

Anejo III. Clima marítimo

**Proyecto básico de emisario submarino para la ampliación de la
desaladora Al-Gubrah (Omán)**



ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Caracterización media del oleaje.....	4
3. Caracterización extremal del oleaje	7
3.1. Dirección NO	8
3.2. Dirección NE.....	8
3.3 Dirección ENE.....	9
3.3. Ciclón	9
3.4. Análisis de los resultados	10
4 Simulación de resultados a lo largo de la línea de tubería. ..	11
5 Mareas	14
5.3 Coeficientes de marea	15
6 Viento	16



Índice de ilustraciones

Figura 1: punto de obtención de datos	4
Figura 2: Rosa de oleaje	5
Figura 3: Estadística de altura significativa de ola	5
Figura 4: Grafico de probabilidad de no excedencia de Hs.....	5
Figura 5: Diagrama de dispersión de la dirección respecto de Hs	6
Figura 6: Análisis extremal de altura significativa de ola dirección NO.....	8
Figura 7: Análisis extremal de periodo pico dirección NO	8
Figura 8: Análisis extremal de altura significativa de ola dirección NNE	8
Figura 9: Análisis extremal de periodo pico dirección NNE	8
Figura 10: Análisis extremal de altura significativa de ola dirección ENE	9
Figura 11: Análisis extremal de periodo pico dirección ENE	9
Figura 12: Análisis extremal de altura significativa de ola en Ciclón	10
Figura 13: Análisis extremal de periodo pico en ciclón.....	10
Figura 14: Puntos de interés del trazado	11
Figura 15: altura significativa de ola para periodo retorno 200 años	12
Figura 16: velocidad de corriente para periodo retorno 200 años.....	12
Figura 17: Altura significativa de ola para periodo retorno 1 año.....	13
Figura 18: Velocidad de corriente para periodo retorno 1 año	13
Figura 19: Referencia de oscilación de marea.	14
Figura 20: Rosa de los vientos, ámbito marino	16
Figura 21: Serie estadística de viento	17
Figura 22: gráfico de no excedencia de velocidad del viento	17



1. Introducción

El objetivo del siguiente anejo es la caracterización del clima marítimo en la zona donde se va a desarrollar el proyecto.

Para hacer esta caracterización, tanto para oleaje como para vientos, se tomará como base el estudio de clima marítimo *“wave climate study”* realizado para el *“diseño y construcción de los emisarios submarinos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nueva Darsait y de la estación de bombeo de Auzaibah”*, ya que, al ser una obra en el extranjero, no se dispone de datos suficientes para realizar el estudio.

Aunque la obra no se encuentre en el litoral español, se han tomado como referencia las recomendaciones de la ROM 0.3-91 a nivel conceptual.

En este anejo se emplean, datos obtenidos por el hindcasting realizado para la caracterización del clima marítimo en la obra de Auzaibah. El Hindcasting es un modelo teórico de previsión del oleaje a partir de la consideración de campos de presiones y/o vientos generadores de oleaje deducidos de cartas meteorológicas de superficie correspondientes a situaciones pasadas.



2. Caracterización media del oleaje

El régimen medio escalar es el régimen medio anual de la altura de ola significativa. Dicho régimen medio relaciona los diversos valores de la variable altura de ola significativa con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en el año climático medio.

Para el proyecto ubicado en la playa de Auzaibah se extrajo un conjunto de datos “hindcast” de un modelo de cuadrícula. Concretamente del punto 24,0° N 58,5° E, situado a 45 kilómetros de la costa en aguas profundas (a 1692,5 m de profundidad), como se indica en la Figura 1.



Figura 1: punto de obtención de datos

El clima marítimo, en lo que concierne al oleaje, está dominado por olas, con fetch limitado, provenientes de NO y E, hasta el punto mencionado donde se realiza la toma de datos. El conjunto de datos de oleaje abarca una duración de 34 años, corresponde al período desde enero de 1980 a diciembre de 2013 y consta de información paramétrica de oleaje extraída a intervalos de 1 hora.

La representación del oleaje se realiza mediante la denominada rosa de oleaje, representación gráfica comúnmente utilizada de la distribución compuesta por altura de ola y dirección de origen. También representa la frecuencia de presentación de alturas de ola en cada sector direccional, siendo cada sector direccional de 22.5°.

En la siguiente figura se muestra la rosa de oleaje que concierne al sector estudiado.

