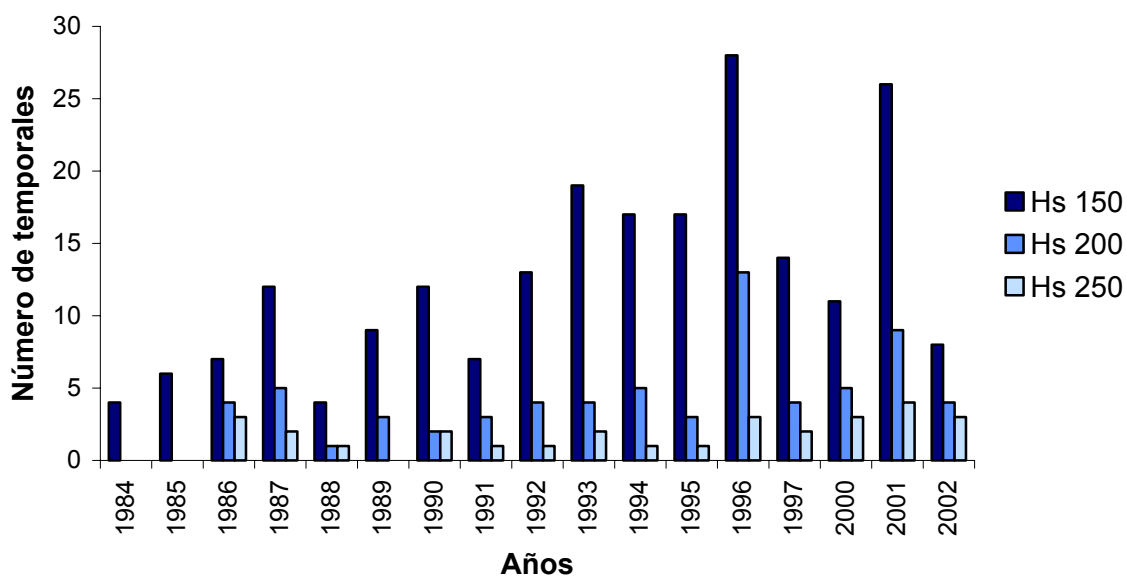
Gráfica 2: Número de temporales por año y altura en Blanes

| | Hs > 150 | Hs > 200 | Hs > 250 |
|------------------------|----------|----------|----------|
| Duración máxima (días) | 4,33 | 2,56 | 1,33 |
| Duración media (días) | 1,07 | 0,83 | 0,69 |
| Duración mínima (días) | 0,2502 | 0,25 | 0,29 |

Tabla 4: Duraciones de los temporales en Blanes según el umbral Hs

LLOBREGAT

TEMPORALES POR AÑO Y ALTURA



Gráfica 3: Número de temporales por año y altura en el delta del Llobregat

| | Hs > 150 | Hs > 200 | Hs > 250 |
|-------------------------------|----------|----------|----------|
| Duración máxima (días) | 4,4 | 2,93 | 1,91 |
| Duración media (días) | 0,93 | 0,86 | 0,61 |
| Duración mínima (días) | 0,251 | 0,255 | 0,26 |

Tabla 5: Duraciones de los temporales en el delta del Llobregat según el umbral Hs

4.2. Máximos de temporal

De cada boya se obtiene una serie de datos formada por la máxima altura de ola de los temporales independientes que han superado un cierto umbral.

En las tablas 6, 7 y 8, una para cada boya, se pueden observar algunos valores estadísticos representativos de los máximos de temporal según el umbral.

ROSES

| | Hs > 150 | Hs > 200 | Hs > 250 |
|--------------------------|----------|----------|----------|
| Número de datos | 70 | 35 | 22 |
| Valor máximo | 597 | 597 | 597 |
| Valor mínimo | 170 | 210 | 280 |
| Media | 270 | 337 | 381 |
| Desviación típica | 97 | 91 | 86 |
| Moda | 183 | 318 | 354 |

Tabla 6: Principales valores estadísticos de los máximos para la boya de Roses, unidades en cm

BLANES

| | Hs > 150 | Hs > 200 | Hs > 250 |
|--------------------------|----------|----------|----------|
| Número de datos | 122 | 61 | 24 |
| Valor máximo | 507 | 507 | 507 |
| Valor mínimo | 165 | 212 | 295 |
| Media | 248 | 298 | 361 |
| Desviación típica | 70 | 66 | 56 |
| Moda | 223 | 296 | 339 |

Tabla 7: Principales valores estadísticos de los máximos para la boya de Blanes, unidades en cm

LLOBREGAT

| | Hs > 150 | Hs > 200 | Hs > 250 |
|--------------------------|----------|----------|----------|
| Número de datos | 166 | 59 | 26 |
| Valor máximo | 506 | 506 | 506 |
| Valor mínimo | 155 | 211 | 269 |
| Media | 229 | 288 | 338 |
| Desviación típica | 60 | 60 | 55 |
| Moda | 212 | 232 | 334 |

Tabla 8: Principales valores estadísticos de los máximos para la boya de Llobregat, unidades en cm

4.3. Bondad de ajuste

Para decidir cual es la distribución que mejor se ajusta a los datos nos basamos en el índice de verosimilitud que proporciona el programa Stones.

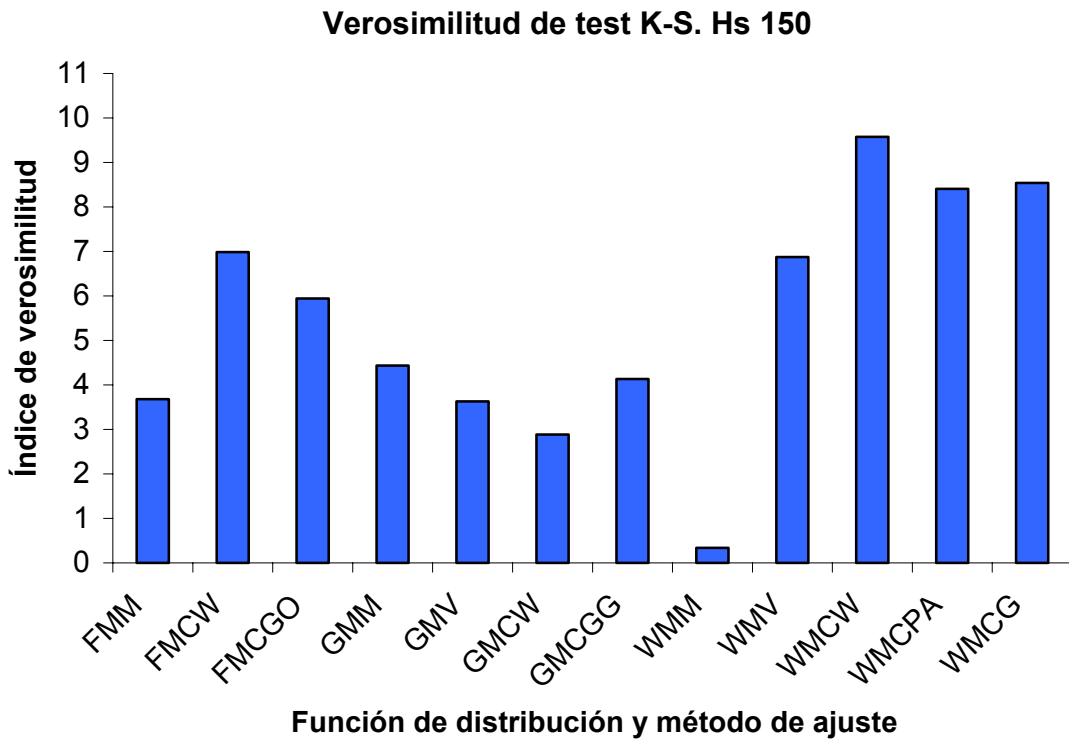
En las gráficas de la 4 a la 12 se observan para cada boya y para cada altura umbral, la verosimilitud del test K-S para cada una de las posibles combinaciones entre distribución y método de ajuste. Ya se ha comentado antes que cuanto mayor es el valor de verosimilitud mejor es el ajuste. Esto significa que hay que aceptar los ajustes con un índice elevado y desconfiar de los que lo tienen bajo.

