

C. DOC

ENFILACIONES Y SU CALCULO

por

el Capitán de Fragata D. JORGE H. PACCIORETTI

TIRADA APARTE del Boletín del Servicio de Hidrografía Naval
Volumen X-XI Nº 3/1 - Págs. 55 a 80



ENFILACIONES Y SU CALCULO

Por el capitán de fragata D.
Jorge H. Paccioretti.

R e s u m e n

El presente trabajo es una recopilación y ordenamiento de datos, folletos y apuntes relativos al cálculo de las enfilaciones de tipo clásico, empleadas en el sistema de balizamiento argentino.

Basado sobre folletos publicados por la empresa francesa B.B.T., - estudios del capitán de navío J.A. Cicoletta, del Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos de América y apuntes del ingeniero Carlos Blasi, del Servicio de Hidrografía Naval, el artículo expone las nociones generales sobre las enfilaciones, su objetivo y características. Analiza la distancia entre las señales que la componen, las características de las luces, el tipo de linternas a emplear. Pasa luego al cálculo de los parámetros de las enfilaciones y define y explica los factores que hay que considerar.

Expone, paso a paso, el procedimiento a seguir cuando se proyecta una enfilación y termina ofreciendo un ejemplo numérico de tal cálculo.

Contiene algunas tablas relacionadas con el tema.

A b s t r a c t

The present article is a compilation and arrangement of data, booklets and notes on calculus of leading lines of the classical type used within the Argentine beaconage system.

Based upon manuals published by the French specialized company B.B.T., on studies of Captain J.A. Cicoletta, of the U.S. Coast Guard, and on notes of Ing. Carlos Blasi, of the Argentine Hydrographic Naval Service, the article exposes the elements of leading lines, its objectives and characteristics.

It analyzes various intervening factors, among them the distance between the signals which compose them, the characteristics of its lights, the type of lanterns used. The calculus of parameters of a leading line is given and the elements which are to be kept in mind are explained.

The step by step proceeding when calculating a leading line is explained, and a numerical example of such calculus offered.

It contains some tables related with the topic.

El presente trabajo no pretende ser original, ya que en ningún momento se tuvo la intención que lo fuera.

Se trata de una recopilación de datos, folletos y apuntes más o menos dispersos, a los cuales se trató de darles una forma orgánica con la finalidad de que sirvan de guía a quienes tengan la responsabilidad de calcular las enfilaciones del tipo clásico, empleadas en nuestro sistema de balizamiento y que, por otra parte, son de aplicación prácticamente mundial.

Nos hemos basado sobre folletos publicados por la firma francesa B.B.T., estudios del capitán de navío J.A. Cicoellella, del Servicio de Guardacostas de los E.U.A., y apuntes del ingeniero D. Carlos Blasi, quien durante más de cuarenta años se desempeñó en la División Técnica del Departamento Balizamiento, del Servicio de Hidrografía Naval.

I - Enfilaciones

1. Las enfilaciones se construyen para balizar y materializar un eje sobre el cual han de navegar los buques en canales estrechos y de navegación restringida.

Generalmente se componen de dos señales o balizas, llamadas anterior y posterior respectivamente. La anterior es la más baja de las dos y la más próxima a la parte navegable del canal al cual sirve.

Si ambas exhiben luces, la enfilación se denomina luminosa; en caso contrario, ciega.

La colocación de las balizas no puede ser caprichosa y debe satisfacer una serie de requisitos para que la enfilación pueda cumplir su finalidad eficazmente. Juegan como factores preponderantes la situación y las alturas de ambas señales y, cuando son luminosas, las alturas de los planos focales.

2. Señal anterior. Se la colocará lo más cerca posible de la orilla si esta es de difícil acceso o si el borde está alejado, se la puede instalar en una plataforma sobre pilotes o duques de alba.

La altura tendrá que ser suficiente para asegurar el alcance geográfico en el punto más alejado de la enfilación; el equipo luminoso se colocará fuera del alcance de la acción de las aguas y de personas ajenas al servicio, para evitar destrozos o atentados. La luz tendrá que colocarse para que sobresalga de los obstáculos que se interponen en la dirección a balizar.

En los puertos, canales estrechos u otros sitios donde otro buque fondeado o que navegue en la enfilación pudiera ocultar la señal anterior o su luz, se le dará una altura suficiente para evitar que ello ocurra.

Como regla general se admite que la señal anterior tenga una altura

ra comprendida entre 3 y 10 metros, pero eso no excluye que supere esos valores si es preciso superar obstáculos interpuestos en la visual.

3. Señal posterior. Para que ambas señales se vean separadas, el tope de la posterior y su luz, si es luminosa, deberán estar a mayor altura que los de la anterior. El navegante tendrá que ver la señal posterior y su luz por encima de la anterior cuando esté sobre la enfilación.

4. Distancia entre señales. Conviene que la distancia entre las dos señales no sobrepase determinados límites. La distancia R entre señales debe estar comprendida entre $1/6$ y $1/10$ de D (véase la figura 1).

Vale decir que $1/6 D \geq R \geq 1/10 D$

donde D es la distancia desde el extremo exterior de la enfilación hasta la baliza anterior.

5. Característica de las luces. No deberán utilizarse luces fijas pues han sido prohibidas por la Conferencia de la Liga de las Naciones celebrada en Lisboa en 1929.

