



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Anejo 9

Condiciones para el dimensionamiento de la bocana

**Proyecto de Ampliación Norte del Puerto Deportivo de Las Casas de
Alcanar, Tarragona.**

Autor: Juan Sebastián Puente Monserrat

Tutor: Joaquín Catalá Alís

Titulación: Grado en Ingeniería Civil

4º Curso, Junio de 2014

Anejo 9/23



Índice

1. Introducción.....	Pg 3
2. Dimensionamiento y orientación de la bocana.	Pg 3
2.1. Orientación de la bocana	Pg 4
2.2. Localización batimétrica de la bocana.....	Pg 4
2.3. Tamaño de la bocana.....	Pg 5
2.3.1. Criterios basados en la experiencia.....	Pg 6
2.3.2. Criterios de la ROM 3.1-99.....	Pg 6
2.3.3. Dimensionamiento para las embarcaciones a vela.....	Pg 10
3. Criterios de diseño para la ruta de entrada.....	Pg 13
4. Difracción del oleaje en la bocana.....	Pg 15
5. Circulo de maniobra en el interior del puerto.....	Pg 17



1. Introducción

Nos encargaremos en el presente anejo de comprobar todos los condicionantes que serán necesarios para el dimensionamiento de la bocana de la ampliación del puerto de les Cases d'Alcanar. Estudiaremos como deben ser la orientación, el tamaño y el calado de la bocana para su correcta accesibilidad por parte de las embarcaciones en los diferentes estados de mar, a la vez que se encuentre protegido el interior del puerto de la entrada de energía procedente del oleaje o de posibles aterramientos en las aguas abrigadas.

Para todo lo anterior, seguiremos las recomendaciones establecidas por D. Rafael del Moral en su libro "Obras Marítimas" y aquellas que establece la ROM.3.1-99 "Proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación". Tendremos en cuenta varios aspectos condicionantes físicos locales:

- Las direcciones predominantes de los oleajes producidos por los vientos que llegan al puerto son poniente y mistral, (desde el este y el sureste respectivamente).
- Los temporales más energéticos son aquellos provenientes del noreste (NW) y del este (W).
- El transporte de sedimentos procedentes del delta del Ebro proviene del noreste (NE).

Y Los condicionantes de la flota tipo para la embarcación de diseño que es el tamaño máximo de las embarcaciones, teniendo estas esloras máximas de 20m, mangas de 5m y calados de hasta 3m.

2. Dimensionamiento de la bocana

Los criterios para el dimensionamiento de la bocana que establece Rafael del Moral en la edición de "Obras Marítimas" son los siguientes:

- Garantizar el acceso al interior del puerto en la mayor parte del tiempo posible en condiciones de seguridad.
- No permitir la entrada del oleaje al interior del puerto.
- Facilitar las operaciones de navegación de las embarcaciones.



- Proteger al puerto de posibles aterramientos por arrastre de sedimentos.
- Asegurar la entrada de la embarcación de diseño para cualquier condición de mar.

2.1 Orientación de la bocana

Para el diseño de la bocana de nuestro puerto vamos a tener en cuenta diferentes factores. Uno de ellos es el de las principales direcciones del viento actuante como fuerza motriz de las embarcaciones a vela. El objetivo es que se consiga la mayor componente del viento posible en la popa, siempre y cuando, en esta orientación no se produzcan problemas de penetración de oleaje para los diferentes temporales o arrastre de sedimentos que ocasionen problemas en el interior de la dársena.

La recomendación para la orientación de la bocana es situarla perpendicularmente a los vientos más predominantes para que las embarcaciones a vela realicen la entrada y salida del puerto navegando con el viento de través, es decir, ortogonalmente al sentido del movimiento y asegurar que penetre la menor cantidad de oleaje posible al puerto.

Las principales direcciones del viento que han sido objeto de estudio del anejo de propagación de oleaje en donde tenemos como resultado después de estudiar las rosas de viento de la ROM para la zona VII, que estas son de componente nor-este (NE) y sur-oeste (SW) por lo tanto la bocana debería de situarse orientada hacia el sur-este (SE). No obstante, los oleajes más comunes que llegan al puerto de Les Cases d'Alcanar provienen del este (E) y del este-sureste, por lo tanto no tienen sentido orientar la bocana en esta dirección ya que este penetraría con mayor facilidad en el interior del puerto. Por lo tanto el proyectista ha tomado la decisión de orientar la bocana hacia el sur-oeste (SW).

2.2 Localización batimétrica de la bocana

La ROM recomienda que la bocana se encuentre a una profundidad suficiente para que no se produzca la rotura del oleaje antes de llegar a esta, es decir, que la línea de rotura del oleaje se encuentre a menor profundidad para periodos de retorno de 5 años. El objetivo que se busca es



que no se produzca agitación en la bocana que perjudique la operatividad de las embarcaciones para efectuar su entrada o salida del puerto y para temporales de periodo de retorno menor a 5 años.