Por problemas obvios de espacio en las gráficas no se ha utilizado el nombre completo de la función de distribución con su ajuste, sino que se sustituyen por unas abreviaturas que expresan de forma clara tanto la función como el método de ajuste. El sistema de abreviación utilizado consiste en un grupo de 3, 4 o 5 letras. La primera letra corresponde a la inicial de la función de distribución (G: Gumbel, F: Frechet y W: Weibull). La segunda y tercera letra representan el método de ajuste (MM: Método de los Momentos, MV: Máxima Verosimilitud y MC: Mínimos Cuadrados). En el caso de que el método de ajuste sea el de mínimos cuadrados, se necesita una o dos letras más que corresponden a la *plotting position* (W: Weibull, GG: Gringorten, GO: Goda y Onozawa, PA: Petrauskas y Aagard y G: Goda). De esta manera se obtiene la siguiente relación de las combinaciones con sus abreviaciones que se observa en la tabla 9:

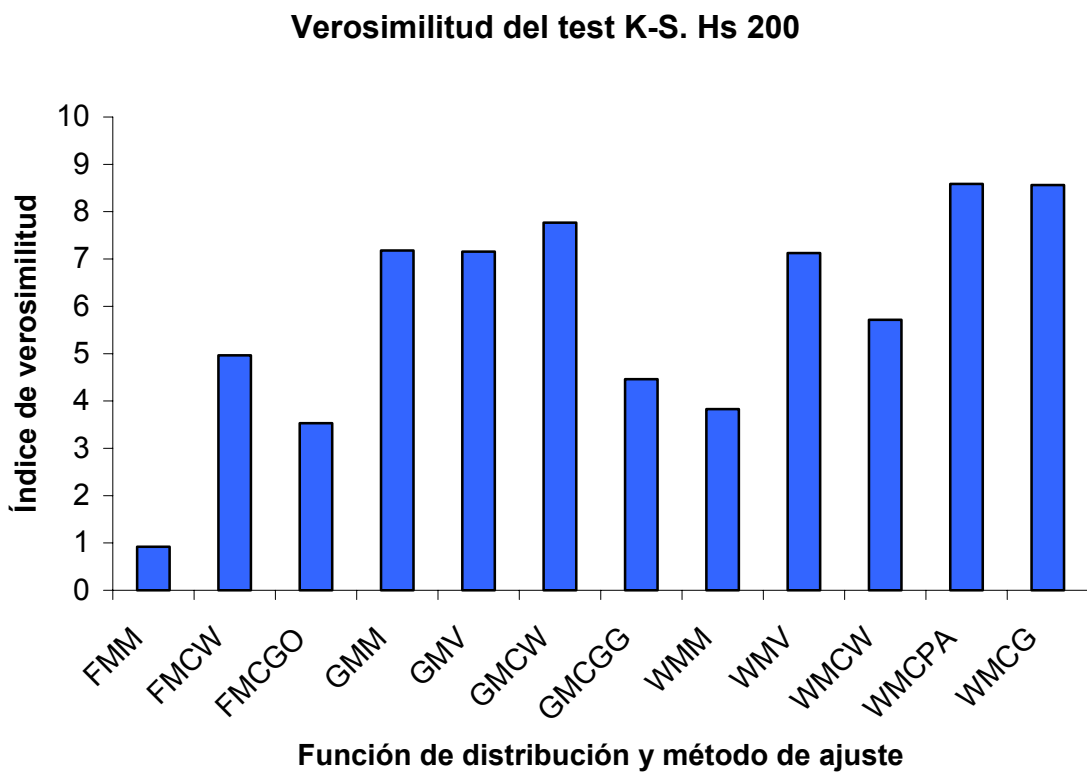
| FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN | MÉTODO DE AJUSTE | ABREVIACIÓN | |
|--------------------------------|-------------------------|---------------------|-------|
| Gumbel | Método de los momentos | GMM | |
| | Máxima verosimilitud | GMV | |
| | Mínimos cuadrados | Weibull | GMCW |
| | | Gringorten | GMCGG |
| Frechet | Método de los momentos | FMM | |
| | Mínimos cuadrados | Weibull | FMCW |
| | | Goda y Onozawa | FMCGO |
| Weibull | Método de los momentos | WMM | |
| | Máxima verosimilitud | WMV | |
| | Mínimos cuadrados | Weibull | WMCW |
| | | Petrauskas y Aagard | WMCPA |
| | | Goda | WMCG |