Los períodos de las luces deberán permitir que sean fácilmente identificables. Es muy conveniente que los tiempos de oscuridad sean cortos para que el navegante pueda obtener su situación en forma continua.

Pueden ser de destellos rápidos, isofásicas, de ocultación, de grupos de destellos o de grupos de ocultaciones.

Por ejemplo:

a) De destellos: $\underline{0,3} + 0,7 = 1 \text{ s.}$
 $\underline{0,4} + 0,6 = 1 \text{ s.}$
 $\underline{0,5} + 1,5 = 2 \text{ s.}$

b) Isofásicas: $\underline{1} + 1 = 2 \text{ s.}$
 $\underline{2} + 2 = 4 \text{ s.}$

c) De ocultación: $\underline{2} + 1 = 3 \text{ s.}$
 $\underline{3} + 1 = 4 \text{ s.}$
 $\underline{3} + 2 = 5 \text{ s.}$

d) De grupo de destellos: $\underline{0,5} + 1,5 + \underline{0,5} + 4,5 = 7 \text{ s.}$

e) De grupo de ocultaciones: $\underline{2} + 1 + \underline{1} + 1 = 5 \text{ s.}$
 $\underline{3} + 1 + \underline{1} + 1 = 6 \text{ s.}$

La característica deberá ser función de la necesidad de fijar un período adecuado a las dificultades que presenta la navegación en el canal que hay que balizar con enfilaciones y al consumo y por ende a la autonomía que se le pretenda dar a las señales luminosas.

Asimismo es muy conveniente que las dos luces sean conjugadas para que se vean simultáneamente, pero en muchos casos resulta difícil lograrlo.

6. Tipo de linterna a utilizar. Como los sectores a iluminar en los canales son reducidos, conviene utilizar linternas del tipo "ojo de buey", lo cual permite obtener un alcance e intensidad de luz elevados, con consumo de energía relativamente bajo.

Pueden utilizarse linternas que iluminen los 360° pero, lógicamente, el consumo para obtener el mismo alcance óptico será mayor.

En canales muy anchos es aconsejable utilizar linternas de horizonte.

7. Color de las luces. En general, las luces serán blancas, para obtener el alcance máximo pero, en el caso de que sea necesario distinguir las de otras luces, se les colocarán modificadores de colores.

8. Señales para dos enfilaciones. En algunos casos será posible utilizar una misma señal para que sea común a dos enfilaciones (véase la figura 1).

Si es posible obtener los alcances de las luces necesarios y los ángulos a iluminar con una linterna de horizonte, la luz común se proporcionará con una sola.

Si fuese necesario utilizar linternas "ojo de buey", ambas linternas serán colocadas sobrepuestas en la misma estructura.

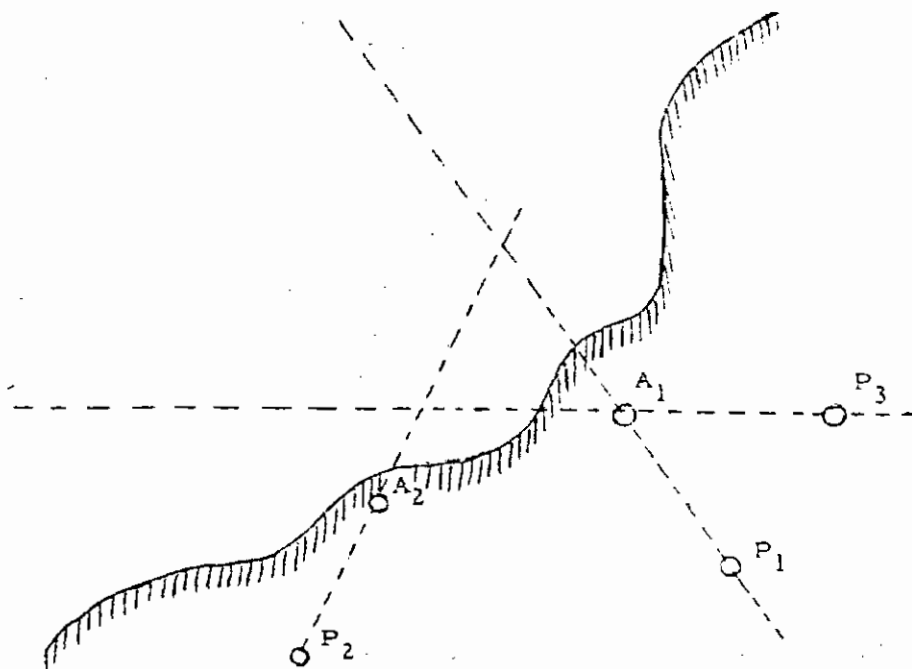


Figura 1

9. Visibilidad de día. Las torres de enfilación en general llevarán miras o tableros para facilitar su visualización durante el día. Sus colores y formas dependerán de las reglas adoptadas para el balizamiento; sus dimensiones serán siempre las mayores posibles para que sean bien visibles, y la altura mínima de esas miras o tableros será de 2,5 metros.

La utilización de las luces de las enfilaciones de día requiere intensidades lumínicas muy elevadas y por tal motivo está limitada a aplicaciones muy particulares, como son entradas a algunos puertos, pasos muy especiales, y suele ser materia de un estudio aparte.