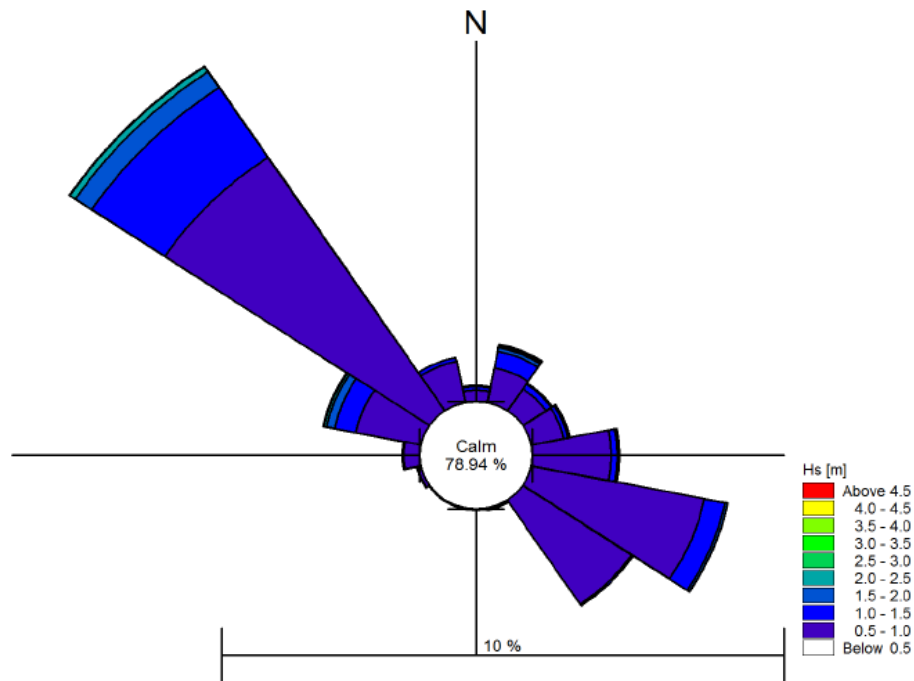


Figura 2: Rosa de oleaje

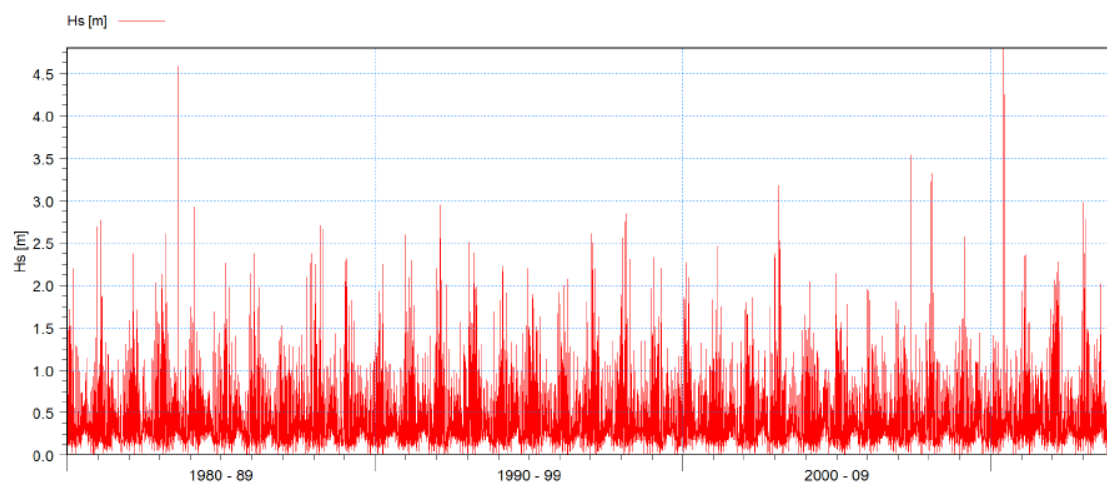


Figura 3: Estadística de altura significativa de ola

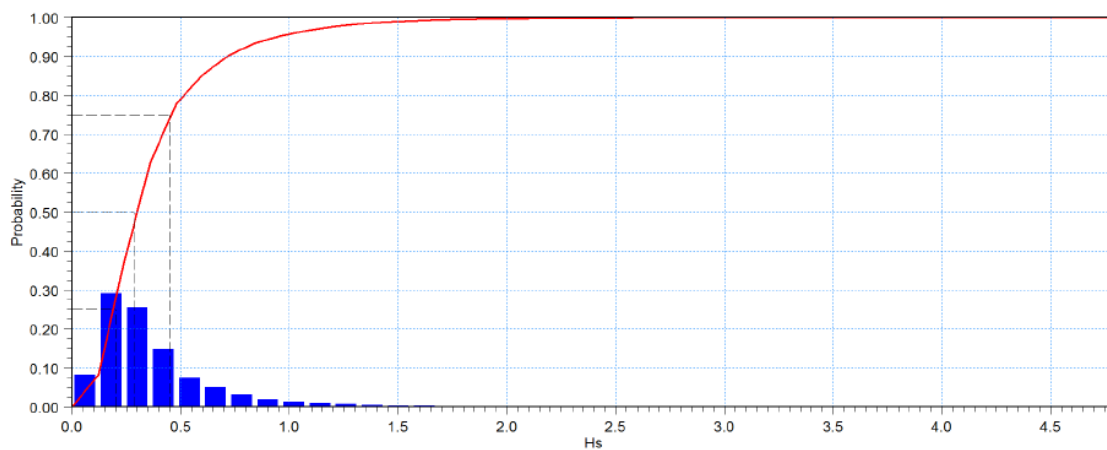


Figura 4: Grafico de probabilidad de no excedencia de Hs

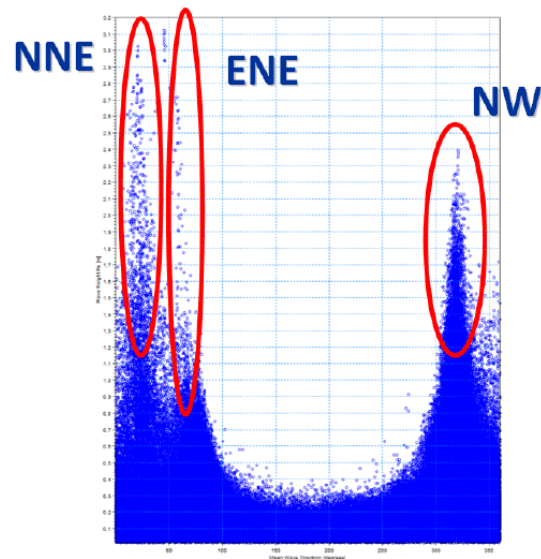


Figura 5: Diagrama de dispersión de la dirección respecto de H_s

El oleaje en alta mar se caracteriza por las olas que se genera desde los sectores de dirección NO y SE. Estos sectores de dirección representan el 8% y el 7% del oleaje total de conjunto de datos, respectivamente. Ajustando del límite superior de calma en 0,5 m, casi el 79% de los datos de oleaje están bajo este umbral.

La altura de ola media (H_s) del conjunto de datos es de 0,75 m, con un 90% de los datos de oleaje cuya altura está por debajo de 0,7 m.



3. Caracterización extremal del oleaje

El régimen extremal escalar (según ROM 0.3-91) es el régimen extremal de la altura de ola significativa. Dicho régimen extremal es la función de distribución de los valores extremos de la variable altura de ola significativa. Relaciona los valores máximos previsibles de esta variable con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en un año.

Esta probabilidad también puede expresarse en términos de periodo de retorno o de recurrencia. Se define como periodo de retorno (T) para un valor determinado de la variable (Hs), el intervalo medio de tiempo en el que dicho valor es superado una sola vez, es decir, el tiempo medio entre dos excedencias consecutivas de Hs.