Tabla 9: Abreviaciones

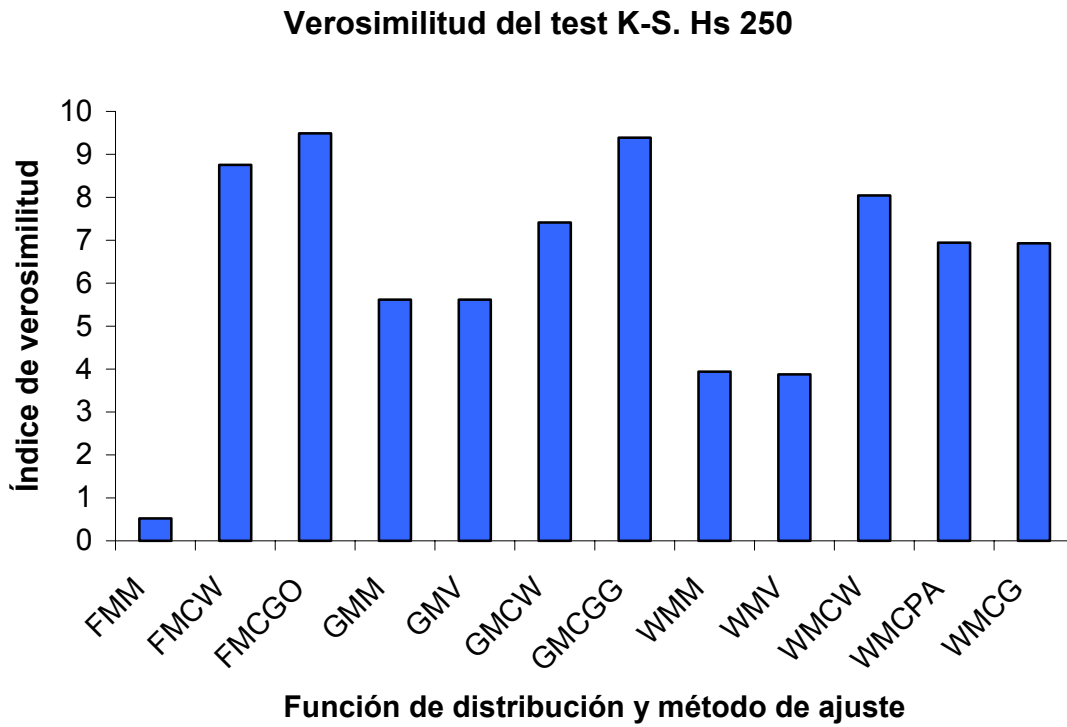
ROSES



Gráfica 4: Índices de verosimilitud para la boya de Roses y umbral de 150 cm

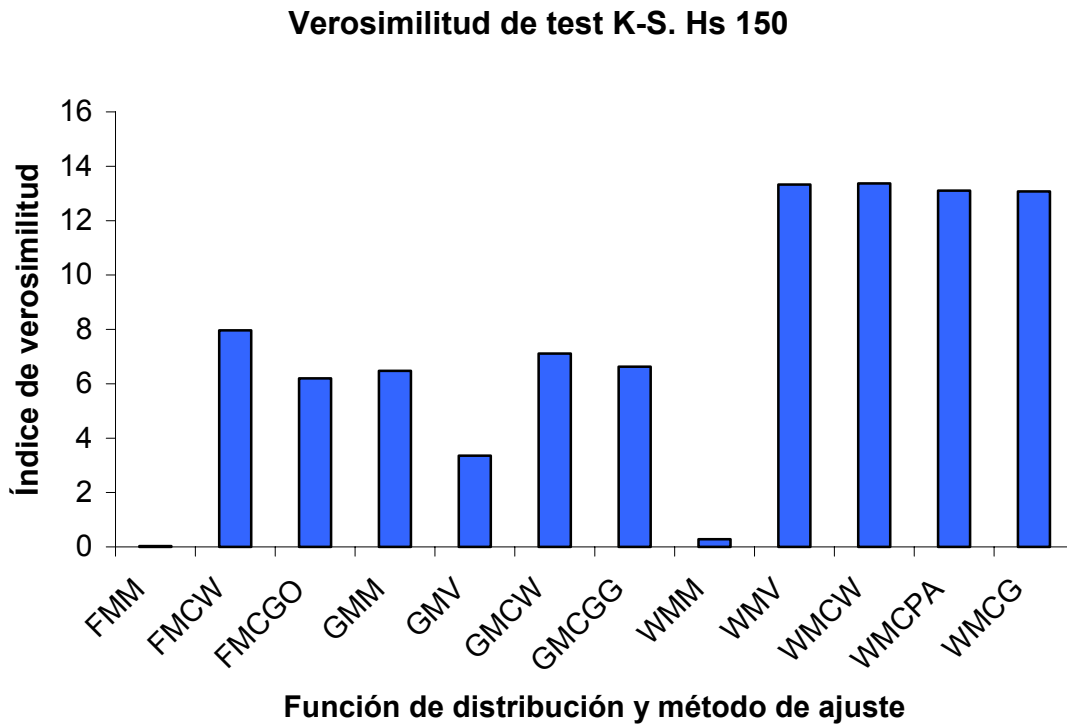


Gráfica 5: Índices de verosimilitud para la boya de Roses y umbral de 200 cm



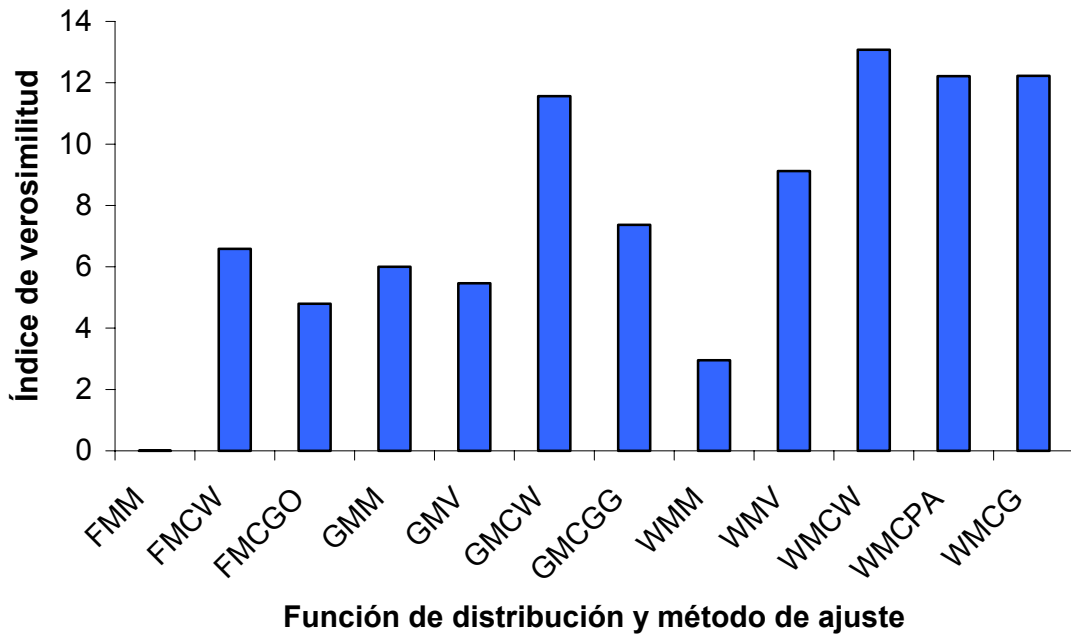
Gráfica 6: Índices de verosimilitud para la boya de Roses y umbral de 250 cm