II - Cálculo de los parámetros de una enfilación.

1. Los factores mencionados anteriormente son básicos a tener en cuenta al diseñar una enfilación, pero además es necesario mencionar y definir otros para tenerlos en cuenta y lograr que, en el terreno, se cuente con una señalización eficiente basada sobre un cálculo matemático previo, efectuado en gabinete. Es obvio que la materialización práctica de la enfilación también estará encuadrada en definitiva dentro de las limitaciones que impongan la naturaleza y la topografía del lugar a balizar.

Los factores que hay que considerar son los que pasamos a enunciar, definir y explicar.

- a. Sensibilidad,
- b. distinguibilidad,
- c. visibilidad,
- d. equilibrio de brillantez, y
- e. economía.

2. Sensibilidad lateral. Es la cualidad de una enfilación que determina la rapidez con la cual sus dos luces o topes se van abriendo al moverse un buque lateralmente en la enfilación, indicando así al navegante que ya no está sobre el eje.

Se la designa como factor "K" y se la emplea para medir esa cualidad; su valor está dado por la fórmula

$$K = \frac{WR}{D(H-h)} \quad (1)$$

donde

W = ancho del canal

R = distancia horizontal entre las dos balizas

D = distancia horizontal desde la baliza anterior hasta el punto más distante de la enfilación

H = altura sobre el nivel medio del mar del plano focal o del tope de la baliza Posterior

h = altura sobre el nivel medio del mar del plano focal o del tope de

la baliza anterior.

Además, definimos aquí:

M = distancia horizontal desde la baliza anterior hasta el extremo más cercano de la enfilación.

C = distancia horizontal desde el extremo más cercano hasta el extremo más lejano de la enfilación, es decir, la extensión de la derrota sobre la enfilación.

- Véase la figura 2.

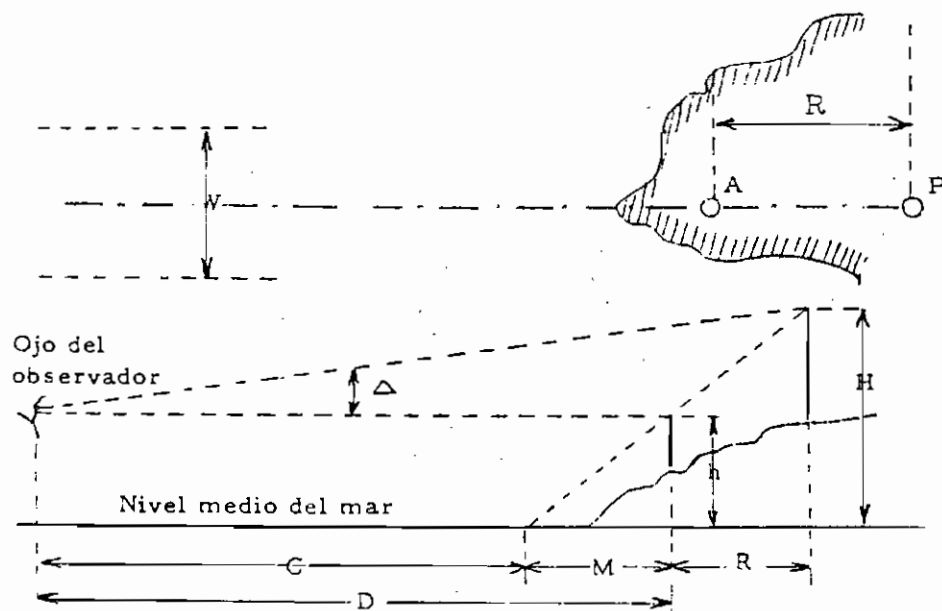


Figura 2

Otros autores sostienen que la sensibilidad lateral está relacionada con el desvío admisible respecto al eje del canal y compatible con su ancho W.

Generalmente, el valor (a) que se toma para el ancho del canal, compatible con la seguridad de la navegación y para brindar tranquilidad en los puentes es

$$a = \frac{W}{4}$$

Cuando a lo largo de una derrota haya varias enfilaciones, se recomienda que el valor K de todas sea igual o parecido.

Pero, como es imposible que todos los puntos de una enfilación tengan la misma sensibilidad, y ello se deduce fácilmente de la fórmula, hay que procurar de que todas las enfilaciones tengan el mismo valor en los lugares críticos; el navegante podrá así apreciarlas en la misma forma.

En la tabla siguiente el valor de K se relaciona con el grado de sensibilidad de la enfilación.

Valor de K	Sensibilidad	Interpretación
menor que 0,6	no es aceptable	Su valor tiene que ser mejorado; de lo contrario la enfilación no será útil.
0,6 / 1,0	pobre	Mejorar la sensibilidad, si es físicamente posible, aun cuando el aumento del costo sea considerable
1,0 / 1,5	aceptable	Mejorar la sensibilidad, si el aumento del costo es solamente moderado
1,5 / 2,5	buena	Mejorar la sensibilidad únicamente si ello significa un pequeño aumento del costo
2,5 / 3,5	muy buena	No conviene en ningún caso aumentar los costos para lograr mayor sensibilidad
3,5 / 4,5	excelente	Límite por encima del cual no hay que mejorar la sensibilidad ya que se podría crear la sensación de que con otros valores menores la enfilación no sería sensible. Además, si se aumentara la sensibilidad, el navegante podría tener la sensación de encontrarse fuera del ancho aprovechable del canal.