Se estudió el régimen extremal en la serie de alturas de ola significativas obtenidas en Auzaibah, ajustando los valores significativos extremos para una Distribución de probabilidad.

El método utilizado para la estima de los regímenes extremales escalares es el Método de los Máximos Relativos sobre el Umbral (POT). El análisis POT (*Peaks Over Threshold analysis*) es una forma de analizar sistemáticamente la distribución de la excedencia de los niveles altos con el fin de estimar los cuantiles fuera de la rango de valores observados.

De los eventos extremos seleccionados por este método, se consideran sólo las tormentas que son independientes entre sí, en el supuesto de, entre las tormentas consecutivas, hay una ventana de tiempo de más de 3 días.

Para caracterizar el comportamiento de los extremos, el método POT utiliza la Distribución generalizada de Pareto (GPD) y la distribución Valor Extremal generalizado (GEV). La estimación de parámetros se realizó utilizando el método MLE (estimaciones de máxima verosimilitud). Los umbrales POT se decidieron tras el análisis de diferentes opciones, y elección del que dio el mejor ajuste a la distribución de los datos.

Para seleccionar el método más adecuado para estimar los valores extremos asociados al correspondiente período de retorno, se llevaban a cabo las comparaciones estadísticas de los resultados de los métodos.

Se ha llevado a cabo un análisis de oleaje en régimen extremal para cada dirección dominante de Auzaibah (NW NNE ENE ciclón). Está representado en las Figuras 6 a 11.



3.1. Dirección NO

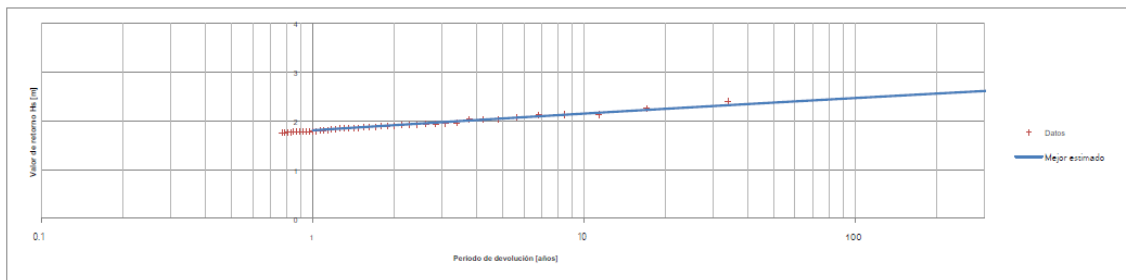


Figura 6: Análisis extremal de altura significativa de ola dirección NO.