BLANES



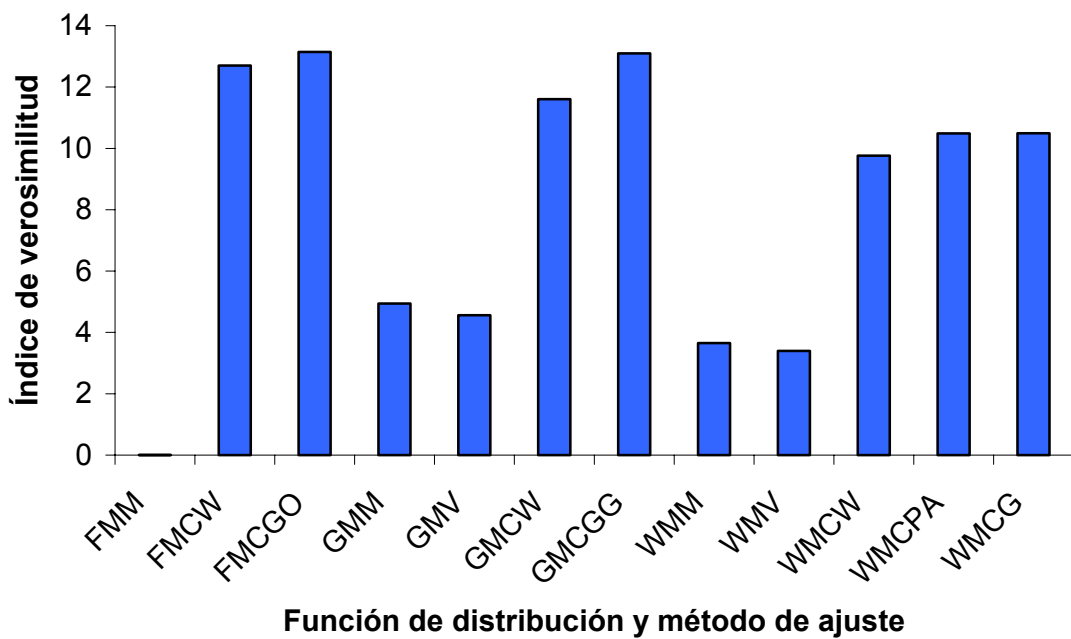
Gráfica 7: Índices de verosimilitud para la boya de Blanes y umbral de 150 cm

