



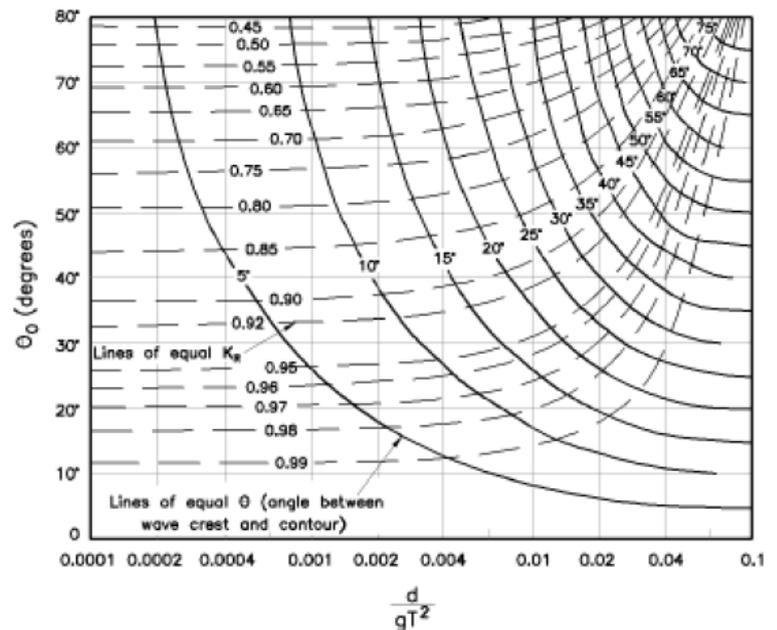
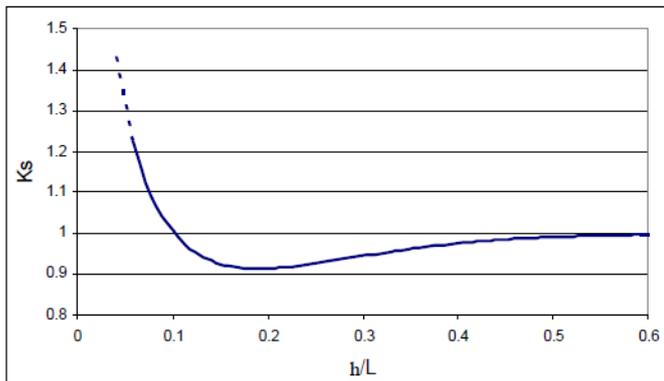
## PROBLEMA 1

Se pretende estimar las alturas de ola máxima y significativa del oleaje, en un punto de la costa situado a 5 m de profundidad, sabiendo que en una boya situada a 40 m de profundidad el oleaje tiene dirección NE (dirección definida en la ubicación de la boya), periodo de 11 s y altura de ola significativa 3 m. Tanto en el punto de estudio como en la boya la batimetría se puede considerar plana. Desde el punto de estudio hasta aguas indefinidas las batimétricas están orientadas en dirección E-W, mientras que las batimétricas desde la boya, hasta aguas indefinidas, están orientadas en la dirección NW-SE.

Para este problema se adoptarán los siguientes criterios:

- Para la estimación de la longitud de onda se deberá emplear la aproximación de Fenton
- Para la estimación del coeficiente de asomeramiento se utilizará el gráfico adjunto
- Para la estimación del coeficiente de refracción se utilizará el gráfico adjunto
- La rotura del oleaje se tendrá en cuenta mediante la fórmula de McCowan (NO se empleará la fórmula de Goda).