3. Distinguibilidad. Es la posibilidad o capacidad de distinguir una de otra las luces de una enfilación.

Para asegurar tal capacidad es necesario que la separación angular entre las dos luces, llamada Δ (fig.2), observadas desde cualquier punto del eje, sea mayor de 4,5 minutos. Algunos países admiten que sea de 3 minutos.

El valor de esta separación angular, observadas las luces desde el extremo más alejado de la enfilación, y definido como Δ , está dado por la fórmula

$$\Delta = 3438 \frac{H - h}{D + R}$$

está dado en radianes (1 radián = 3438').

Más adelante, en el ejemplo de un proyecto, se introducirán valo-

res tales que la separación angular en el extremo exterior de la enfilación sea mayor que $4,5'$. Entonces, si ella es mayor en los dos extremos, también lo será en cualquier punto intermedio.

4. Visibilidad. Es medida por el porcentaje de tiempo que es posible ver ambas luces hasta los límites útiles de la enfilación.

Para introducir este factor en el proyecto, es preciso que ambas luces exhiban en el extremo más alejado de la enfilación por lo menos una brillantez mínima.

En el cuadro siguiente se han tabulado los valores de intensidad mínima recomendados para ambas luces para un "tiempo medio oceánico" de Allard.

El cuadro consigna los valores para la luz anterior y para dos hipótesis de distancia entre las luces: de $1/10$ y de $1/6$ del alcance de la luz anterior.

5. Equilibrio de brillantez. Es el equilibrio entre el poder lumínico de las luces de la enfilación, lo cual impide que una de ellas sea tan brillante que llegue a interferir la visibilidad de la otra.

Este factor se toma en cuenta al seleccionar las intensidades del par de luces, para que la relación "brillantez luz posterior" a la de la luz anterior", observada desde el extremo más alejado de la enfilación, sea recíproca a la relación de brillanteces cuando se las observa desde el extremo más cercano de la enfilación.

Por ejemplo, si en el extremo más distante de la enfilación la luz posterior aparece dos veces más brillante que la anterior, en el extremo más cercano la luz posterior deberá exhibir la mitad de la brillantez de la luz anterior.

El valor ideal de esta relación es 1, pero es imposible de conseguir para todas las relaciones prácticas. Las experiencias demuestran que un valor aproximadamente igual a 2 provee un término medio aceptable.

Es posible que este valor 2 sea aplicable para cualquier condición atmosférica; sin embargo, cuando estas cambian, también varía este valor. Por lo general, la relación no se mantiene recíproca en ambos extremos de la enfilación; por ejemplo, cuando la atmósfera se torna brumosa, la brillantez de la luz anterior, al observarla desde cualquier punto de la enfilación se vuelve cada vez más predominante, cambiando por lo tanto la relación.

Para reducir esta variación, el equilibrio de brillantez está indicado para las condiciones atmosféricas generales o término medio.

El valor de T empleado es el que corresponde a una frecuencia del 50% sobre la curva de transparencia de la atmósfera para la zona en cuestión.

TABLA DE VISIBILIDADES

Millas nauticas	Luz anterior			Luz posterior				
	D metros	I _{cd} candelas	h metros	d' = D/10 metros	D' = D + d' m.n.	I _{cd} candelas	d'' = D/6 metros	I'' _{cd} candelas
1	1.852	1	3,00	185	1,10	1	310	1
2	3.704	4	3,00	370	2,20	5	620	6
3	5.556	10	3,00	555	3,30	12	930	16
4	7.408	24	3,00	740	4,40	31	1240	35
5	9.260	44	3,00	925	5,50	60	1550	75
6	11.112	80	3,00	1.110	6,60	100	1860	130
7	12.964	130	3,00	1.230	7,70	180	2170	210
8	14.815	200	3,00	1.480	8,80	280	2480	330
9	16.668	300	5,00	1.670	9,90	440	2790	550
10	18.520	460	7,50	1.850	11,00	675	3100	840
11	20.372	675	10,20	2.040	12,10	1000	3410	1250
12	22.204	960	12,50	2.220	13,20	1450	3720	1900

III - Procedimiento a seguir cuando se proyecta una enfilación

Tema: Construir una enfilación en el eje de un canal determinado, de ancho conocido, como también lo es la distancia que hay que recorrer sobre la enfilación.

Datos C y W - véase la figura 2.

1er. paso. Determinar el valor de la distancia M que fija la posición de la baliza anterior.

Hay que tener en cuenta factores tales como la profundidad del agua, la proximidad de la costa al extremo interior de la enfilación y el tipo de terreno, pero en nuestro caso se da por sentado que no imponen ninguna restricción, y por lo tanto se supone que la enfilación se puede construir en el lugar ideal.

El valor de M está dado por la fórmula

$$M = \frac{C}{\frac{3438 W_q}{K \Delta C} - 1}$$

donde $q + 1$ es la relación de brillantez de la luz posterior a la de la luz anterior en el extremo más alejado de la enfilación.

Como ya se explicó, la relación de brillantez se ha determinado igual a 2, de modo que $q + 1 = 2$ y en consecuencia

$$q = 1.$$

Para cumplir las normas, los valores de la sensibilidad K y de Δ deberán ser, como mínimo, 1,5 y 4,5 minutos respectivamente.