En el anejo de propagación de oleaje se han determinado las profundidades para las cuales se produce la rotura para un oleaje en régimen medio para las direcciones más significantes. (E), (SE) y (S).

Incidencia del oleaje con periodo de retorno 5 años	Profundidad de Rotura
Este	[4m; 5m]
Sur-Este	[4m; 5m]
Sur	[3m; 4m]

Tabla 1: Profundidades para las que se produce la rotura del oleaje para T=5años.

Por lo tanto, siguiendo las recomendaciones de la ROM para la ubicación batimétrica de la bocana, esta debería estar ubicada en una línea batimétrica superior a 5 m para que no se produzca en esta o antes de ser alcanzada la rotura de un frente de oleaje de periodo de retorno 5 años.

2.3. Tamaño de la bocana

Para el cálculo de la anchura, se seguirán tres métodos de cálculo. Por un lado, un método que está relacionado con criterios deterministas, estos son aquellos que se basan en la experiencia.

Un segundo método basado sobre la metodología descrita en la ROM 3.1-99.

Un tercer método basado en la condición de que, al ser un puerto deportivo, existen embarcaciones a vela que tienen condiciones de acceso particulares.

La metodología consistirá en elegir la máxima anchura encontrada en estos tres criterios.



2.3.1. Criterios basados en la experiencia.

El primer grupo de criterios para establecer la apertura de la bocana son aquellos proporcionados por la experiencia. Dentro de estos encontramos el grupo de criterios establecidos por Rafael del Moral en su libro “Obras Marítimas” y el grupo de criterios que enuncia el Reglamento de puertos deportivos de 1969.

Los criterios de Rafael del Moral son los siguientes:

1. Anchura mínima $> 3 \times$ Eslora máxima

$$Amín = 3 \times 20 = 60 \text{ m}$$

2. $45\text{m} < \text{Anchura} < 85\text{m}$

3. Anchura mínima para 2 vías de tráfico es 10 veces la manga del barco máximo

$$Amín = 10 \times 5 = 50 \text{ m}$$

Los criterios establecidos por el Reglamento de puertos deportivos de 1969 aconsejan que la anchura mínima de la bocana ha de ser de 25 m o la equivalente a 3 veces la eslora máxima de la embarcación más grande.

Igualmente que el caso anterior tenemos que $Amín = 3 \times 20 = 60 \text{ m}$

Como conclusión los criterios basados en la experiencia nos indican que la apertura mínima de la bocana ha de ser de 60m.

2.3.2. Criterios de la ROM 3.1-99.

La anchura de la vía de navegación, medida perpendicularmente al eje longitudinal de la vía, se determinará como suma de los términos siguientes:

$$Bt = Bn + Br$$

Donde:



Bt: Anchura total de la vía de navegación

Bn: Anchura nominal de la vía de navegación o espacio libre que debe quedar permanentemente disponible para la navegación de los buques, incluyendo los Márgenes de Seguridad.

Br: Anchura adicional de reserva para tomar en consideración los factores relacionados con los contornos. (Por ejemplo reserva para inestabilidad de los taludes en el caso de que los contornos de la vía de navegación estén resueltos con esta tipología estructural).

Determinación de Bn:

La ROM propone varios casos de navegación de entrada, en este proyecto, vamos a basarnos en « Navegación en tramos rectos con condiciones climáticas constantes a lo largo de la traza » para vías con dos carriles de navegación.

Todo el desarrollo metodológico se puede encontrar en la parte 8, requerimientos en planta, de la ROM 3.1-99.

Bn está definido por la formula siguiente:

$$Bn = 2 \cdot [B + bd + 2 (be + br + bb)] + bs + (r_{hsm} + r_{hsd})i + (r_{hsm} + r_{hsd})d$$

Donde:

B: manga de la embarcación máxima

bd: Sobreancho de la senda del buque, producido por la navegación con un determinado ángulo de deriva

be: Sobreancho por errores de posicionamiento

br: Sobreancho para respuesta, que valora la desviación adicional que puede producirse desde el instante en que se detecta la desviación del buque en relación a su posición teórica y el momento en que la corrección es efectiva.

bb: Sobreancho para cubrir el error que pudiera derivarse de los propios sistemas de balizamiento.

bs: Anchura de la banda de separación entre las dos vías



$(rhsm + rbsd)_i + (rhsm + rbsd)_d$: Resguardo adicional de seguridad que permite que no estén afectados los buques por los efectos de succión y rechazo de las márgenes. Cada uno de estos factores se calcula teniendo en cuenta las condiciones de viento, de oleaje, de las corrientes así como teniendo en cuenta las condiciones geométricas de la embarcación más grande.