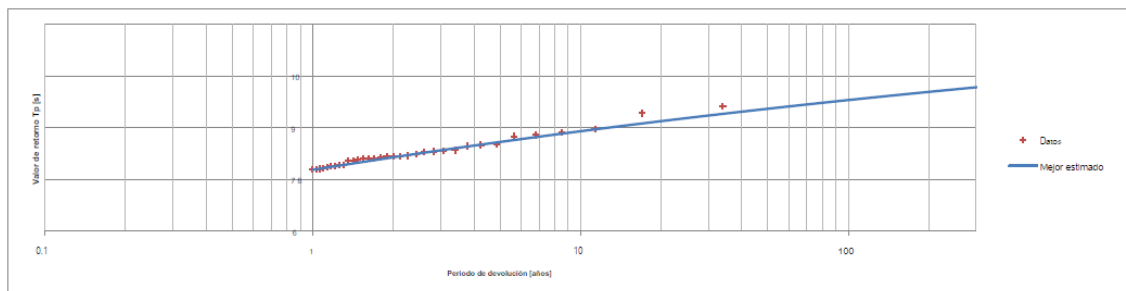


Figura 7: Análisis extremal de periodo pico dirección NO

3.2. Dirección NNE

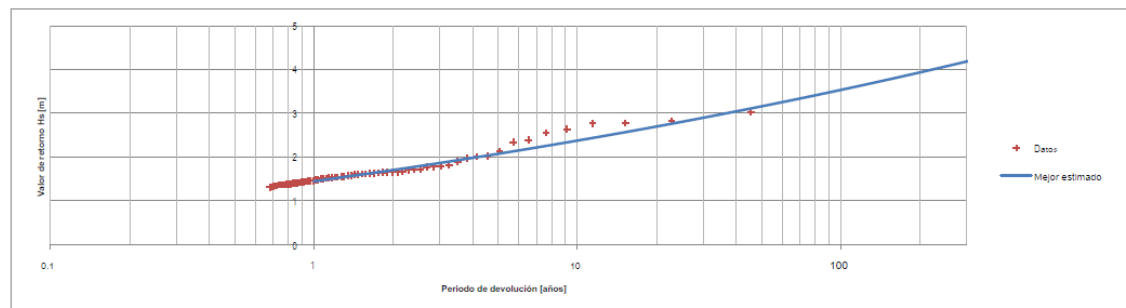


Figura 8: Análisis extremal de altura significativa de ola dirección NNE

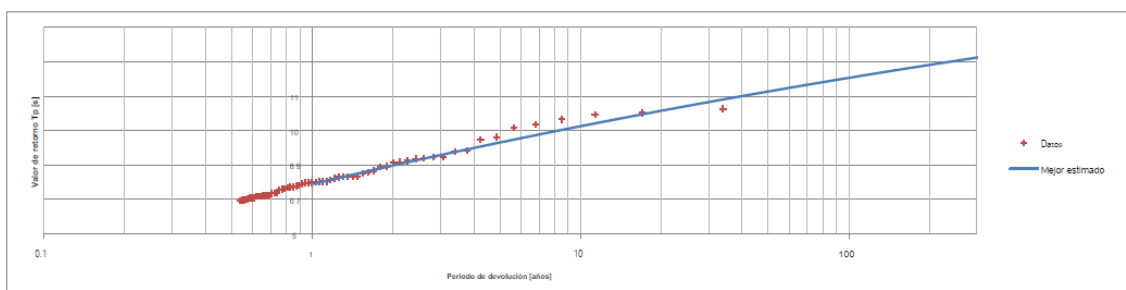


Figura 9: Análisis extremal de periodo pico dirección NNE



3.3 Dirección ENE

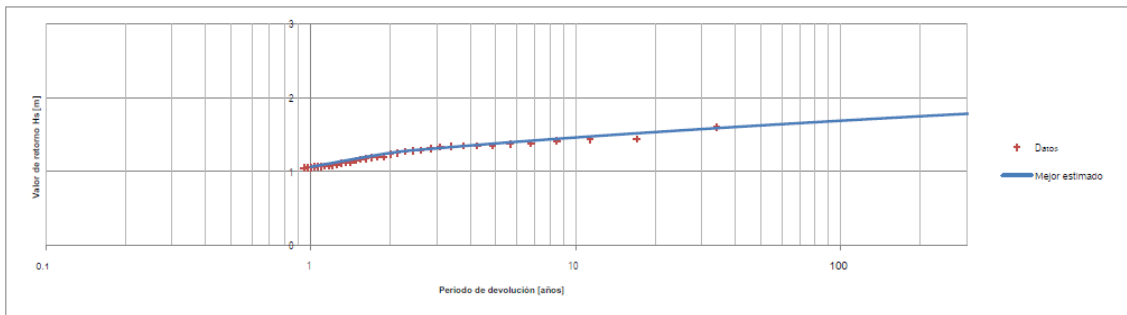


Figura 10: Análisis extremal de altura significativa de ola dirección ENE

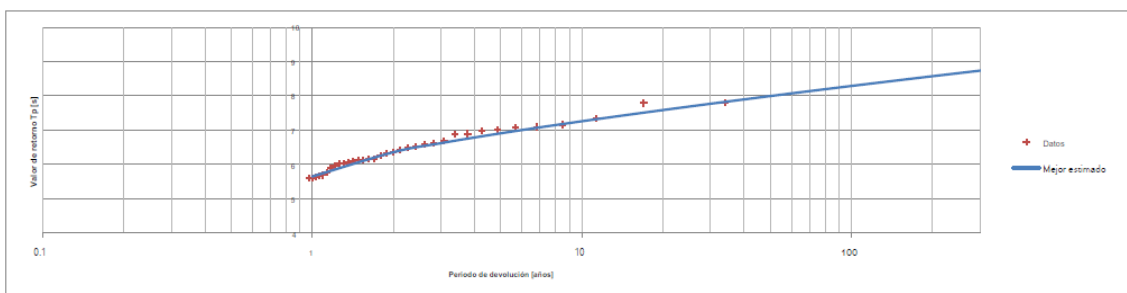


Figura 11: Análisis extremal de periodo pico dirección ENE

3.3. Ciclón

Se realizó un análisis de valor extremal de todos los eventos extremos, incluyendo ciclones, utilizando el Método de los Máximos Relativos sobre el Umbral (POT).

En los últimos 34 años han tenido lugar tres ciclones en el Mar de Omán:

- Tormenta tropical *One* (1A), el 10 del mes de agosto 1983
- Ciclón *Gonu*, el 6 de junio de 2007
- El ciclón *Phet*, el 4 de junio de 2010

La dirección dominante de los ciclones, 45 grados, ha sido considerada representativa de los eventos más extremos. La altura de ola significativa y el período se han obtenido para un período retorno de 200 años.

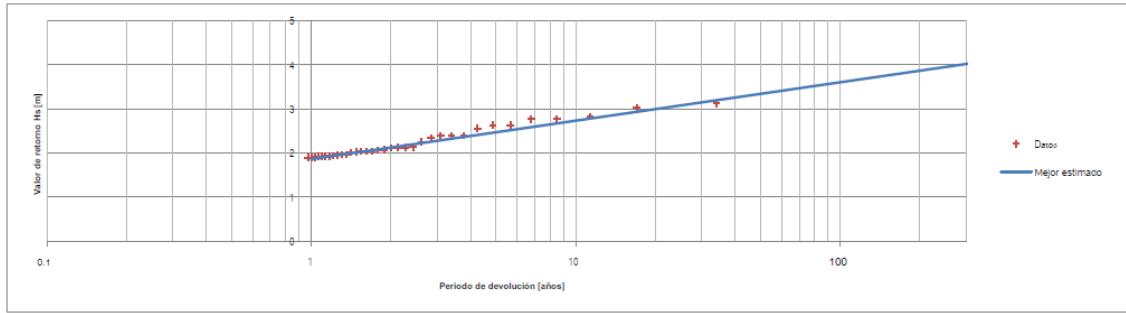


Figura 12: Análisis extremal de altura significativa de ola en Ciclón

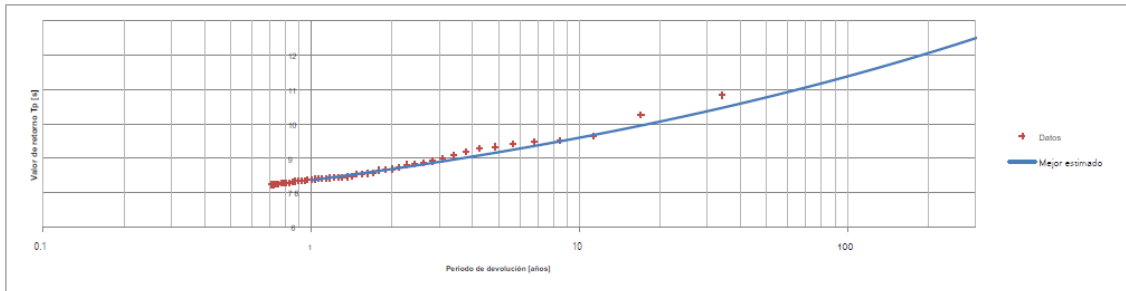


Figura 13: Análisis extremal de periodo pico en ciclón

3.4. Análisis de los resultados

Las condiciones del oleaje obtenido del análisis del régimen extremal del oleaje se muestran en la Tabla 1:

dirección	Periodo retorno	Hs (m)	Tp (s)	Dirección (grados)
NO	1	1,82	7,14	315
	200	2,54	9,02	315
NNE	1	1,44	6,42	22,5
	200	3,91	9,93	22,5
ENE	1	1,06	5,51	67,5
	200	1,75	8,56	67,5
Ciclón	200	3,95	11,04	46

Tabla 1: Resultados análisis extremal



4 Simulación de resultados a lo largo de la línea de tubería.

Habiendo caracterizado el clima marítimo del emplazamiento de la obra, se realizó una simulación para concretar la afección del clima marítimo en la trayectoria de la tubería, concretamente en 8 puntos de dicha trayectoria.