Datos:

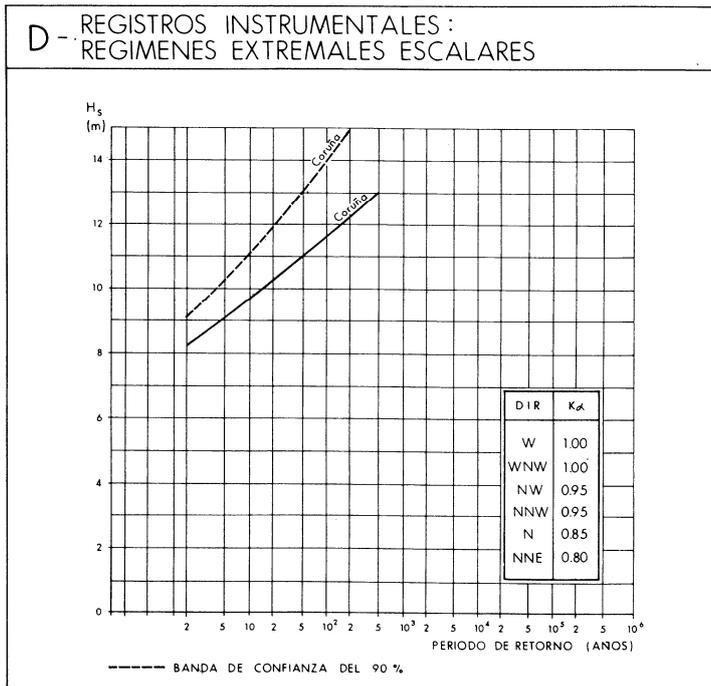


$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \left( \tanh \left[ \left( \frac{\omega^2 h}{g} \right)^{\frac{3}{4}} \right] \right)^{\frac{2}{3}}$$



**PROBLEMA 2**

Se pide estimar la altura de ola significativa de diseño en la costa de La Coruña considerando un riesgo admisible de 0,3, una vida útil de 25 años, un coeficiente de propagación entre aguas profundas y boya de 0,9, un coeficiente de propagación entre aguas profundas y ubicación en estudio de 1,05, y un coeficiente de severidad direccional  $K_{\alpha} = 1,00$ . Se deberá considerar la banda de confianza del 90% del régimen en la boya que se muestra a continuación.



$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^{L_f}$$



**PROBLEMA 3**

En un proyecto arquitectónico se quiere construir un Hotel-Spa en la playa de Zurriola. El Estudio de Arquitectura ha solicitado a una empresa de Proyectos que diseñe un dique para el abrigo de dicha playa. Dicha empresa ha considerado en fase de construcción, un dique en talud. Esta infraestructura está considerada de carácter general y de interés local. Para todos los cálculos se ha trabajado con la boya de Bilbao del Área I del atlas del clima marítimo del litoral español.

Se pide calcular la altura de ola a pie de dique y comprobar si dicha altura de ola llega rota a nuestra estructura.

Datos:

- Profundidad de morro de dique: 12 metros, Pendiente a pie de dique del 1%, El ángulo que forma el frente con la batimetría en profundidades indefinidas se estima de 30º

**TABLA 2.7.1. COEFICIENTES DE REFRACCIÓN-SHOALING ( $K_s$ ) CORRESPONDIENTES A PROPAGACIONES DE OLEAJES DESDE AGUAS PROFUNDAS HASTA EL EMPLAZAMIENTO DE LOS PUNTOS DE MEDIDA ANALIZADOS**

ÁREA	PUNTO DE MEDIDA	T(s) DIR	7	9	11	13	15	17	19
			BILBAO EXTERIOR	NW	—	0,98	0,93	0,86	0,80
NNW	—	0,98		0,94	0,93	0,93	0,92	0,90	0,90
N	—	0,98		0,94	0,91	0,88	0,85	0,80	0,80
NNE	—	0,98		0,96	0,95	0,95	0,93	0,90	0,90
NE	—	0,98		0,94	0,94	0,94	0,91	0,83	0,83
GIJÓN	NW	—	0,86	0,82	0,80	0,76	0,84	0,82	0,82
	NNW	—	0,85	0,82	0,84	0,85	0,88	0,88	0,88
	N	—	0,93	0,98	1,02	0,99	0,91	0,84	0,84
	NNE	—	0,89	0,88	0,87	0,88	1,01	1,02	1,02
	NE	—	0,89	0,90	0,90	0,95	0,85	0,89	0,89