Calculando los diferentes factores, según las características que se dan en la obra, se obtienen los resultados que se presentan en la tabla 2:

Variable	Valor
B	5 m
bd	2,2 m
be	4,3 m
br	0,9 m
bb	0,01 m
bs	5,4 m
$(rhsm + rbsd)_i$	2,25 m
$(rhsm + rbsd)_d$	2,25 m
Bn	44,14 m
Bt	45,94 m

Tabla 2: Valores para el cálculo de la apertura de la bocana según los criterios establecidos por la ROM.

Según el método propuesto por la ROM 3.1-99, la bocana del puerto debería tener una anchura mínima de 45,94 m.

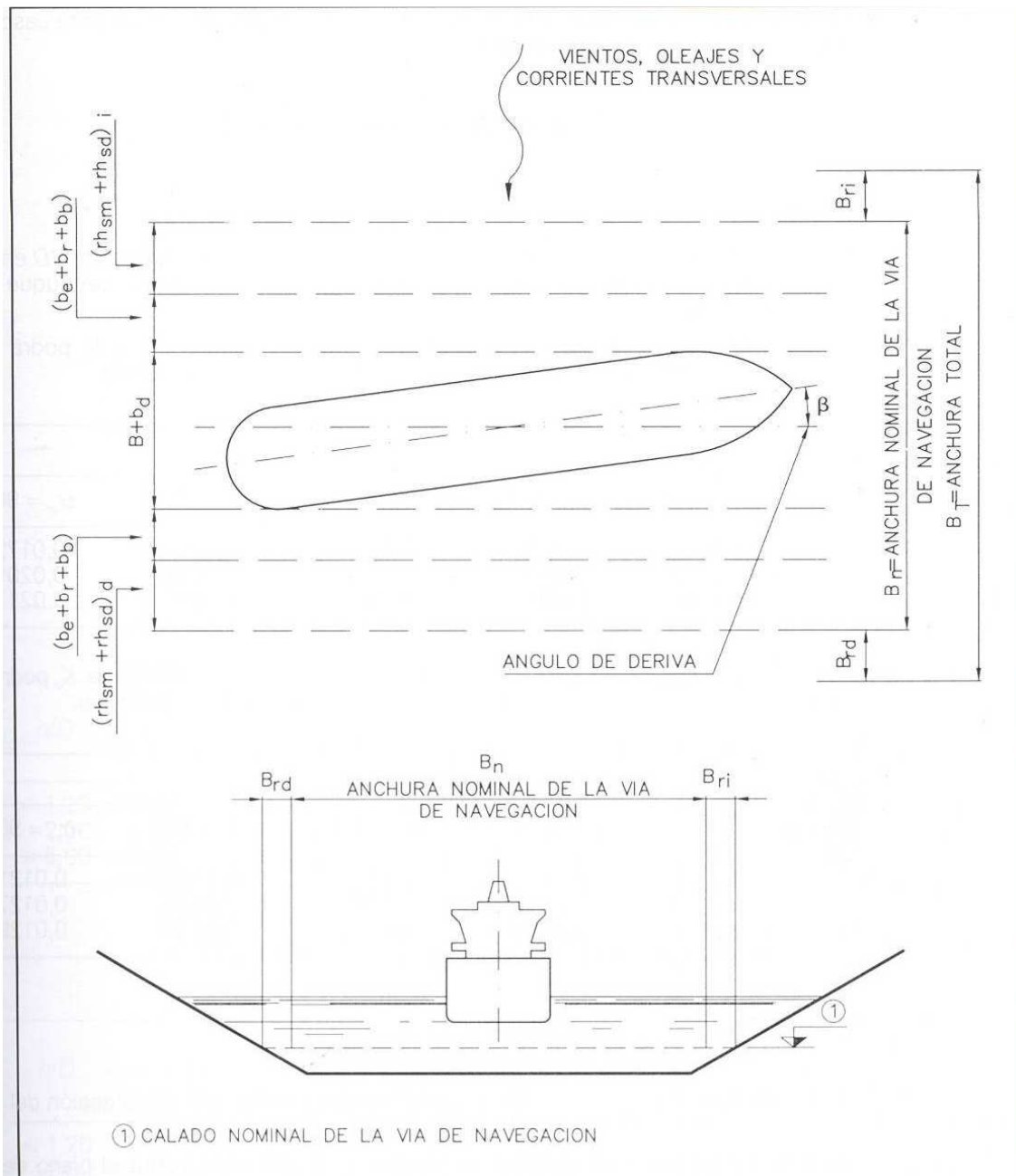


Figura 1: Cálculo de la anchura de la bocana según los criterios de la ROM 3.1-99



2.3.3. Dimensionamiento para las embarcaciones a vela.

Los criterios que seguiremos sobre el ancho mínimo de la bocana necesario para asegurar la accesibilidad de las embarcaciones a vela al interior del puerto son aquellos establecidos por la ROM 3.1-99 y por el reglamento de puertos deportivos donde se expone lo siguiente:

“[...]el acceso deberá permitir inscribir rutas de entrada y salida a vela, para cualquier viento posible dentro de las condiciones límites de operación, para barcos de 8 m de eslora, en el supuesto de capacidad de ceñida de 45°, recorrido de arrancada 40 m y deriva de 10 m en la virada. Estas rutas dejarán un resguardo mínimo de 15 m a las batimétricas críticas. [...]”