Con estas constantes y los valores ya dados de C y W se resuelve M y de allí

$$D = C + M.$$

Si la baliza no pudiera ser colocada en la posición calculada, se deberá elegir un lugar que dé un valor de M mayor que el calculado, pues si se lo hiciera menor, disminuirían los valores de K o Δ , o ambos, lo que es inadmisibles, si quedan por debajo de los límites mínimos.

Por razones de economía se tratará de mantener el valor de M lo más cercano al calculado, pues de lo contrario también sería necesario aumentar la distancia R para no disminuir la sensibilidad K. Al aumentar la distancia R, la baliza posterior debería ser mayor, al igual que la potencia de su luz, con el consiguiente encarecimiento de los costos.

2º paso. Fijar el valor de R.

El valor de R se puede obtener de la fórmula

$$R = \frac{D}{\frac{3438 \cdot W}{\Delta D} - 1}$$

pero para obtener el valor mínimo de la distancia entre balizas, aplicamos el factor K y entonces queda

$$R_{\min} = \frac{D}{\frac{3438 \cdot W}{K \Delta D} - 1} \quad (4)$$

Como en el paso anterior, K y Δ han sido determinados como parámetros que no pueden estar por debajo de los valores mínimos prefijados, o sea $K \geq 1,5$ y $D \geq 4'5$.

Con estos valores y el valor de D, obtenido en el primer paso, resolvemos la fórmula (4) y obtenemos R, que será el R mínimo.

Al emplear una distancia R mayor, el producto $K \cdot \Delta$ será mayor que $1,5 \times 4,5$.

En cambio, si mantenemos $\Delta = 4'5$, resultará $K > 1,5$ y la enfilación estará por encima de los valores mínimos.

Sin embargo, como se demuestra más adelante, el valor H-h depende directamente de R; por lo tanto, al elegir una R dos veces mayor que la mínima, por ejemplo, significa adoptar una H-h también dos veces mayor que el mínimo con el objeto de que se adapte a los valores de K y Δ . Una H-h innecesariamente grande encarecerá la construcción.

3er. paso. Determinar el valor de H - h.

$$H - h = \frac{4,5}{3438} (D + R) \quad (5)$$

4º paso. Elegir un valor de "h" que sea menor o igual al h máximo

$$h_{\max} = 15 + \frac{M}{R} \left[(H - h) - 0,0013 (M + R) \right] \quad (6)$$

El primer sumando 15 se introduce por la razón siguiente: el tope superior de la baliza anterior no puede estar debajo del ojo del observador y como para este elegimos una altura promedio de 15 pies sobre el nivel medio del mar, sumamos este valor (siempre que los cálculos se efectúen en pies).

La fórmula (6) fue establecida por la necesidad de lograr una separación angular (Δ) entre las luces del par de 4'5 o mayor desde el extremo exterior de la enfilación.

Por otra parte, el valor real elegido para h deberá ser lo bastante grande para asegurar que las luces del par no sean interferidas por obstáculos eventuales y, además, que sus alcances geográficos sean

suficientes, pero a la vez lo más reducido posible para abaratar costos.

5º paso.

Hasta aquí se ha efectuado el cálculo "tentativo" de la enfilación. Ahora bien, las balizas calculadas tienen un Δ y un K equivalentes a los valores mínimos recomendados.

Siguiendo consejos empíricos, el valor de K deberá ser aumentado por sobre 1,5 (véase la tabla de sensibilidades), siempre que al hacerlo el mayor costo sea moderado. Si se justificara introducir alguna modificación, se podrá efectuarlo incrementando el valor de K, para lo cual se tendrá que:

- calcular M y R con las fórmulas (3) y (4) en las cuales se tomará Δ 4'5 y K mayor que 1,5;
- resolver $H - h$ con la fórmula (5);
- determinar una "h" que sea menor o igual a la h máxima obtenida de (6) con el menor valor de $H - h$.

6º paso. Determinar el equipo de iluminación para la baliza anterior.

Se da por sentado que las características de ambas luces, anterior y posterior, han sido dictadas por las necesidades de su funcionamiento; por lo tanto, la elección del equipo de iluminación para la baliza anterior se torna una cuestión de elegir una intensidad fija equivalente que dará la brillantez deseada en el extremo ya establecido.

La intensidad fija equivalente se calcula aplicando la ley de Allard:

$$I_1 = \frac{E D^2}{T D} \quad (7)$$

Si E_m es la iluminación mínima sobre la pupila, necesaria para que sea visible un destello, I_0 y $\Delta \Phi_0$ respectivamente la intensidad y el flujo luminoso del haz en las proximidades del faro, pero en la zona fotométrica, $\Delta \Omega$ su abertura (ángulo sólido), $\Delta \Phi$ y E el flujo luminoso y la iluminación a la distancia D, S_0 la sección normal del haz a la misma distancia, tendremos que

$$E = \frac{\Delta \Phi}{S_0} = \frac{\Delta \Phi}{D^2 \Delta \Omega} = \frac{\Delta \Phi_0 \cdot e^{-hD}}{D^2 \Delta \Omega} = I_0 \frac{e^{-hD}}{D^2}$$