Verosimilitud del test K-S. Hs 200



Gráfica 8: Índices de verosimilitud para la boya de Blanes y umbral de 200 cm

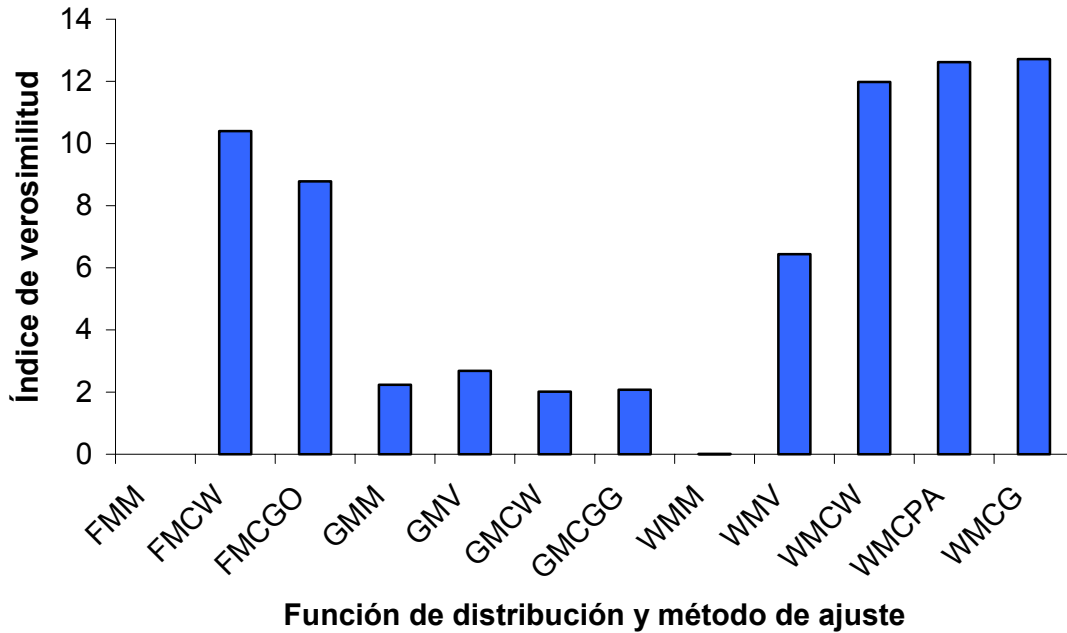
Verosimilitud del test K-S. Hs 250



Gráfica 9: Índices de verosimilitud para la boya de Blanes y umbral de 250 cm

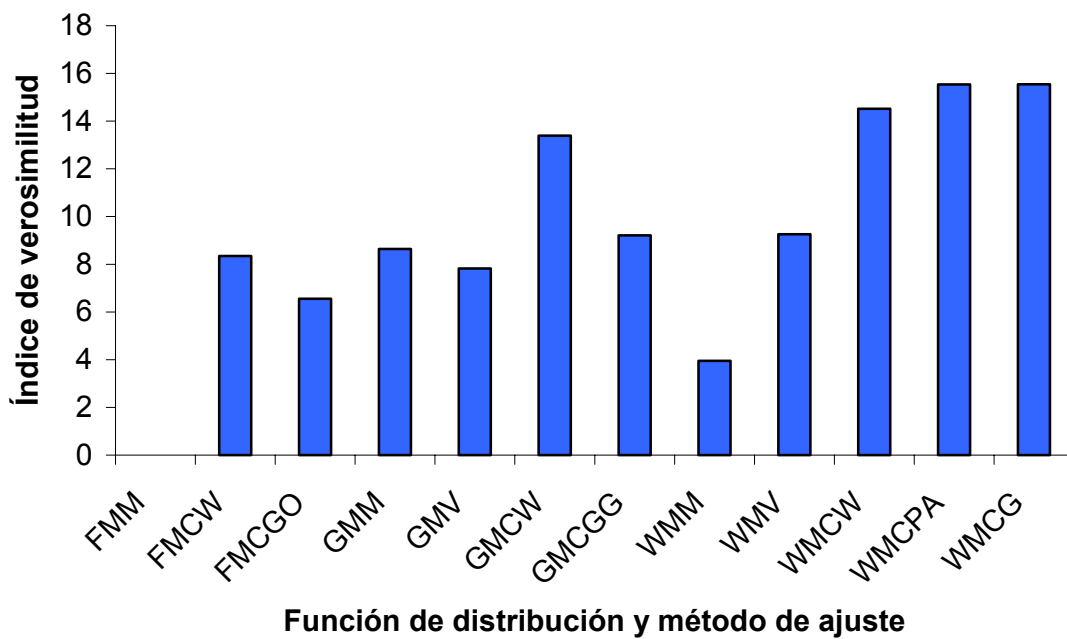
LLOBREGAT

Verosimilitud de test K-S. Hs 150



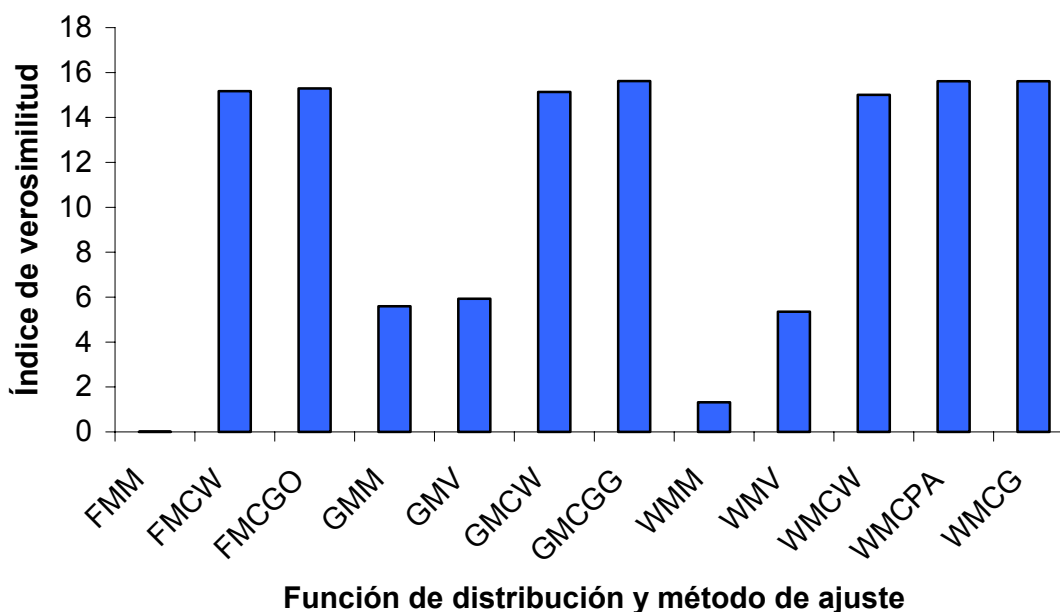
Gráfica 10: Índices de verosimilitud para la boya de Llobregat y umbral de 150 cm

Verosimilitud del test K-S. Hs 200



Gráfica 11: Índices de verosimilitud para la boya de Llobregat y umbral de 200 cm

Verosimilitud del test K-S. Hs 250



Gráfica 12: Índices de verosimilitud para la boya de Llobregat y umbral de 250 cm

Una vez obtenidos los datos se procede a realizar la elección del mejor ajuste. En principio resultaría lógico escoger el ajuste con el índice más elevado, pero para el caso de la boya de Roses y Blanes con el umbral de 250cm, el ajuste con mayor índice se realiza con la *plotting position* de Goda y Onozawa, y el programa Stones, debido a un error de programación, no permite el cálculo de los intervalos de confianza para la citada *plotting position*, así que en estos dos casos se ha escogido el ajuste con el segundo índice más elevado en lugar de con el primero, como se hace en el resto de casos. La diferencia entre el primer índice y el segundo es muy pequeña, así que el ajuste sigue siendo igual de adecuado.

En la tabla 10 se puede observar la función y el ajuste escogidos para cada boya y cada umbral con su valor correspondiente:

| | Umbral | Función y método de ajuste | Índice de verosimilitud |
|------------------|--------|----------------------------|-------------------------|
| ROSES | 150 | WMCW | 9,575 |
| | 200 | WMCPA | 8,587 |
| | 250 | GMCGG | 9,387 |
| BLANES | 150 | WMCW | 13,37 |
| | 200 | WMCW | 13,074 |
| | 250 | GMCGG | 13,097 |
| LLOBREGAT | 150 | WMCG | 12,718 |
| | 200 | WMCG | 15,542 |
| | 250 | GMCGG | 15,617 |

Tabla 10: Función y ajuste escogidos para cada boya y cada umbral

Para cada boya hay una serie de funciones que no pasan el test K-S, se caracterizan por tener el índice de verosimilitud muy bajo. En la tabla 11, 12 y 13, una para cada boya, se observa una relación de estas funciones con sus índices según el umbral:

ROSES

| Umbral | Función y método de ajuste | Índice de verosimilitud |
|--------|----------------------------|-------------------------|
| 150 | GMCW | 2,886 |
| | WMM | 0,339 |
| 200 | FMM | 0,921 |
| | FMCGO | 3,53 |
| 250 | FMM | 0,522 |

Tabla 11: Funciones que no pasan el test K-S para la boya de Roses

BLANES

| Umbral | Función y método de ajuste | Índice de verosimilitud |
|--------|----------------------------|-------------------------|
| 150 | FMM | 0,032 |
| | GMV | 3,353 |
| | WMM | 0,28 |
| 200 | FMM | 0,003 |
| | WMM | 2,955 |
| 250 | FMM | 0,004 |

Tabla 12: Funciones que no pasan el test K-S para la boya de Blanes

LLOBREGAT

| Umbral | Función y método de ajuste | Índice de verosimilitud |
|--------|----------------------------|-------------------------|
| 150 | FMM | 0 |
| | GMM | 2,237 |
| | GMV | 2,683 |
| | GMCW | 2,013 |
| | GMCGG | 2,075 |
| | WMM | 0,009 |
| 200 | FMM | 0 |
| 250 | FMM | 0,009 |
| | WMM | 1,315 |

Tabla 13: Funciones que no pasan el test K-S para la boya de Llobregat

4.4. Elección del ajuste

A partir del test de bondad de ajuste se ha podido seleccionar una función de distribución con un método de ajuste para cada uno de los umbrales de altura de ola que se han estudiado en cada boya. En estos momentos se dispone de tres posibles ajustes por cada boya, pero lo que interesa es tener un solo ajuste para cada boya, que será el que represente a la zona donde está ubicada la boya, y poder así determinar de una forma más precisa las alturas de ola y los periodos en estas zonas del litoral catalán.