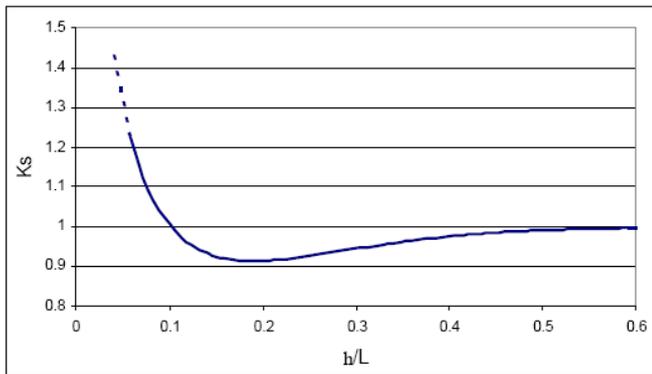


Figura 1.1 - Coeficiente de asomeramiento desde aguas profundas

**TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)**

TIPO DE OBRA O INSTALACIÓN	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

**LEYENDA:**

**INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL:**  
Obras de carácter general; no ligadas a la explotación de una instalación industrial o de un yacimiento concreto.

**DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO:**  
Obras al servicio de una instalación industrial concreta o ligadas a la explotación de recursos o yacimientos de naturaleza transitoria (por ejemplo, puerto de servicio de una industria, cargadero de mineral afecto a un yacimiento concreto, plataforma de extracción de petróleo,...).

**NIVEL 1:**  
Obras e instalaciones de interés local o auxiliares.  
Pequeño riesgo de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura. (Obras de defensa y regeneración de costas, obras en puertos menores o deportivos, emisarios locales, pavimentos, instalaciones para manejo y manipulación de mercancías, edificaciones,...).

**NIVEL 2:**  
Obras e instalaciones de interés general.  
Riesgo moderado de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura. (Obras en grandes puertos, emisarios de grandes ciudades, ...).

**NIVEL 3:**  
Obras e instalaciones de protección contra inundaciones o de carácter supranacional.  
Riesgo elevado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura. (Defensa de núcleos urbanos o bienes industriales, ...).

**TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)**

TIPO DE OBRA O INSTALACIÓN	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

Tabla 2.4 – Vida útil según la ROM 0.2/90

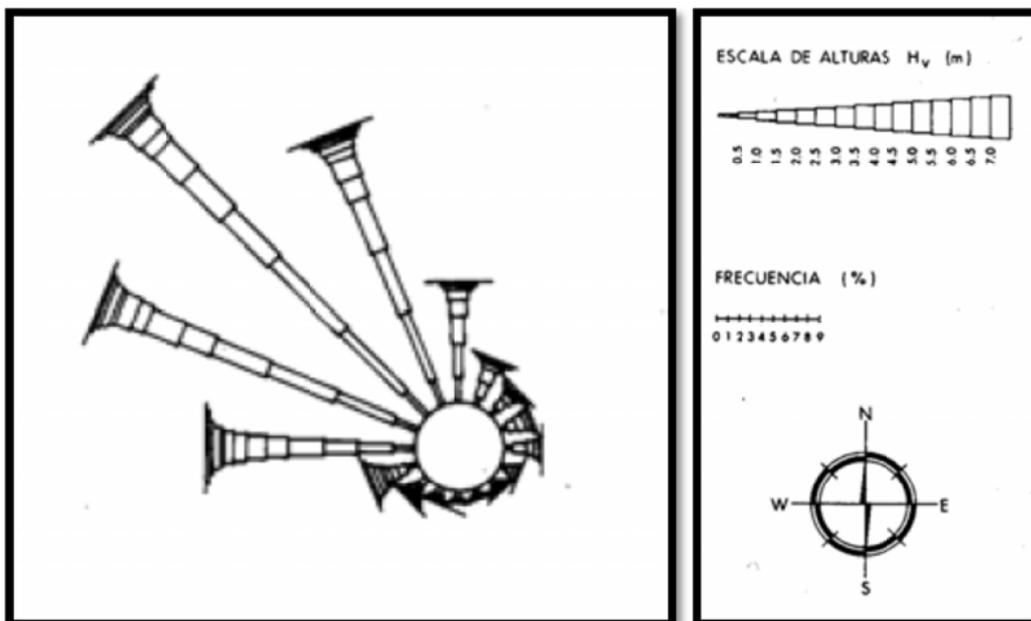
Para calcular la altura de ola significativa ( $H_s$ ) que sirva como ola de cálculo para el futuro dique en talud que de abrigo a la zona del proyecto de estudio en la playa de la Zurriola utilizaremos los datos de oleaje extremal de la Boya de Bilbao, del Área I del atlas de clima marítimo del litoral español.