Se hizo una selección de las condiciones del peor oleaje para el diseño de las obras una vez realizado del análisis de la altura de ola, periodo de pico y dirección.

dirección	Periodo retorno	Hs (m)	Tp (s)	Dirección (grados)
NO	1	1,82	7,4	315
Ciclón	200	3,95	1,04	46

Tabla 2: Condiciones de oleaje de diseño

Las condiciones de las olas extremas en la Tabla se han transformado a puntos de interés a lo largo de las tuberías pista por un modelado de onda local. La Figura 14 muestra los puntos de los cuales han sido extraídas de los resultados.

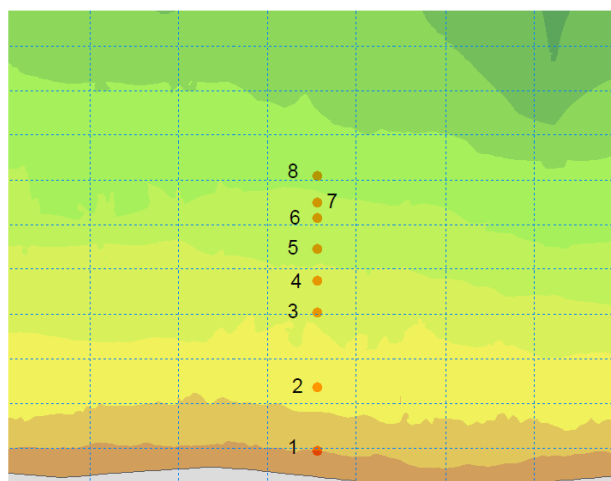


Figura 14: Puntos de interés del trazado

Las **tablas** describen el oleaje y el clima actual. Se muestran los siguientes parámetros resultantes:

- Altura significativa de ola
- Altura máxima de ola
- Pico periodo de la ola
- La dirección media de las olas
- La velocidad media
- Dirección de la corriente



Puntos	1	2	3	4	5	6	7	8
Hs (m)	1.67	1.67	1.67	1.71	1.74	1.75	1.76	1.77
H max(m)	3.18	3.24	3.25	3.31	3.37	3.40	3.41	3.43
Tp (s)	7.06	7.04	7.03	7.02	7.02	7.02	7.02	7.02
Dirección	338.06	325.5	321.14	319.81	318.70	317.81	317.43	316.73
Velocidad corriente	0.31	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
Dirección corriente	281.23	301.40	283.95	289.26	291.13	287.11	286.16	283.64

Tabla 3: Condiciones de diseño de oleaje para periodo retorno 1 año

Puntos	1	2	3	4	5	6	7	8
Hs (m)	2.54	3.93	3.86	3.81	3.8	3.78	3.76	3.77
H max(m)	3.04	6.88	7.26	7.16	7.15	7.11	7.08	7.1
Tp (s)	11.12	11.09	11.08	11.08	11.07	11.07	11.07	11.06
Dirección	21.92	31.23	35.67	37.73	39.77	40.78	41.17	41.74
Velocidad corriente	0.89	0.37	0.1	0.1	0.09	0.09	0.08	0.06
Dirección corriente	97.31	97.31	294.59	283.77	273.58	270.48	271.07	276.77

Tabla 4: Condiciones de diseño de oleaje para periodo retorno 200 años

Las Figuras 15 y 16 muestran la altura de ola significativa y la velocidad actual para y un periodo retorno de 200 años.

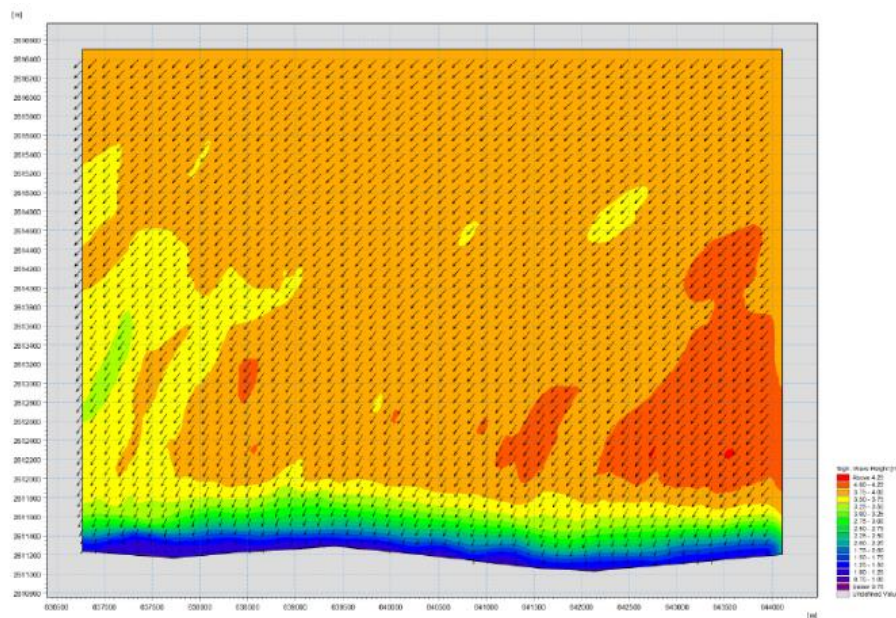


Figura 15: altura significativa de ola para periodo retorno 200 años

Las Figuras siguientes muestran la altura significativa de ola y la velocidad actual para un periodo retorno de 1 año.