Para realizar el siguiente cálculo, hay que tener en cuenta diversos aspectos relacionados con la navegación a vela.

Un velero que no sigue el mismo sentido que el viento, es decir, no navega con viento en popa, sufre una **deriva transversal**. Si se encuentra navegando en contra del sentido del viento (ceñida) hay un ángulo mínimo entre su sentido de avance y la dirección del viento para el cual no es posible navegar, este es llamado **capacidad de ceñida**. El ángulo de ceñida es el mínimo para el que viento pueda ejercer presión sobre la vela. Como consecuencia, cuando una embarcación se encuentra navegando en contra del viento, esta ha de efectuar una ruta en zigzag de manera que en todo momento lleva una dirección en la que es posible que la vela este en tracción por causa del viento.

En las viradas necesarias para cambiar su rumbo describe el barco un círculo de **radio mínimo**, produciéndose en su evolución una deriva en la dirección del viento. Entre virada y virada, el velero necesita un tramo recto para alcanzar la velocidad mínima necesaria para efectuar las maniobras de viro una velocidad mínima para poder maniobrar. A esta distancia la denominaremos **recorrido de arrancada**.

Siguen los valores límites que especifica el Reglamento para poder asegurar la entrada y salida de embarcaciones a vela:



Anejo 9: Condiciones de dimensionamiento de la bocana.

- Eslora máxima del velero : 8 m
- Capacidad de ceñida : 45º
- Recorrido de arrancada : 40 m
- Deriva en la virada : 10 m
- Resguardo mínimo en planta : 15 m
- Radio de evolución mínima ó radio de virada : 10m

De esta manera, la bocana tendrá que tener una anchura mínima que asegure que un velero pueda entrar en el puerto navegando de ceñida, esta viene proporcionada por la siguiente expresión:

$$A > 2 \cdot 15 + 40 \operatorname{sen} V^{\circ} + 20 - 20 \operatorname{sen} V^{\circ}$$

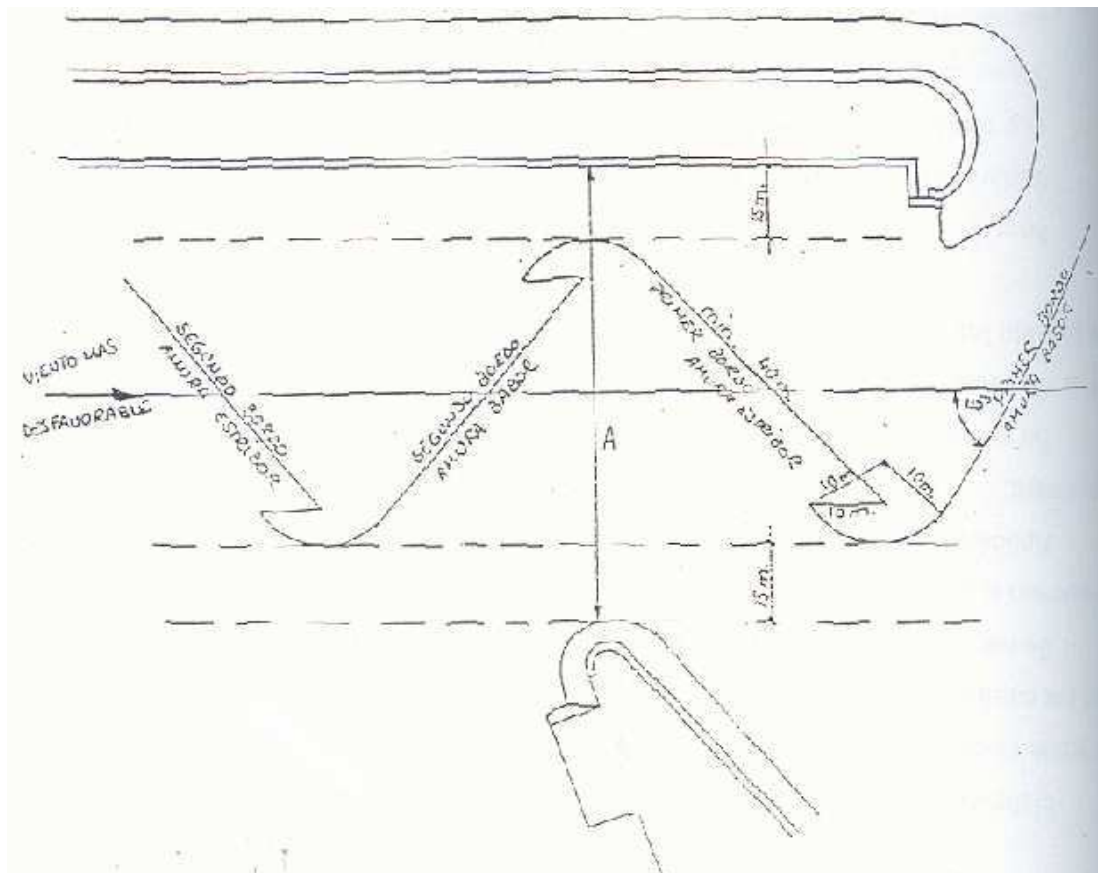


Figura 2: Esquema explicativo de la entrada de barcos de vela con el angulo de frente