8

La boya de Bilbao está fondeada a 50 metros de profundidad, con un periodo de medida entre los años 1985 a 1990, y sus coordenadas son  $43^{\circ} 24' 00''$  N,  $3^{\circ} 8' 36''$  W.

Como podemos observa en la rosa de oleaje, la dirección reinante y dominante coinciden en el oleaje de dirección NW, el cual será nuestro oleaje de estudio para el presente proyecto.



Necesitamos conocer el Período de Retorno ( $T_R$ ) a utilizar en nuestra obra marítima. Calculamos el valor de Riesgo Admisible ( $E$ ) y la Vida Útil ( $L_f$ ) basándonos en las Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM).

**TABLA 3.2.3.1.2. RIESGOS MÁXIMOS ADMISIBLES PARA LA DETERMINACIÓN, A PARTIR DE DATOS ESTADÍSTICOS, DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE CARGAS VARIABLES PARA FASE DE SERVICIO Y CONDICIONES EXTREMAS**

a) RIESGO DE INICIACION DE AVERIAS

		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Índice: $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
	ALTA	0,25	0,15

b) RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL

		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Índice: $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05

**TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)**

TIPO DE OBRA O INSTALACION	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

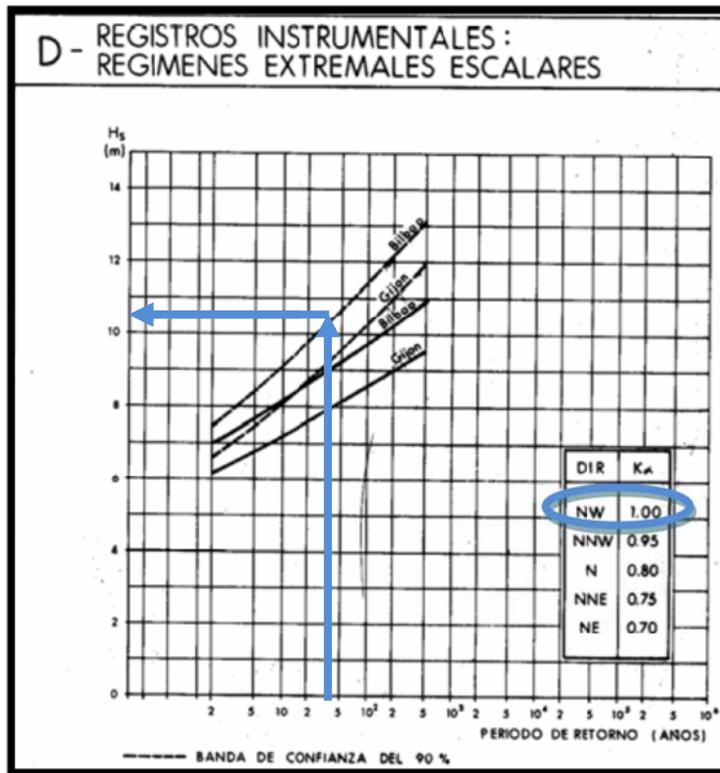
Como la obra de abrigo de nuestro proyecto consiste en un dique en talud debemos considerar el riesgo de iniciación de averías. Al ser una obra marítima de carácter menor consideramos una repercusión económica baja con una posibilidad de pérdidas humanas reducida y un nivel 1 de seguridad requerido por lo que el valor de  $E = 0.50$  y  $L_f = 25$  años.