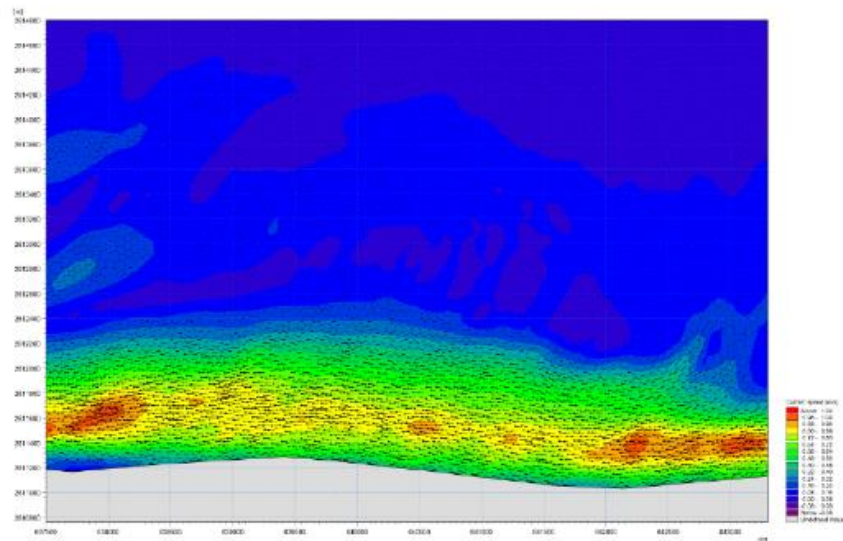


Figura 16: velocidad de corriente para periodo retorno 200 años

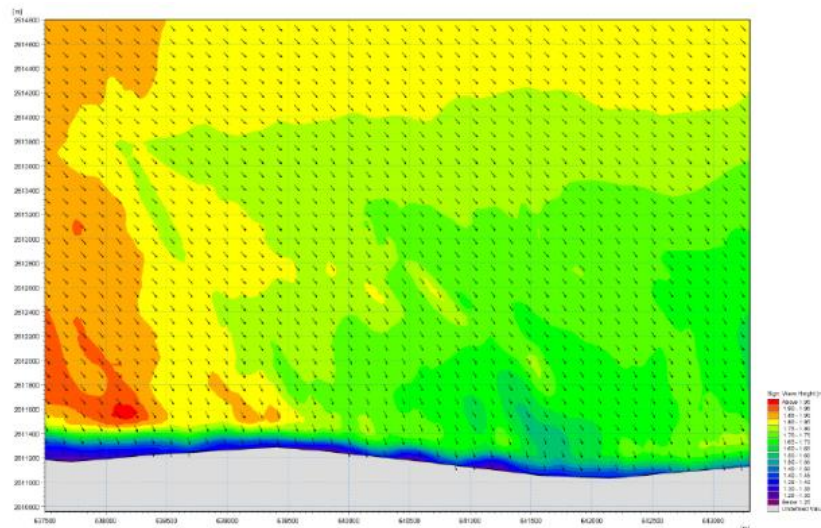


Figura 17:
significante

periodo retorno 1 año

Altura
de ola para

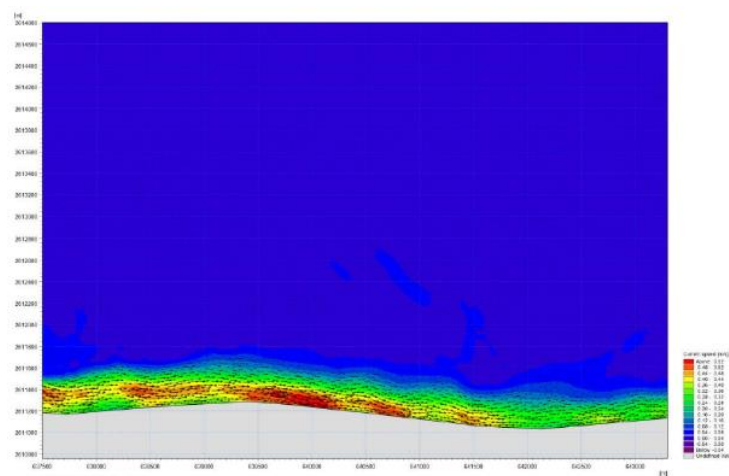


Figura 18: Velocidad de corriente para periodo retorno 1 año



5 Mareas

Las mareas son oscilaciones periódicas del nivel del mar que resultan de la atracción del Sol y de la Luna sobre los océanos. Los efectos de los dos astros se superponen y su resultante constituye la fuerza generadora de las mareas.

En Muscat, área de estudio, la marea es semi-diurna (dos ciclos de marea). Se considera que las mareas giran hacia la derecha, lo que resulta en corrientes netas como refluo en direcciones sudeste y las corrientes netas de las inundaciones en direcciones norte-oeste.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo del sistema de ciclos de marea un día aleatorio. Las horas de los picos varían entre días así como la pleamar o bajamar.

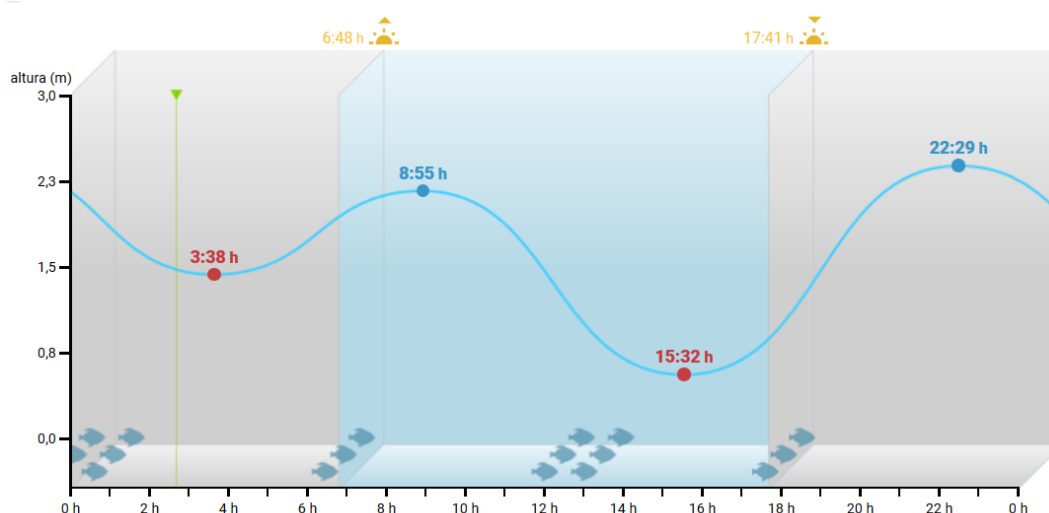


Figura 19: Referencia de oscilación de marea.