Si $45^\circ < V < 90^\circ$, el viento permite al barco entrar navegando de través o con viento en popa lo que significa que la trayectoria que describiría sería una línea recta por lo tanto la anchura necesaria es la mínima posible.

- Si $V = 0^\circ$, la ruta seguida por los veleros será la siguiente:

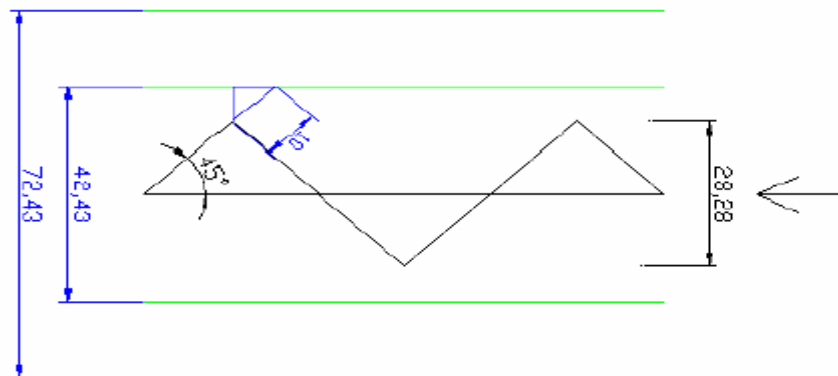


Figura 3: Trayectoria de un velero entrando en el puerto con un ángulo $V = 0^\circ$

Con esta fórmula, la anchura mínima de la bocana es de 72.4m

- Si $V = 22,5^\circ$, la ruta seguida por los veleros será la siguiente:

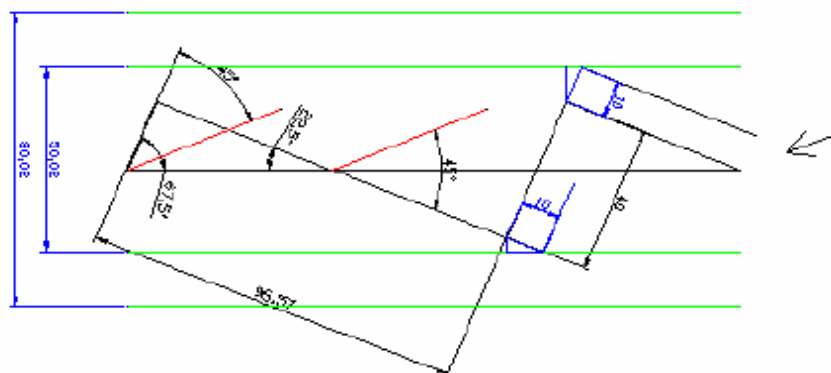


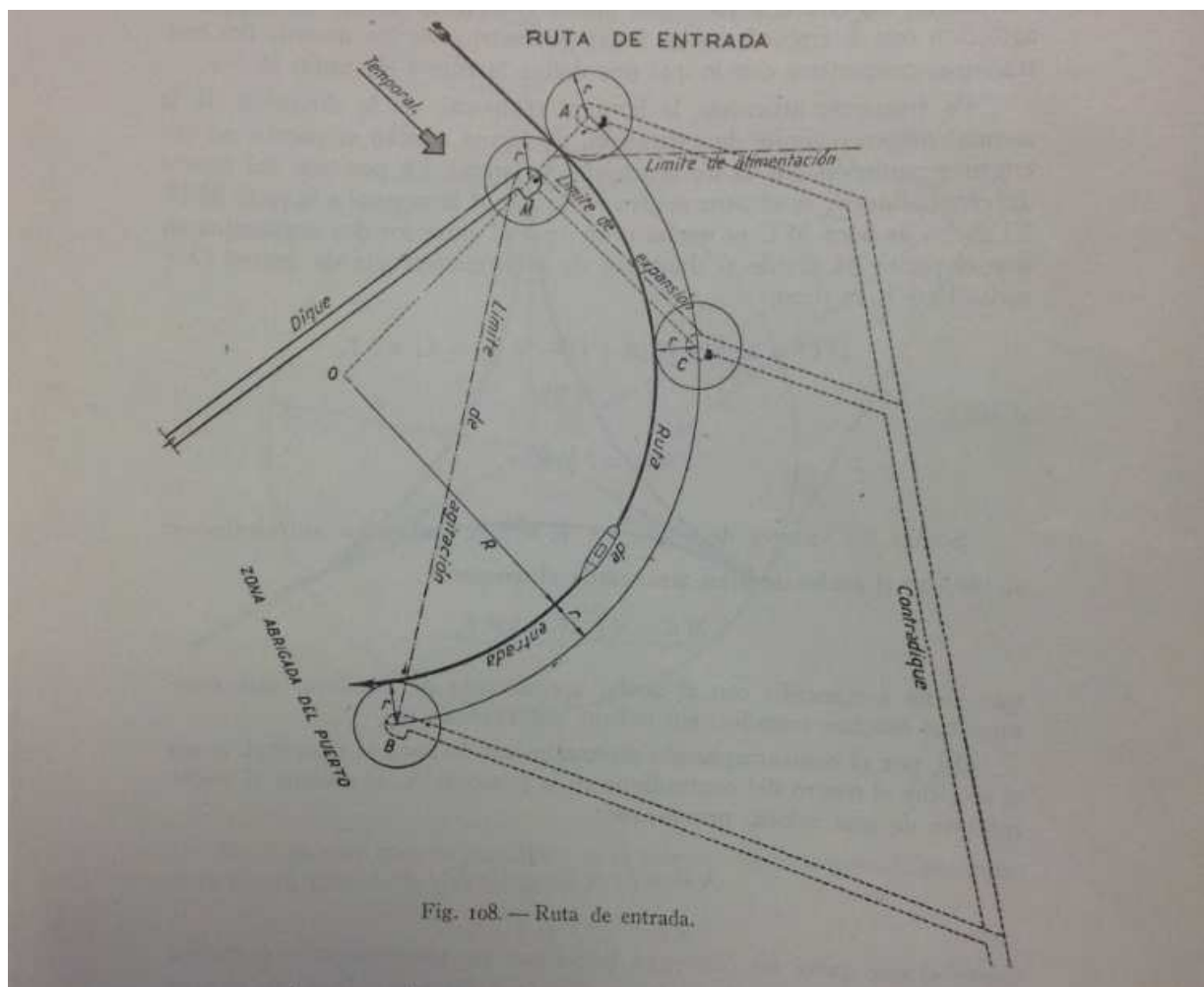
Figura 4: Trayectoria de un velero entrando en el puerto con un ángulo $V = 22,5^\circ$

Obtenemos 80 m de anchura con este ángulo.



4. Criterios de diseño para la ruta de entrada.

Realizaremos un estudio para asegurarnos de que la anchura de la bocana es suficiente para que las embarcaciones puedan entrar en el puerto durante temporales. También mediante este sabremos la ubicación definitiva de los morros para que no se afecte a la ruta de entrada de las embarcaciones.



En condiciones normales, no se presenta ninguna incidencia para la entrada de las embarcaciones en el puerto. El problema es en la presencia de temporales. Partimos de que el barco inicia la maniobra, navegando con viento en popa. Luego será necesario que este realice



la maniobra de giro para lo cual determinaremos cual es el radio necesario para que se ejecute esta. Se tendrán que respetar las distancias mínimas de resguardo al rededor del morro del dique, según el Reglamento de Puertos Deportivos en su artículo 3.2., *El radio mínimo de viraje depende de las dimensiones del barco y las condiciones del viento y del mar, adaptándose para embarcaciones deportivas el valor de tres veces la eslora máxima prevista.*