Haciendo $e^{-hD} = a$, al que llamamos coeficiente de transparencia, resulta

$$E = I_0 \frac{a}{D^2},$$

o sea, que la intensidad necesaria para obtener determinado alcance será

$$I_0 = E \frac{D^2}{a};$$

y, según observaciones de Allard, tenemos

$$E_m = 0,01 \frac{\text{cárcel}}{\text{km}^2} = 0,0343 \frac{\text{cárcel}}{\text{milla}^2} \quad (A)$$

y para el estado medio de la atmósfera sobre el mar $-V_m = 0,5 -$

$$h = 0,1 \frac{1}{\text{km}} = 0,1852 \frac{1}{\text{milla}} \quad (B)$$

El valor (A) significa que, si no existiera la absorción de la atmósfera, un foco de 1 cárcel se vería a 10 km de distancia. El valor (B) expresa que en 10 km la intensidad del haz o flujo queda dividida por $e = 2.718$ a causa de la absorción. Por lo tanto, para alcanzar una distancia de 10 km, se necesita en el foco una intensidad igual a 2.718 cárceles.

Los valores correspondientes de a son

$$a = 0,905 \cdot 1 \frac{1}{\text{km}} = 0,831 \cdot 1 \frac{1}{\text{milla}}$$

Para grandes distancias esta fórmula arroja valores de I sensiblemente menores que los observados.

Además, para distintos lugares con $V = 0,5$, los valores de a varían.

Partiendo nuevamente de la fórmula de Allard

$$I_o = \frac{E \cdot D^2}{a \cdot D}$$

donde dijimos que a era el coeficiente de transparencia por kilómetro, al que también podemos llamar T , o coeficiente de transparencia por milla náutica, resulta

$$I_o = \frac{E \cdot D^2}{T \cdot D} \quad (7)$$

Para las fórmulas y tablas de Allard se admitió durante mucho tiempo para el coeficiente E el valor

$$0,1 \cdot 10^{-6}$$

pero luego se ha juzgado necesario aumentarlo.

Las últimas Conferencias Internacionales de Señalización Marítima han resuelto adoptar un nuevo valor de

$$E = 0,67 \text{ cd/m.náut.} \text{ o } E = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ lux} \quad (8)$$

o sea el doble del anterior.

Esta modificación conduce pues a duplicar el valor de las intensidades necesarias para obtener un alcance dado que si se calcularan empleando las antiguas tablas de Allard.

Teniendo en cuenta el valor actual dado a E , los alcances luminosos resultantes de una intensidad I con un T determinado, o inversamente, la intensidad necesaria para conseguir un alcance determinado, se pueden calcular rápidamente y sin dificultades mediante la Tabla de Alcances Luminosos o los ábacos contruidos con tal fin.

Partiendo de la fórmula (7), $I_0 = \frac{E \cdot D^2}{T}$, se podrá calcularla intensidad de la luz, corrigiéndola con la fórmula de Blondel - Rey, que a continuación pasamos a explicar.

Las intensidades luminosas (cd) necesarias para un alcance D determinado, con un coeficiente de transparencia T dado, son válidas para luces de color blanco. Para pasar de esta intensidad eficaz I_0 a la intensidad de haz estacionario I_f correspondiente se utiliza la fórmula

$$I_0 = 0,8 \times C_c \times C_{BR} \times I_f,$$

donde I_f = intensidad estacionaria del haz para luz de color blanco

I_0 = intensidad eficaz,

y tiene en cuenta los coeficientes de corrección siguientes:

1°) Coeficiente de garita o linterna = 0,8, y que incluye:

- a) envejecimiento de las fuentes luminosas,
- b) estado de limpieza de los cristales,
- c) ocultaciones debidas a los parantes de la garita o linterna.

2°) Coeficiente de coloración C_c

La interposición de modificadores de colores tiene por efecto reducir la intensidad del haz de la luz de color blanco en proporciones variables, de acuerdo con el filtro y la fuente, según se indica a continuación :

Naturaleza de la fuente	F i l t r o	
	Rojo	Verde
Acetileno, llama abierta	0,25	0,20
Mantilla incandescente	0,22	0,20
Incandescente eléctrica	0,20	0,20
Incandescente eléctrica (vacío)	0,22	0,20

3°) Coeficiente de Blondel - Rey = C_{BR}

$$C_{BR} = \frac{t}{t + 0,15} \quad \text{para luces giratorias}$$

donde t es la duración del destello en segundos.

Si aplicamos las correcciones correspondientes para una luz giratoria cuya duración sea $t = 0,2$ s, será necesario multiplicar por 2,2 la intensidad eficaz para obtener la intensidad estacionaria requerida.

4°) Coeficiente de Blondel - Rev para luces de destellos

El cuadro siguiente consigna los valores del coeficiente para el valor de t en segundos para la duración más corta de la característica elegida.