Las tres variables (Período de Retorno, Riesgo Admisible y Vida útil) están relacionadas por la siguiente expresión:

$$E = 1 - \left( 1 - \frac{1}{\lambda \cdot T_R} \right)^{\lambda \cdot L_f}$$

Consideremos el método de los máximos anuales, tomando por ello un valor de  $\lambda = 1$ . De la expresión anterior obtenemos un período de retorno  $T_R = 37$  años, adoptaremos  $T_R = 40$  años.

Del apartado D del Atlas Marino obtenos, una vez modificado por el coeficiente de severidad direccional ( $K_\alpha$ ), el valor de  $H_s$  de la boya de Bilbao.



Del régimen de oleaje de la boya de Bilbo, y para una banda de confianza del 90 %, valor recomendado para el periodo de funcionamiento de la boya, se obtiene el valor de altura significativa siguiente, asociado a un coeficiente  $K_\alpha$  del NW,  $(H_s)_{BOYA} = 10.5 * 1$ .

$$(H_s)_{BOYA} = 10.5 \text{ metros}$$

Se debe tener en cuenta que la información instrumental viene referida a la ubicación de la boya, la cual no se encuentra en aguas profundas. La ROM proporciona los coeficientes de transformación entre aguas profundas y la boya de Bilbao, para el rango de periodos más característicos, de modo que se pueda caracterizar el oleaje en aguas profundas a partir de la información de la boya. Así, el oleaje de diseño en la boya debe ser propagado de forma inversa para obtener el oleaje en aguas profundas empleando los coeficientes de refracción y asomeramiento desde aguas profundas hasta la boya ( $K_{RS \text{ boya}}$ ) proporcionados por la propia ROM a través de tablas en función del periodo y la dirección del oleaje.

**TABLA 2.7.1. COEFICIENTES DE REFRACCIÓN-SHOALING ( $K_\alpha$ ) CORRESPONDIENTES A PROPAGACIONES DE OLAJES DESDE AGUAS PROFUNDAS HASTA EL EMPLAZAMIENTO DE LOS PUNTOS DE MEDIDA ANALIZADOS**

ÁREA	PUNTO DE MEDIDA	DIR	T(s)						
			7	9	11	13	15	17	19
I	BILBAO EXTERIOR	NW	—	0,98	0,93	0,86	0,80	0,80	0,90
		NNW	—	0,98	0,94	0,85	0,80	0,92	0,90
		N	—	0,98	0,94	0,91	0,88	0,85	0,80
		NNE	—	0,98	0,96	0,95	0,95	0,93	0,90
		NE	—	0,98	0,94	0,94	0,94	0,91	0,83
	GIJÓN	NW	—	0,86	0,82	0,80	0,76	0,84	0,82
		NNW	—	0,85	0,82	0,84	0,85	0,88	0,88
		N	—	0,93	0,98	1,02	0,99	0,91	0,84
		NNE	—	0,89	0,88	0,87	0,88	1,01	1,02
		NE	—	0,89	0,90	0,90	0,95	0,85	0,99

$$H_0 = \frac{H_{S,boya} \cdot K_\alpha}{K_{rs,boya}}$$

Posteriormente se obtiene el oleaje de diseño al pie de la estructura propagando el oleaje desde aguas profundas hasta dicha ubicación, para lo cual se emplea el coeficiente de refracción y asomeramiento desde aguas prpfundas hasta la estructura  $K_{RS}$ .