$$R \text{ min.} = 3 \cdot E \text{ max.} = 3 \cdot 20 = 60 \text{ metros.}$$

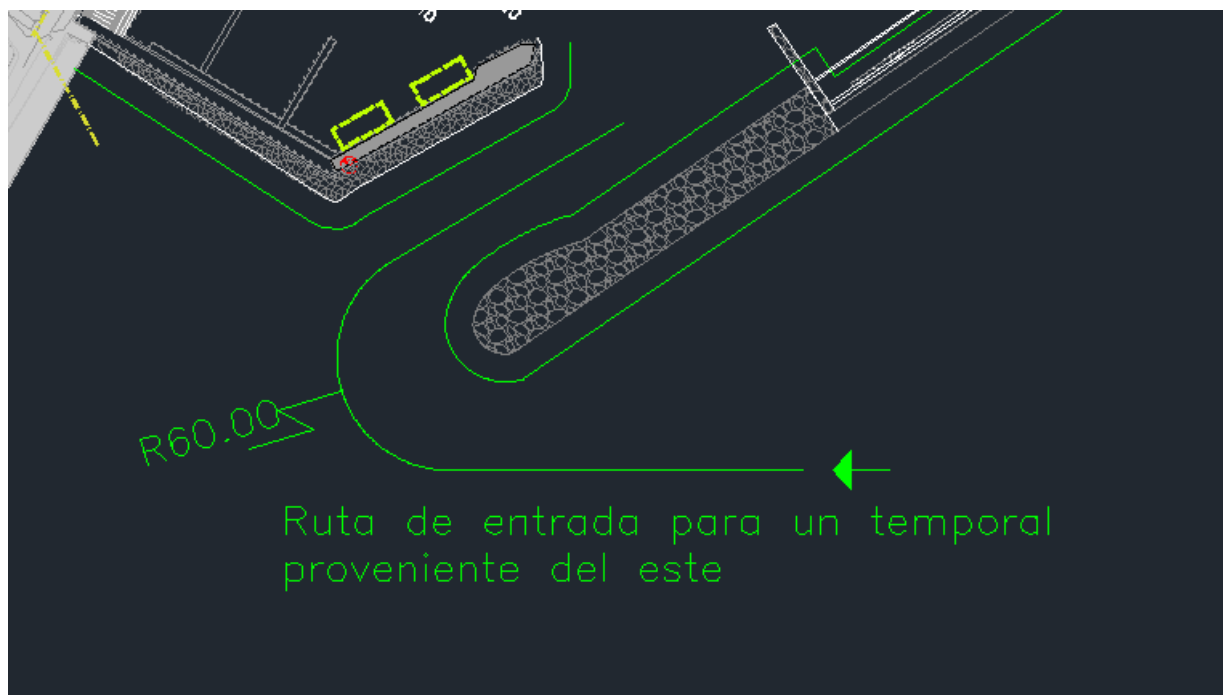


Figura5: Ruta de entrada de las embarcaciones.



5. Difracción del oleaje en la bocana

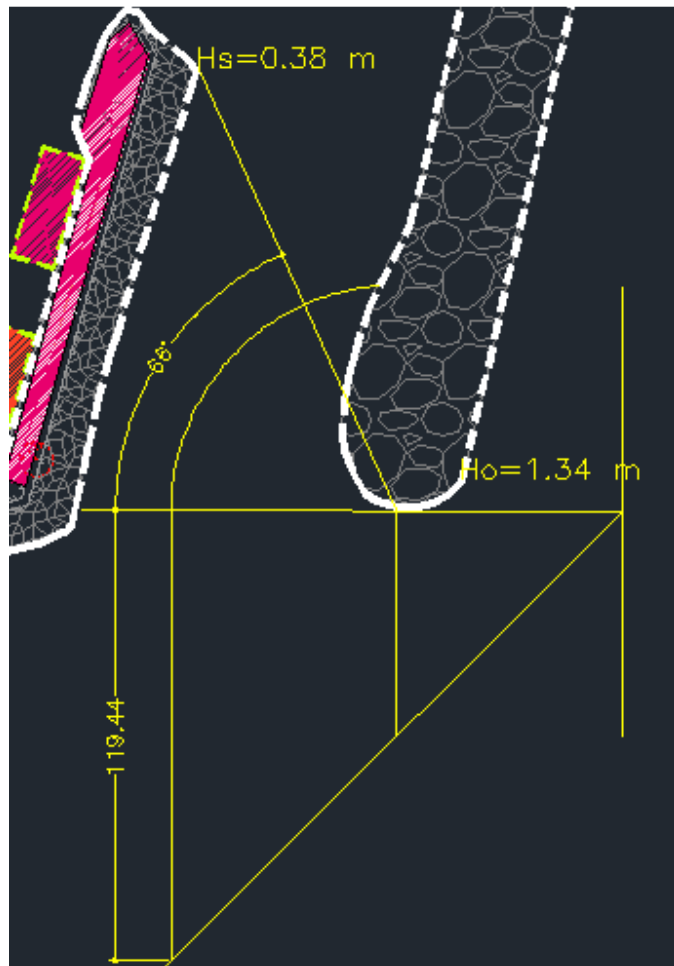
En este apartado nos encargaremos de estudiar como penetran los oleajes con distintas direcciones en el interior del puerto. Los frentes de oleaje se difractan cuando alcanzan el morro en la bocana y se produce una expansión lateral, esto es una variación en la dirección de este debido a la redistribución de la energía.

Dirección S.E.

Este es un caso muy desfavorable y debido a que es una de las direcciones más comunes vamos a estudiarlo.

Así pues vamos a calcular la altura de ola para puntos en el interior de la bocana y a comprobar que no supera el máximo de 0,5m dentro del puerto.

Para la obtención de la altura de ola que tendremos aproximadamente dentro del puerto hemos utilizado para tener en cuenta la difracción, el método de Iribarren descrito en el Anejo de Propagación del Oleaje, el coeficiente reductor obtenido es 0.2838.