Las condiciones de la marea generales en el emplazamiento se muestran en la tabla 5.

Niveles de marea	Nivel del agua
Marea máxima astronómica	+3,30
Media más alta de pleamar	+2,60
Media de pleamar más baja	+2,50
Nivel medio del mar	+1,90
Media más alta de bajamar	+1,66
Media de las bajamares más bajas	+0,86
Bajamar astronómico	+0,00

Tabla 5: Condiciones generales de marea



5.3 Coeficientes de marea

Los coeficientes de mareas en las tablas de mareas, son unos parámetros que nos indican la amplitud de marea prevista (la diferencia entre pleamar y bajamar), lo que permite crear una ventana de trabajo en función de las necesidades dadas en amplitudes de marea extremas.

En la siguiente Figura se muestran los coeficientes de mareas del año 2018.

DÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	100/102	105/104	104/106	100/97	86/82	68/65	67/65	68/66	62/57	53/49	53/57	61/65
2	103/103	101/98	106/106	93/88	78/74	62/58	63/60	63/60	53/50	47/47	63/69	69/72
3	101/99	93/88	104/100	83/77	69/64	55/51	58/56	57/55	48/48	50/55	75/80	75/78
4	95/91	82/76	96/91	71/64	59/54	48/46	54/52	53/52	51/55	61/68	85/90	81/83
5	86/80	69/62	85/78	58/52	49/44	44/43	51/50	51/53	60/67	75/83	93/96	84/85
6	75/69	56/50	71/64	46/40	41/38	43/45	50/52	55/59	74/81	89/95	97/97	85/85
7	64/59	45/41	57/51	36/33	36/36	47/51	54/57	63/69	88/95	100/103	97/95	84/82
8	54/51	39/38	45/39	32/33	38/41	55/59	60/65	75/81	100/104	105/106	93/89	80/78
9	48/47	39/41	35/33	35/39	45/50	65/70	69/74	87/93	107/109	106/104	85/81	75/71
10	47/47	44/48	32/34	45/50	55/61	75/80	79/84	98/102	109/107	101/96	76/71	68/64
11	49/51	52/56	37/42	56/63	67/73	85/89	89/93	104/106	104/100	91/86	65/60	60/56
12	54/57	61/65	47/52	69/75	79/84	93/96	96/99	106/105	95/89	79/72	54/49	53/49
13	60/63	70/74	58/64	80/86	89/93	98/99	100/101	102/98	82/75	66/59	44/40	46/44
14	66/69	77/80	69/74	90/94	97/99	99/98	100/98	93/88	67/60	52/46	37/35	42/41
15	72/74	83/85	79/84	97/99	100/100	95/92	96/92	82/75	53/46	40/35	35/36	42/43
16	76/77	87/88	88/91	100/100	99/97	89/85	88/83	68/61	41/36	33/32	39/43	46/49
17	78/79	88/88	94/96	99/97	94/90	80/75	78/72	55/50	34/33	33/36	48/53	53/58
18	79/79	87/85	96/96	93/89	85/79	71/67	67/62	45/42	35/38	40/45	58/64	63/68
19	78/77	83/80	95/93	83/78	74/69	63/60	58/54	40/40	42/47	50/56	70/75	73/78
20	75/73	76/72	90/86	71/65	64/60	58/57	51/50	41/44	53/58	62/68	80/85	83/87
21	71/68	67/62	82/76	59/55	57/56	57/57	49/50	47/51	63/68	73/78	89/92	91/94
22	65/62	58/54	70/64	51/50	56/57	59/60	51/53	56/60	73/78	83/87	95/96	96/97
23	60/57	51/50	58/53	51/54	60/63	62/64	55/58	64/68	82/85	91/94	97/97	98/97
24	55/53	50/53	50/48	59/64	66/69	66/68	61/64	72/75	88/90	95/97	95/93	95/93
25	53/54	58/64	49/52	69/75	72/75	70/72	67/69	78/81	92/93	97/96	89/85	89/85
26	56/59	70/77	57/63	80/84	78/80	73/74	71/73	83/84	93/92	94/91	81/76	81/76
27	64/69	84/91	70/76	88/91	81/82	75/75	75/76	85/85	90/87	87/82	70/65	72/67
28	75/81	96/101	83/89	93/94	83/83	75/75	77/77	85/84	84/79	76/71	61/58	64/60
29	87/93	/	94/98	94/93	82/81	74/73	77/77	83/80	74/69	65/59	56/55	58/57
30	97/101	/	101/102	91/89	79/77	71/69	76/75	78/74	63/58	54/51	56/58	56/57
31	104/105	/	102/102	/	74/72	/	73/71	70/66	/	49/50	/	58/60

Tabla 6: Coeficientes de marea 2018

[Coeficiente 0:00h / Coeficiente 12:00h] bajo medio alto muy alto



6 Viento

Para el estudio del viento también se obtuvieron datos del estudio hindcast. Dicho estudio (relativo a la zona de alta mar de los últimos 34 años) fue incluido el estudio de clima marítimo.

El conjunto de datos mencionado consiste en el promedio de velocidades del viento tomadas cada hora durante el periodo comprendido entre Enero de 1980 y diciembre de 2013. Las velocidades media y máxima de viento son 3,8 m / s y 21,9 m /s, respectivamente.

En la siguiente rosa de viento se puede apreciar la distribución de velocidades del viento así como la dirección.