Además, para las luces eléctricas, tiene en cuenta la inercia térmica del filamento.

t_{seg}	C_{BR} luces de gas	C_{BR} para luces eléctricas						
		I (amp)						
		0,5	1	2	3	4	8	12
0,1	0,53	0,29	0,22	-	-	-	-	-
0,2	0,69	0,58	0,51	0,36	0,22	0,16	0,06	-
0,3	0,77	0,70	0,66	0,55	0,45	0,37	0,19	-
0,4	0,82	0,77	0,74	0,68	0,60	0,55	0,33	0,20
0,5	0,85	0,82	0,80	0,76	0,70	0,66	0,46	0,30
0,6	0,87	0,85	0,83	0,80	0,75	0,72	0,56	0,40
0,7	0,89	0,87	0,86	0,83	0,80	0,77	0,64	0,50
0,8	0,90	0,89	0,88	0,86	0,83	0,81	0,72	0,59
0,9	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85	0,76	0,65
1,0	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,80	0,70
1,2	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,86	0,78
1,4	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,89	0,83
1,6	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,91	0,87
1,8	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,92	0,89
2,0	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,91
2,5	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,93
3,0	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95	0,96	0,95

Recapitulando, entonces, partimos de las fórmulas de Allard. (7) - donde

$$I_o = \frac{E_o D^2}{T D}$$

para obtener la intensidad eficaz; corrigiendo este valor con la fórmula de Blondel-Rey, obtenemos la intensidad estacionaria.

E_o = brillantez requerida en el extremo más alejado de la enfilación.
 T = valor de transmisibilidad o transparencia necesario para que la luz sea visible el porcentaje necesario de las noches. Se lo puede obtener de la curva de transparencia versus "% de tiempo visto" para la zona en cuestión.

Observación. Cuando la interferencia de las luces del fondo (población, etc.) constituya un problema, se usará un valor de ensayo E_1 a fin de calcular I_o . Luego se calculará una luz de enfilación que produzca aproximadamente tal intensidad en el sitio verdadero para la luz anterior y se observará esta desde el extremo más alejado del canal para determinar si es adecuada.

De ser necesario algún cambio, el valor de I_o que se fije en el proyecto será aquel que sea el adecuado para el lugar.

7° paso. Elegir el equipo de iluminación para la baliza posterior.

La intensidad fija equivalente (IFE) será la que mantenga el equilibrio de brillantez en la enfilación dentro de determinados límites.

El valor de I_p (Intensidad fija equivalente) se obtiene de la fórmula

$$I_p = \frac{I_o \frac{D+R}{D} \cdot \frac{M+R}{M}}{\frac{R}{T_b \cdot 6000}} \quad (8)$$

Esta fórmula se creó para tomar en cuenta la relación del equilibrio de brillantez y la condición de la atmósfera a la cual la relación es fijada igual a 2.

T_b se obtiene de la curva de transmisibilidad y transparencia para la zona, empleando el valor que corresponde a una frecuencia del 50%.

La relación del equilibrio de brillantez así obtenida (cuando la atmósfera tiene una transmisibilidad equivalente al valor elegido) para T_b es

$$\frac{E_p}{E_o} = \frac{M+R}{M} \cdot \frac{D}{D+R}$$

Si el valor de M para la enfilación real es el obtenido de la fórmula (3) en el primer paso, entonces

$$\frac{E_p}{E_o} = 2.$$

Según esta condición la luz posterior aparecerá en el extremo más distante de la enfilación dos veces más brillante que la anterior; en cambio, en el extremo más cercano, la luz posterior se verá con la mitad de la brillantez de la anterior.

Sin embargo, si M es mayor que la obtenida de la fórmula (3), la relación E_p/E_o será menor que 2 y, por cierto, aceptable.

A la inversa, si M es menor que el valor obtenido de la misma fórmula (3), la relación E_p/E_o será mayor que 2. Cabe señalar que el valor máximo aceptable de E_p/E_o aún no ha sido resuelto, pero un valor satisfactorio es 2. Por lo tanto, para cualquier enfilación en particular, el valor de E_p/E_o deberá ser mantenido tan próximo a 2 como sea posible.

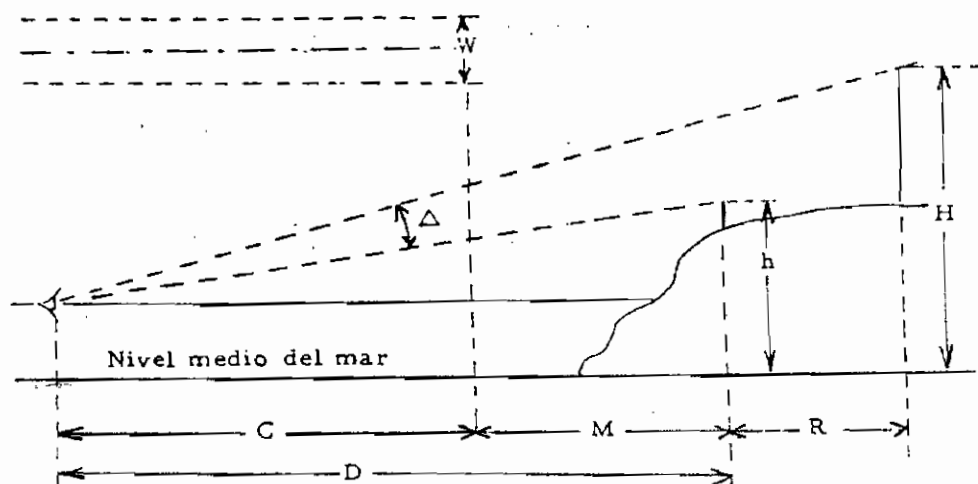
NOTA. Si el valor de R para la enfilación fuese mayor que una milla náutica, podría ser necesario aumentar el valor de I_p obtenido de la fórmula (8) para asegurar que en el extremo más distante de la enfilación se produzca una brillantez mínima aceptable (E_1) por lo menos el 75% de las noches.