Ahora debemos tener en cuenta el fenómeno de asomeramientos que se da en la bocana, para ello seguiremos el mismo procedimiento descrito en el anejo nombrado anteriormente, mediante el Wave Calculator obtenemos una altura de ola de 1.228 metros en el contradique, que multiplicando esta altura de ola por el coeficiente de difracción obtenemos una altura de ola en el contradique de:

$$H_s = 0.35 \text{ metros}$$

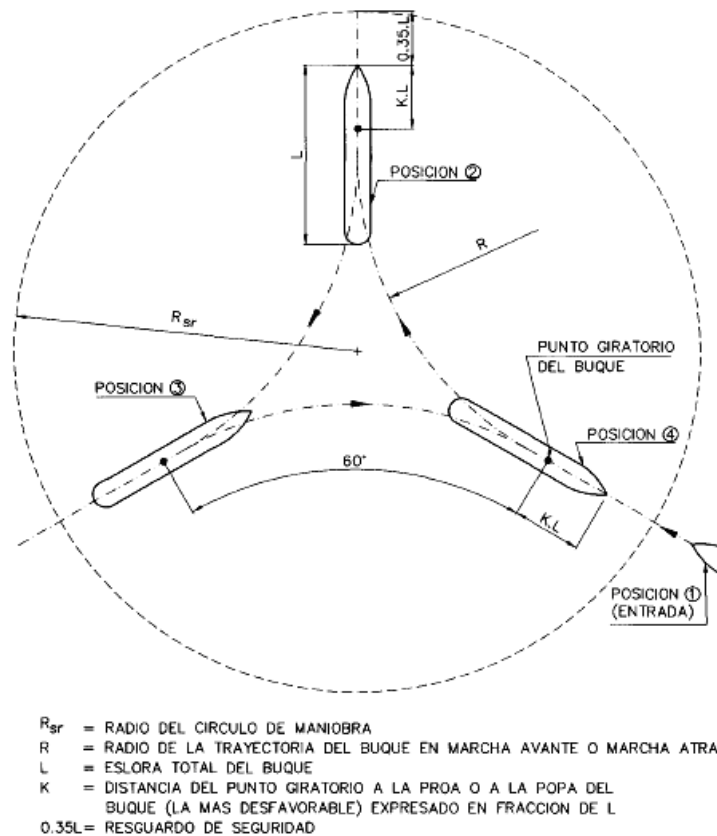
Por lo tanto se cumple el criterio de que la altura de ola en el interior del puerto se mantiene inferior de 0.5 metros para dicho temporal.



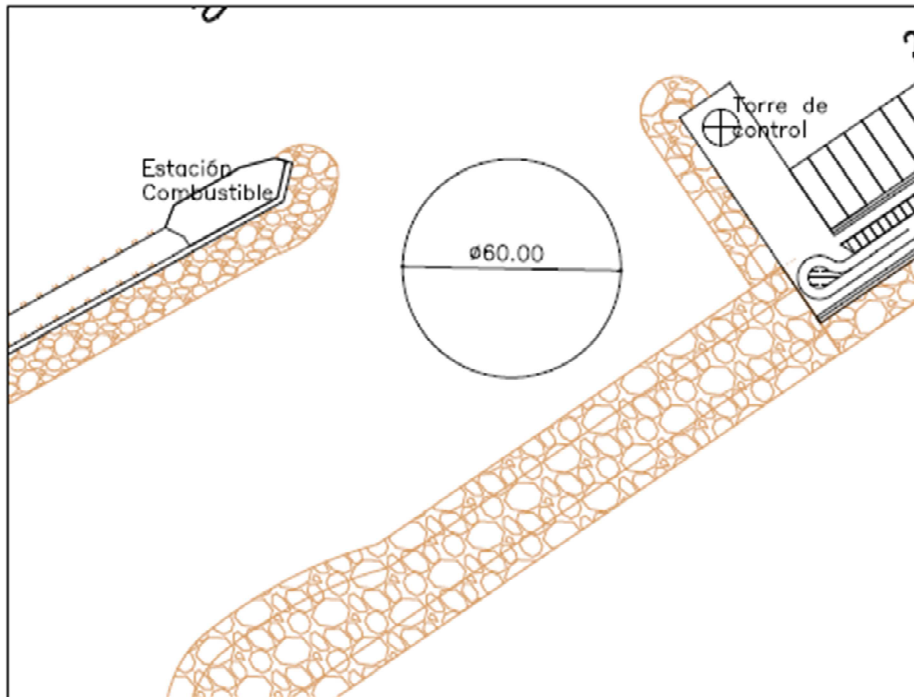
5. Círculo de maniobra en el interior del puerto.

Las embarcaciones deben tener espacio para invertir su marcha en el canal principal o en el antepuerto. El área circular libre que se necesita para que realicen esta operación las embarcaciones menos maniobrables, con una única hélice a eje fijo, se denomina círculo de maniobra.

La maniobra es de la siguiente manera:



Esta maniobra se realiza siempre en zonas abrigadas del puerto, luego el valor del diámetro será tres veces la eslora del mayor barco, siendo para este caso de 60 m.



Como podemos observar contamos con espacio suficiente en la zona de antepuerto para que las embarcaciones tengan el radio de giro necesario para realizar las maniobras con total seguridad.

En Valencia, a 11 de Junio de 2014

JUAN SEBASTIAN PUENTE MONSERRAT

Ingeniero Civil