Para hacer esta elección se estudian los valores de las estimas puntuales de las alturas de ola de cada umbral y se comparan entre si. Estos resultados se encuentran en las tablas 14, 15 y 16:

ROSES

| Periodo de retorno (años) | Altura de ola (m) | | |
|---------------------------|-------------------|----------------|-----------------|
| | 150cm WMCW | 200cm WMCPA | 250cm GMC GG |
| 5 | 5,644 | 5,359 | 5,375 |
| 7 | 5,968 | 5,615 | 5,671 |
| 10 | 6,31 | 5,88 | 5,984 |
| 15 | 6,696 | 6,171 | 6,339 |
| 25 | 7,178 | 6,528 | 6,786 |
| 50 | 7,827 | 6,993 | 7,391 |
| 100 | 8,471 | 7,441 | 7,996 |
| 200 | 9,109 | 7,874 | 8,601 |
| 500 | 9,945 | 8,425 | 9,4 |

Tabla 14: Estimaciones de la altura de ola para la boya de Roses

BLANES

| Periodo de retorno(años) | Altura de ola (m) | | |
|--------------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| | 150cm WMCW | 200cm WMCW | 250cm GMC GG |
| 5 | 4,457 | 4,446 | 4,315 |
| 7 | 4,668 | 4,639 | 4,509 |
| 10 | 4,888 | 4,837 | 4,714 |
| 15 | 5,136 | 5,056 | 4,946 |
| 25 | 5,443 | 5,323 | 5,239 |
| 50 | 5,854 | 5,671 | 5,635 |
| 100 | 6,257 | 6,006 | 6,031 |
| 200 | 6,653 | 6,329 | 6,427 |
| 500 | 7,169 | 6,74 | 6,95 |

Tabla 15: Estimaciones de la altura de ola para la boya de Blanes

LLOBREGAT

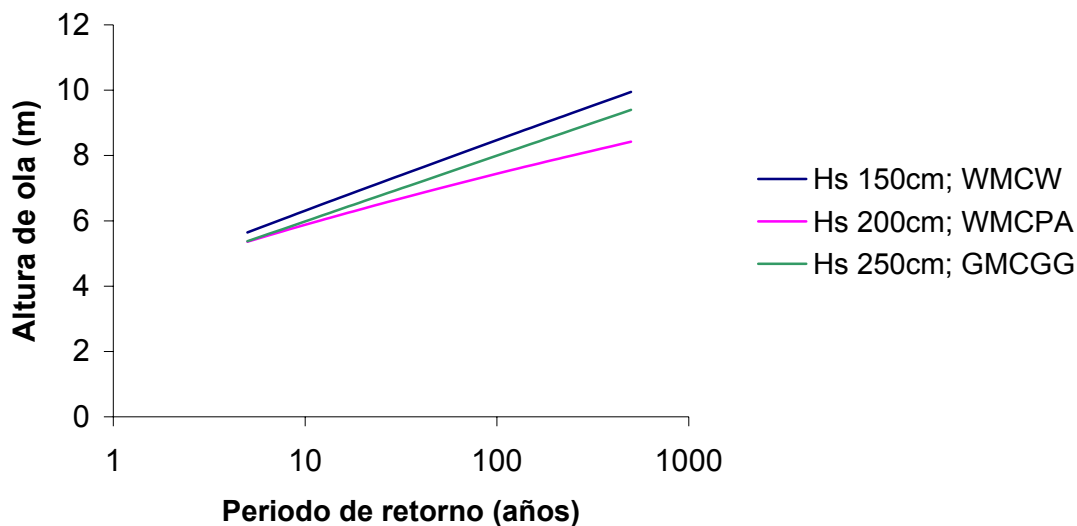
| Periodo de retorno(años) | Altura de ola (m) | | |
|--------------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | 150cm WMCG | 200cm WMCG | 250cm GMCGG |
| 5 | 4,13 | 4,157 | 4,132 |
| 7 | 4,323 | 4,333 | 4,325 |
| 10 | 4,525 | 4,514 | 4,529 |
| 15 | 4,755 | 4,714 | 4,761 |
| 25 | 5,043 | 4,96 | 5,053 |
| 50 | 5,432 | 5,281 | 5,449 |
| 100 | 5,819 | 5,59 | 5,844 |
| 200 | 6,204 | 5,889 | 6,239 |
| 500 | 6,71 | 6,271 | 6,762 |

Tabla 16: Estimaciones de la altura de ola para la boya del Llobregat

A continuación se representan los valores de las tablas 14, 15 y 16 en gráficas para comparar en cada boya los diferentes umbrales entre sí, es decir, poder escoger el umbral de altura de ola más apropiado para cada zona del litoral catalán.