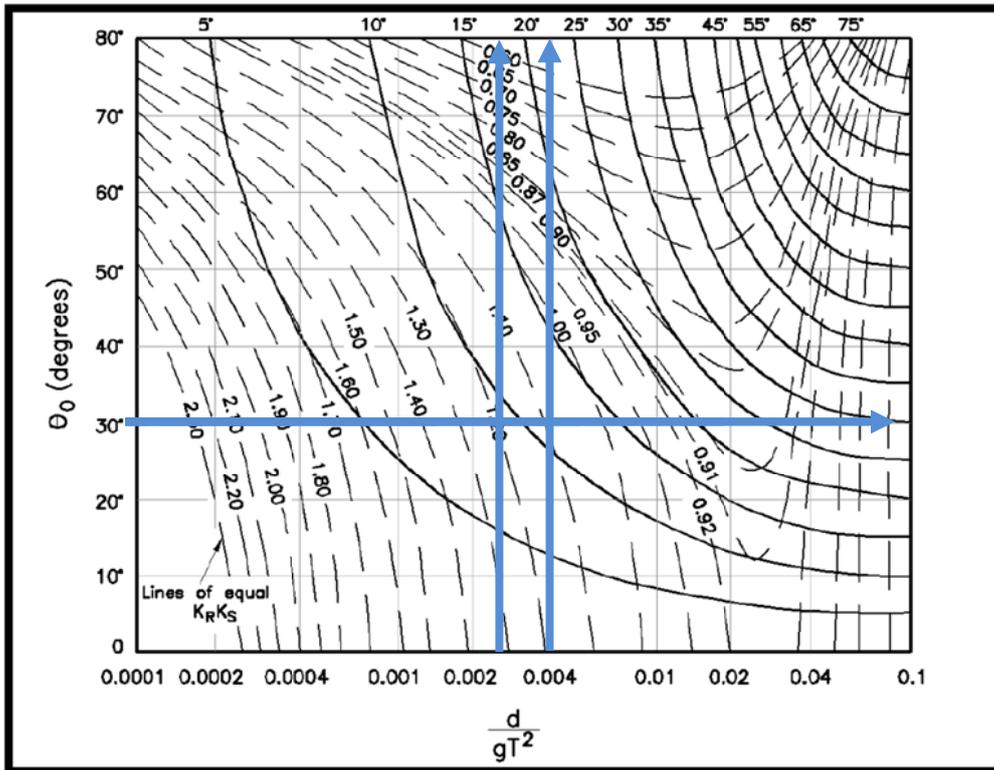
$$H_S = H_0 \cdot K_{rs} = \frac{H_{S,boya} \cdot K_\alpha}{K_{rs,boya}} \cdot K_{rs}$$

Según el apartado E del Atlas de clima marítimo, la relación óptima de diseño entre altura de ola significativa ( $H_S$ ) y Periodo de Pico ( $T_p$ ) es la siguiente:

$$T_p = (5 - 8.5) \sqrt{H_S} = 16.2 \text{ sg} - 22 \text{ sg}$$

Según la relación anterior únicamente deberemos estudiar los periodos de 17 y 19 sg proporcionados por la ROM. Consideremos como oblicuidad, ángulo que forma el frente del oleaje con la batimétrica,  $30^\circ$ . La profundidad a pie de cálculo a pie de dique ( $h = d$ ) es de 12 metros.

Para calcular el coeficiente de refracción y asomeramiento utilizaremos el siguiente ábaco



La tabla siguiente muestra los valores  $K_{RS}$  considerados, así como los valores de  $K_{rs, \text{boya}}$  proporcionados por la ROM para la dirección NW. Así mismo se muestra el valor de  $H_s$  obtenida mediante la ecuación anterior

<b>Tp (sg)</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>19</b>
<b><math>K_{RS}</math></b>	--	--	--	--	1.1	1.2
<b><math>K_{rs, \text{boya}}</math></b>	--	--	--	--	0.8	0.9
<b><math>H_s, \text{estructura}</math></b>	--	--	--	--	14.4	14.0

Por tanto, la altura de ola significativa de diseño a pie será la mayor obtenida entre los periodos 16.2 y 22 segundos, es decir:

$$H_s = 14.4 \text{ m}$$



## PROBLEMA 4

Se quiere diseñar un dique en talud de un Puerto de interés general del estado en la fachada Cantábrica, en el área I, empleando los datos de la boya de Gijón. El dique tendrá el morro a 15 m de profundidad.

El ángulo que forma el frente con la batimetría en profundidades indefinidas se estima de  $40^\circ$  y la pendiente a pie de dique del 1 %.