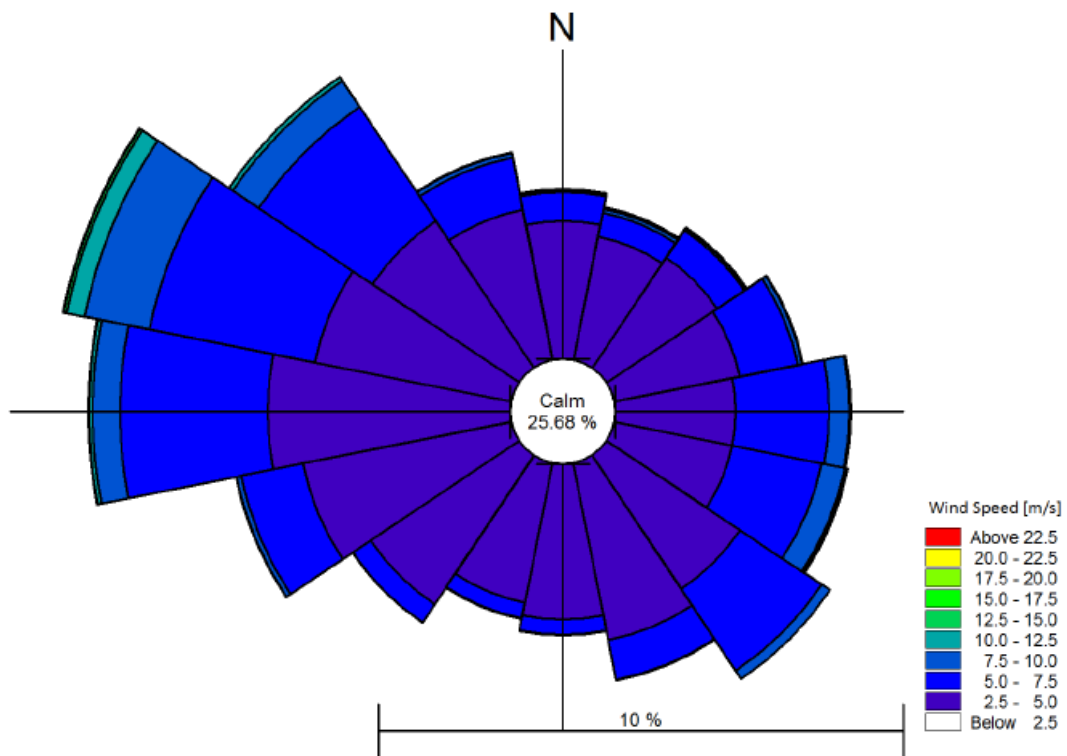


Figura 20: Rosa de los vientos, ámbito marino

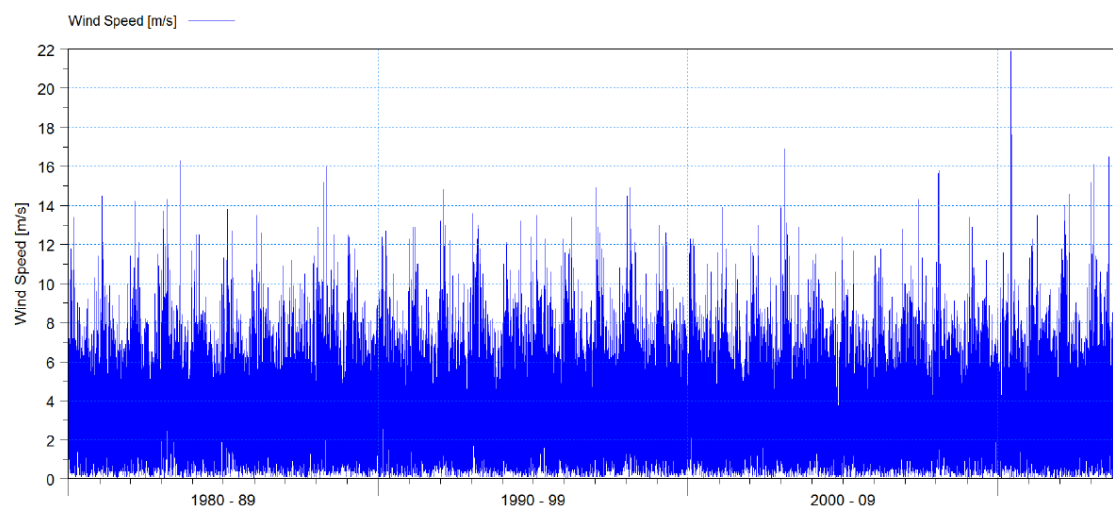


Figura 21: Serie estadística de viento

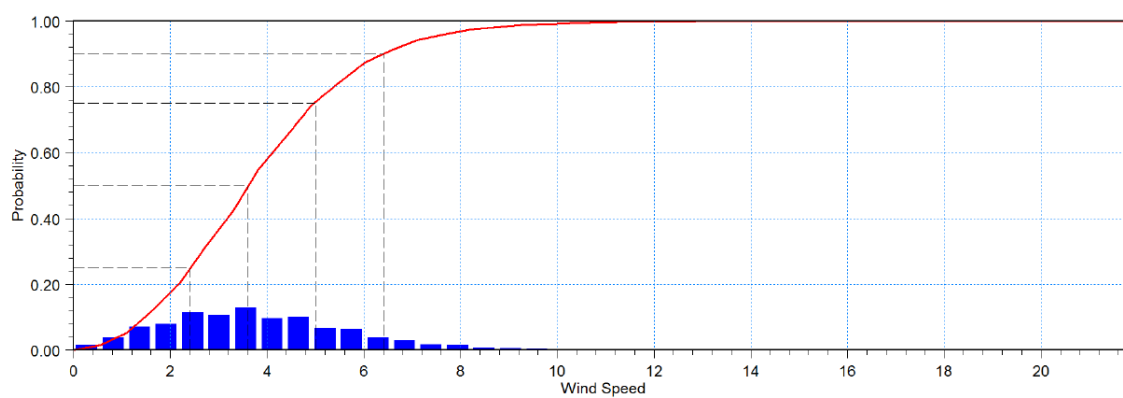


Figura 22: gráfico de no excedencia de velocidad del viento