ROSES

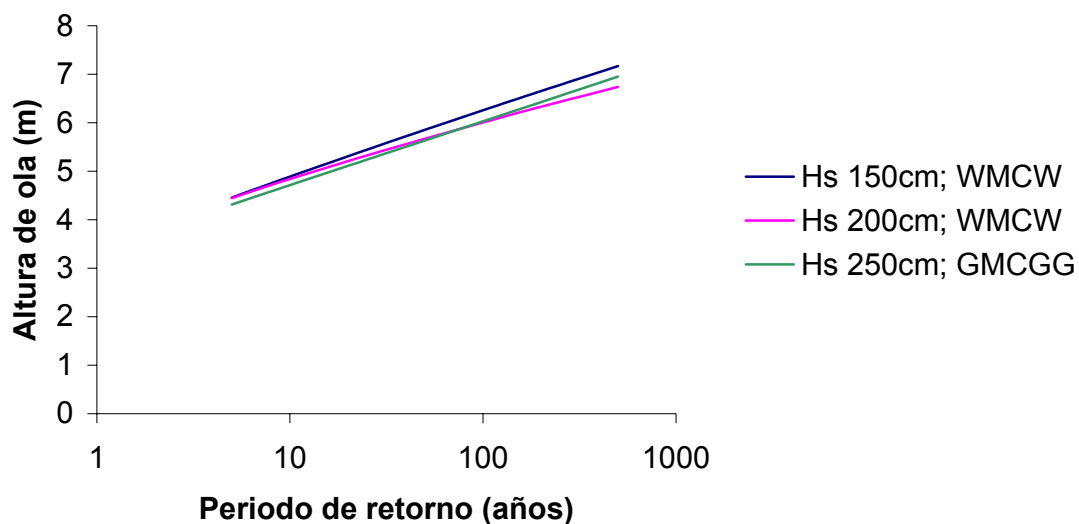
Estimas de la altura de ola



Gráfica 13: Estimaciones de la altura de ola para la boya de Roses

BLANES

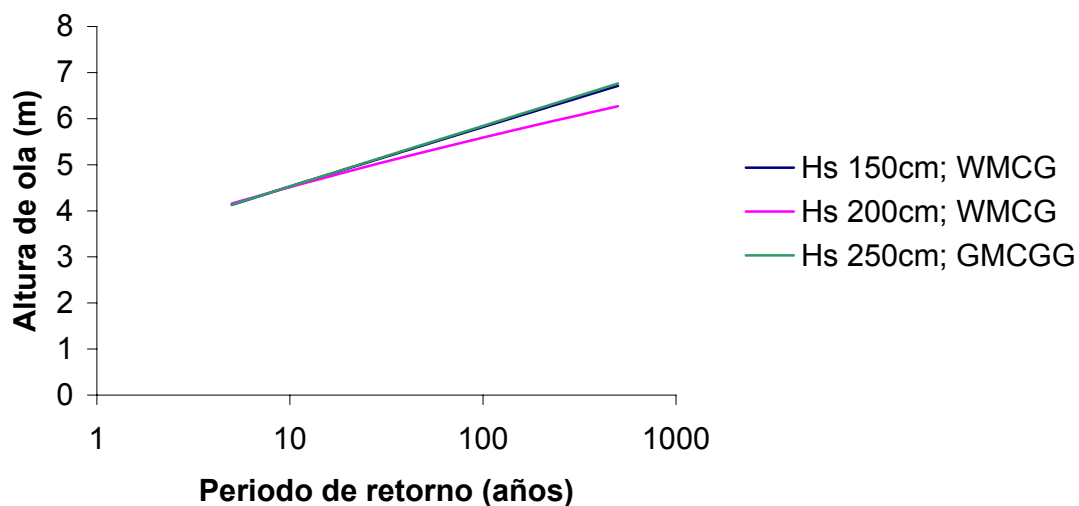
Estimas de la altura de ola



Gráfica 14: Estimas de la altura de ola para la boya de Blanes

LLOBREGAT

Estimas de la altura de ola



Gráfica 15: Estimas de la altura de ola para la boya del Llobregat

En las gráficas 13 y 14, es decir, para las boyas de Roses y Blanes se obtienen las mayores alturas de ola para el umbral de 150cm, en cambio en la gráfica 15 para la boya del Llobregat se obtienen las mayores alturas para el umbral de 250cm. En realidad no hay mucha diferencia entre los valores de uno u otro umbral, lo que dificulta la elección de uno de ellos, así que lo más razonable parece que es quedarse del lado de la seguridad y escoger como altura umbral límite 150cm para Roses y Blanes y 250cm

para el Llobregat, ya que así se obtienen las alturas de ola mayores. En la tabla 17 se resumen los ajustes y umbrales seleccionados para cada boya:

| BOYA | ALTURA UMBRAL | AJUSTE |
|-------------|----------------------|---------------|
| Roses | 150cm | WMCW |
| Blanes | 150cm | WMCW |
| Llobregat | 250cm | GMCGG |

Tabla 17: Altura umbral y ajuste para cada boya

En los anejos 3 y 4 se presentan todas las estimas puntuales de las alturas de ola y de los periodos de retorno respectivamente. Para cada umbral y cada función de distribución se comparan entre sí los diferentes métodos de ajuste. También se hace una comparación entre todas las distribuciones con sus posibles ajustes entre sí para cada umbral.

4.5. Ajuste de la función

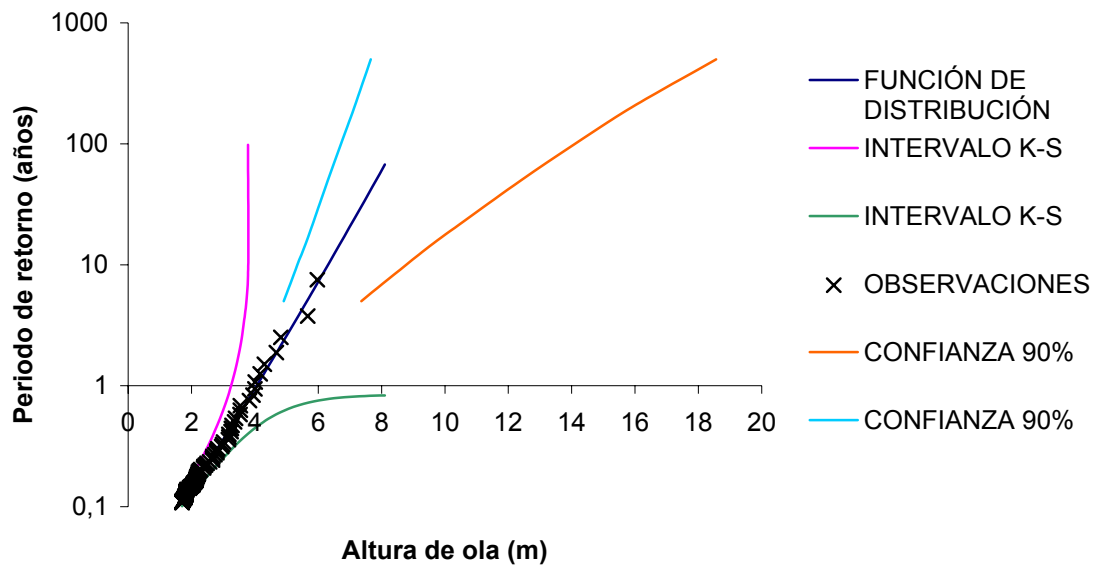
Una vez escogido un solo ajuste para cada boya se puede proceder a dar los resultados de las estimas puntuales de las alturas de ola para diversos periodos de retorno (contenidas en las tablas 14, 15 y 16) y los resultados de los intervalos de confianza. También se hace una representación gráfica donde se puede observar como se ajusta la función de distribución escogida a los datos (observaciones), los intervalos designados por el test K-S y los intervalos de confianza.

ROSES

| Periodo de retorno (años) | Estima de altura de ola (m) | Esperanza de la estima de altura de ola (m) | Desviación típica de la estima | Intervalo inferior | Intervalo superior |
|----------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 5 | 5,644 | 6,009 | 0,781 | 4,908 | 7,36 |
| 7 | 5,968 | 6,414 | 0,94 | 5,12 | 8,036 |
| 10 | 6,31 | 6,849 | 1,131 | 5,34 | 8,774 |
| 15 | 6,696 | 7,35 | 1,374 | 5,609 | 9,635 |
| 25 | 7,178 | 7,99 | 1,725 | 5,907 | 10,794 |
| 50 | 7,827 | 8,875 | 2,284 | 6,305 | 12,408 |
| 100 | 8,471 | 9,779 | 2,948 | 6,718 | 14,106 |
| 200 | 9,109 | 10,703 | 3,727 | 7,137 | 15,893 |
| 500 | 9,945 | 11,955 | 4,955 | 7,657 | 18,559 |

Tabla 18: Resultados numéricos para la boya de Roses. Intervalo de confianza con simulación estadística