Por estos motivos, se pide:

1. Caracterización de la obra
2. Altura de ola en boya y su correspondiente en offshore
3. Altura de ola a pie de dique

---

### SOLUCIÓN:

1. Vida útil mínima (pag. 47 ROM 0.2/90)  $\implies L_f = 50$  años
2. Riesgo admisible (pag. 69 ROM 0.2/90)  $\implies E = 0,30$
3.  $T_R = 141$  años
4.  $T_p = 19$  s
5.  $H_{spic} = 13,11$  m
6.  $H_{s0} = 12,8$  m
7. Por último, se comprueba si el oleaje llega roto

a) Comprobar el límite de rotura por fondo. En este caso utilizaremos la formulación de McCowan

$$\frac{H}{d} = 0,78 \implies H = 0,78 \cdot 15,00 = 11,70 \text{ m}$$

b) Comprobar el límite de rotura por GODA

$$H'_0 = 11,41 \text{ m}$$

$$H_s = 12,9 \text{ m}$$

$$H_{max} = 23,2 \text{ m}$$

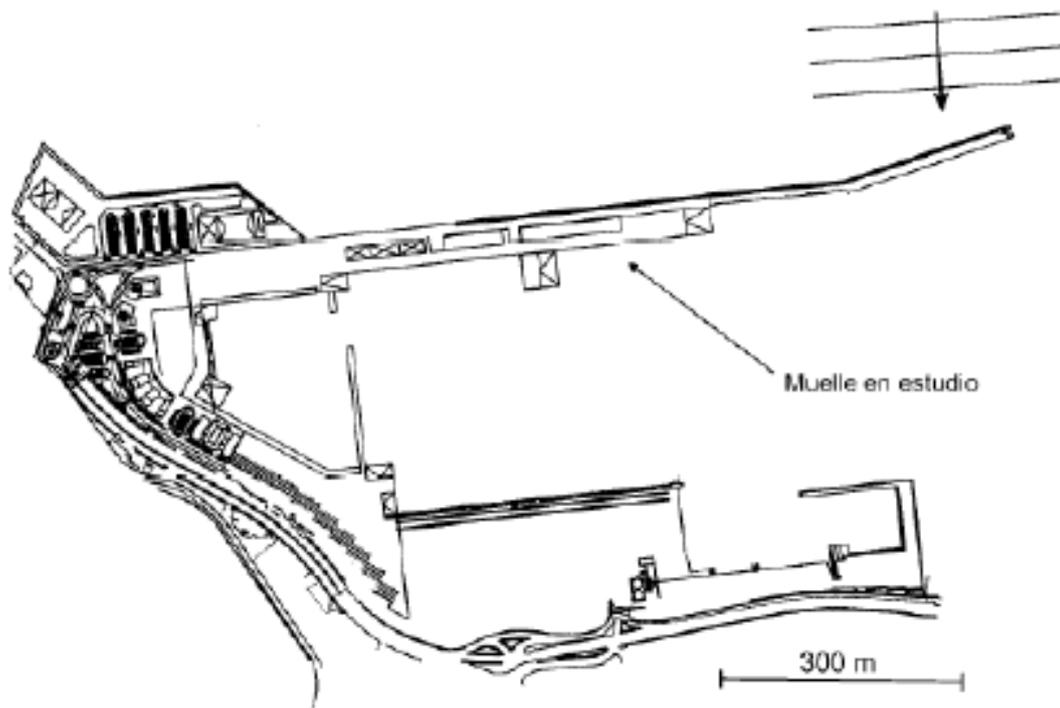
$$RompeH_s = 9,5 \text{ m VERDADERO}$$

$$RompeH_{max} = 12,4 \text{ m VERDADERO}$$

---

## PROBLEMA 5

Estimar el coeficiente de difracción desde la bocana hasta el muelle. Se empleará la solución de Wiegel, sabiendo que el frente de oleaje incide sobre el dique de abrigo formando con el mismo un ángulo de  $15^\circ$ . El periodo del oleaje es de 7 s. Se puede suponer que la profundidad media es de 15 m.