Distribución de Weibull. Ajuste por mínimos cuadrados Weibull.
Hs 150cm



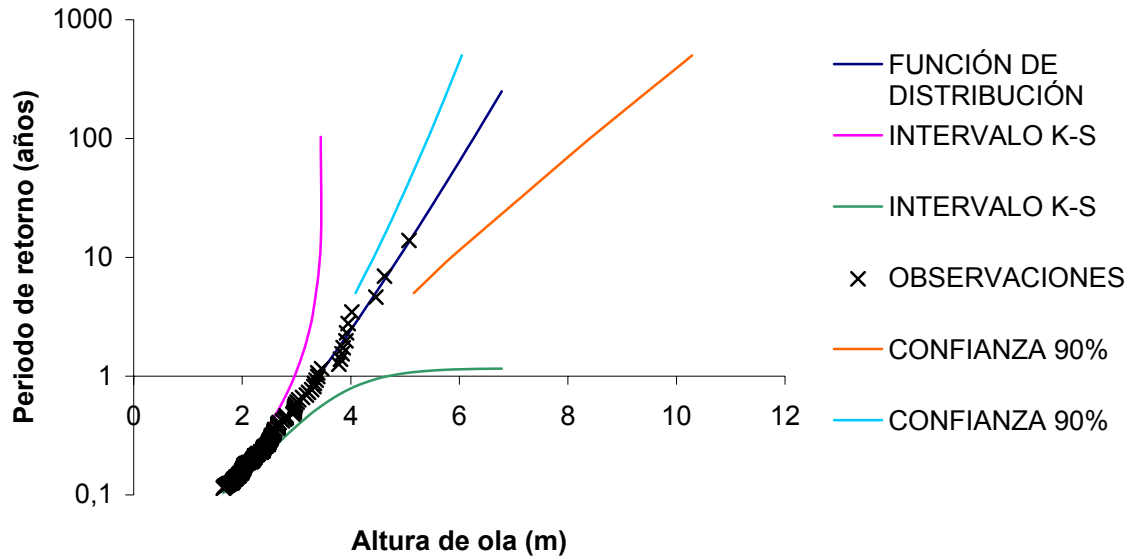
Gráfica 16: Resultados del ajuste para la boya de Roses

BLANES

| Periodo de retorno (años) | Estima de altura de ola (m) | Esperanza de la estima de altura de ola (m) | Desviación típica de la estima | Intervalo inferior | Intervalo superior |
|---------------------------|-----------------------------|---|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| 5 | 4,457 | 4,595 | 0,335 | 4,086 | 5,161 |
| 7 | 4,668 | 4,834 | 0,392 | 4,249 | 5,494 |
| 10 | 4,888 | 5,087 | 0,456 | 4,422 | 5,85 |
| 15 | 5,136 | 5,373 | 0,534 | 4,608 | 6,296 |
| 25 | 5,443 | 5,732 | 0,64 | 4,835 | 6,863 |
| 50 | 5,854 | 6,217 | 0,795 | 5,13 | 7,63 |
| 100 | 6,257 | 6,7 | 0,963 | 5,42 | 8,403 |
| 200 | 6,653 | 7,181 | 1,142 | 5,692 | 9,212 |
| 500 | 7,169 | 7,814 | 1,394 | 6,045 | 10,288 |

Tabla 19: Resultados numéricos para la boya de Blanes. Intervalo de confianza con simulación estadística

**Distribución de Weibull. Ajuste por mínimos cuadrados Weibull.
Hs 150**



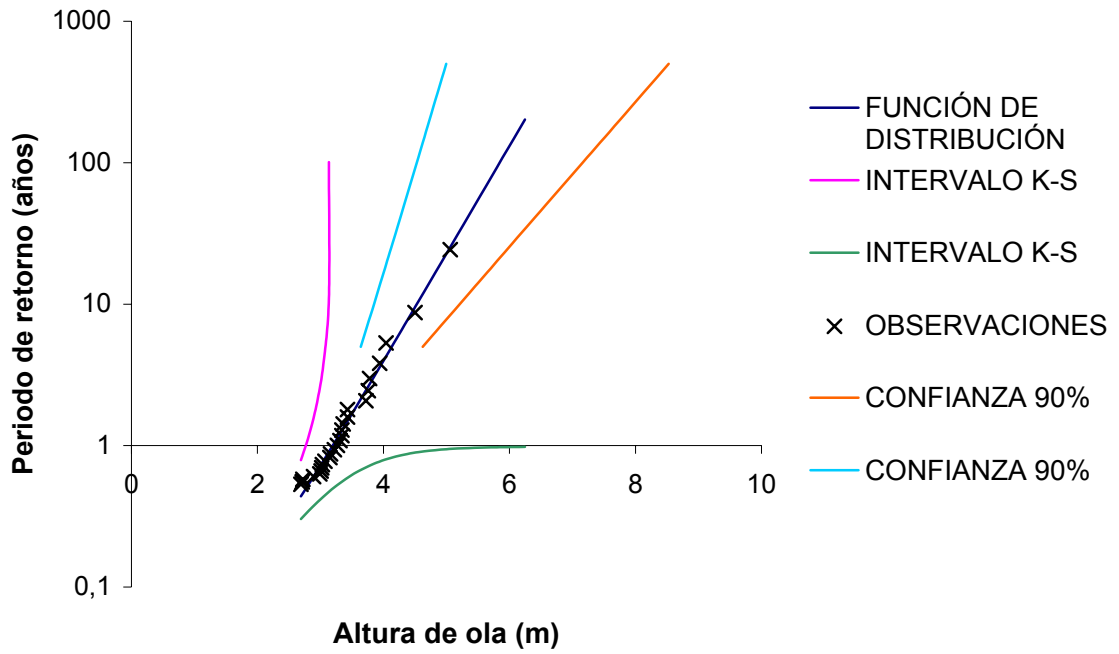
Gráfica 17: Resultados del ajuste para la boya de Blanes

LLOBREGAT

| Periodo de retorno (años) | Altura de ola (m) (confianza 90%) | Desviación típica de la estima | Intervalo inferior | Intervalo superior |
|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| 5 | 4,132 ± 0,492 | 0,299 | 3,639 | 4,624 |
| 7 | 4,325 ± 0,582 | 0,354 | 3,742 | 4,907 |
| 10 | 4,529 ± 0,679 | 0,413 | 3,85 | 5,209 |
| 15 | 4,761 ± 0,790 | 0,481 | 3,971 | 5,552 |
| 25 | 5,053 ± 0,931 | 0,566 | 4,122 | 5,984 |
| 50 | 5,449 ± 1,123 | 0,683 | 4,325 | 6,572 |
| 100 | 5,844 ± 1,316 | 0,8 | 4,528 | 7,161 |
| 200 | 6,239 ± 1,510 | 0,918 | 4,729 | 7,749 |
| 500 | 6,762 ± 1,766 | 1,074 | 4,996 | 8,528 |

Tabla 20: Resultados numéricos para la boya del Llobregat. Intervalo de confianza con las fórmulas de Goda

Distribución de Gumbel. Ajuste por mínimos cuadrados con Gringorten. Hs 250



Gráfica 18: Resultados del ajuste para la boya del Llobregat