**Planta general del puerto en estudio**

### **SOLUCIÓN:**

1. Wiegel  $\rightarrow k_d = 0,1$

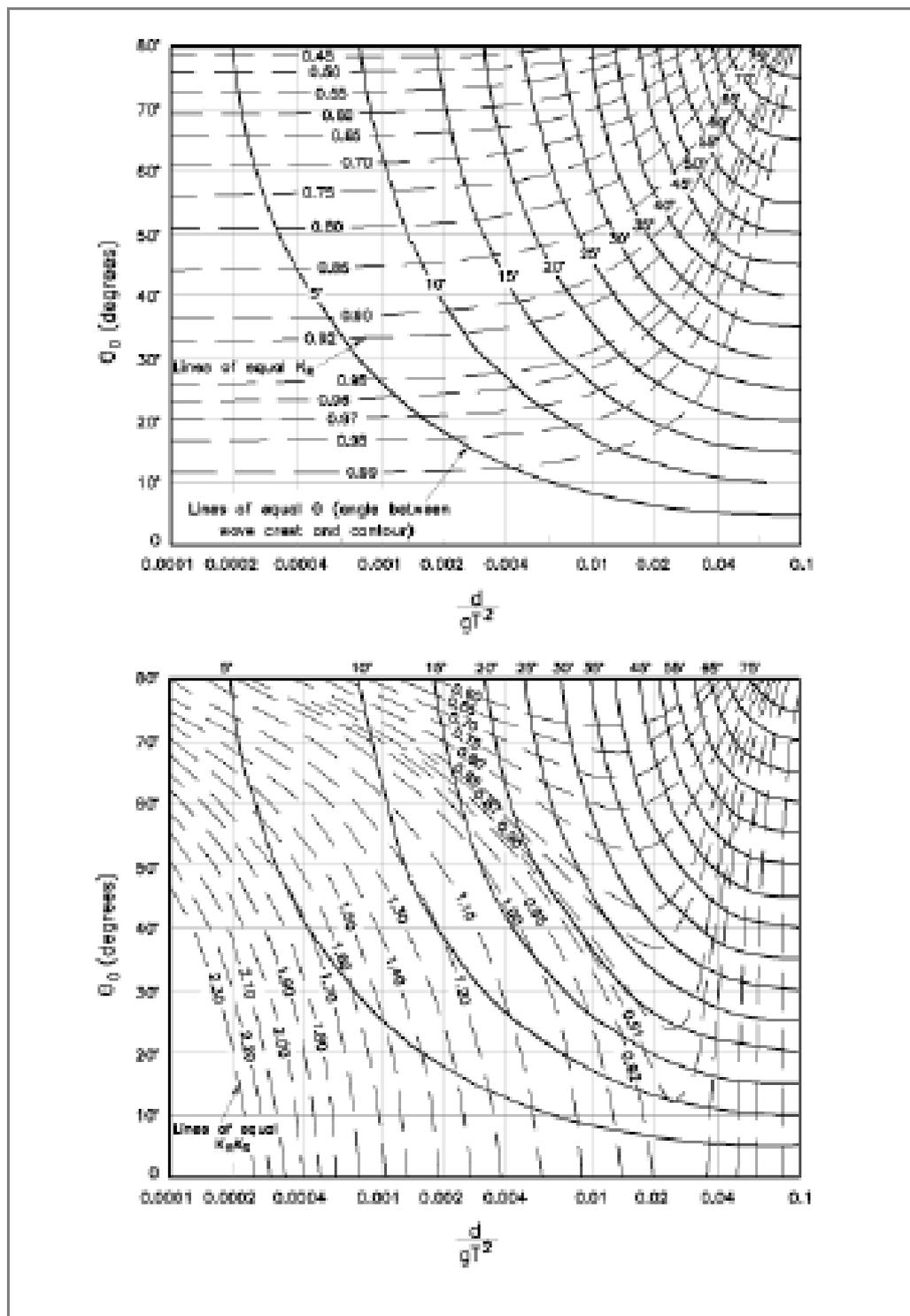


Figura 1: Solución Gráfica Refracción (CEM)