A continuación se incluye una tabla de equivalencias de unidades de intensidad luminosa, útil en el caso de tener que pasar de un sistema a otro.

	Cárcel	B.N.ingl. candela	Violle	Bujía decimal	Bujía internac.	Bujía Heiner
Cárcel	1	3,767	0,481	9,62	9,65	10,525
B.Hefner	0,095	0,833	0,053	1,06	0,900	1
- B. inglesa Candela	0,114	1	0,054	1,08	0,108	1,200
Bujía alema- na V.K.			0,061	1,22	1,223	1,363
Bujía france- sa			0,062	1,24	1,243	1,385
Bujía decimal			0,05	1	1,002	1,117
Violle			1	20	20,06	22,3
Bujía interna- cional			0,05	1	1	1,117

III - Ejemplo práctico de cálculo de una enfilación

- 1º) En un canal de dimensiones conocidas e indicadas en la figura 3, calcular los parámetros adecuados.



Datos : $C = 6.000$ metros
 $W = 150$ "
 $\Delta = 4'5$
 $q = 1$

Figura 3

Condiciones :

- No es posible obtener derechos de propiedad más allá de los 3.000 metros de la línea de la costa.
- El fondo del mar cae rápidamente más allá de los 2.500 metros de la costa.
- Una gran ciudad se extiende detrás del lugar propuesto para la enfilación, pero no hay condiciones específicas de interferencia, por lo cual no es necesario que las luces de enfilación sean rojas o verdes.
- Las necesidades operativas para las características de las luces de enfilación son : un destello cada segundo ($0,4s + 0,6s$) para la anterior e isofásica, 6 segundos, ($3s + 3s$) para la posterior.
- No es posible obtener fácilmente fuerza motriz comercial, razón por la cual habrán de emplearse luces alimentadas con baterías o acumuladores.
- Las luces deberán ser visibles en el extremo más alejado de la enfilación por lo menos el 75% de las noches.

er. pasq. Cálculo de M.

$$M = \frac{C}{\frac{3438}{K} \frac{Wq}{\Delta} - 1}$$

- véase la fórmula (3)

$$M = \frac{6000}{\frac{3438 \times 150 \times 1}{1,5 \times 4,5 \times 6000} - 1} = 545 \text{ metros}$$

y por lo tanto,

$$D = C + M = 6000 + 545$$

$$D = 6545 \text{ metros}$$

2° paso. Cálculo de R mínimo

$$R_{\min} = \frac{D}{\frac{3438 W}{K \Delta D} - 1} \quad (4)$$

$$R_{\min} = \frac{6545}{\frac{3438 \times 150}{1,5 \times 4,5 \times 6545} - 1} = 595 \text{ m}$$

$$R_{\min} = 595 \text{ metros}$$

3er. paso. Determinar el valor H - h

$$\text{De la fórmula (5)} \quad H - h = \frac{4,5}{3438} (D + R),$$

$$H - h = \frac{4,5}{3438} (6545 + 595)$$

$$H - h = 9,3 \text{ metros}$$

4° paso. Calcular h máximo

$$\text{De la fórmula (6)} \quad h \text{ máx} = 5 + \frac{M}{R} \left[(H - h) - 0,0013 (M + R) \right]$$

$$h \text{ máx} = 5 \text{ m} + \frac{545}{595} \left[9,3 - 0,0013 (545 + 595) \right]$$

$$h \text{ máx} = 7,3 \text{ metros}$$

Prosigamos nuestro razonamiento y cálculo para determinar un h que sirva y que al mismo tiempo permita abaratar costos.

Para comodidad y como término medio de altura del ojo del observador sobre el nivel medio del mar, tomamos 5 metros.

Dijimos que para abaratar los costos de construcción de la baliza buscaríamos una altura que sirviera para resolver el problema de enfiteción y al mismo tiempo fuese lo más baja posible

Consideramos además que la farola colocada sobre la plataforma de la baliza tiene 0,3 metros de altura.

Tomamos entonces como altura de la baliza aquella que nos dé h = 5,3 metros, es decir, la altura del ojo del observador sobre el nivel medio del mar más 30 cm de altura de la farola, y no h = 7,3 metros

bíamos calculado.

Por lo tanto, si $H - h = 9,3$ metros, $H = 9,3 + h = 9,3 + 5,3 = 14,6$ m.

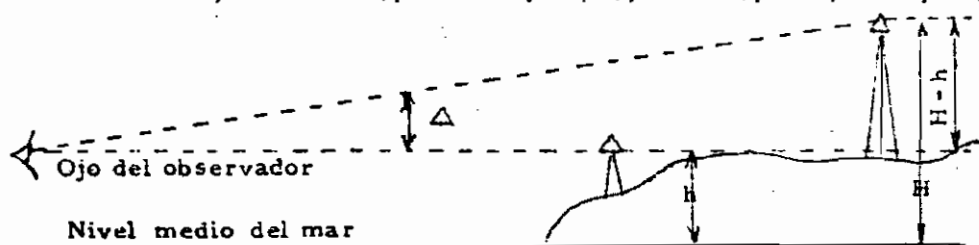
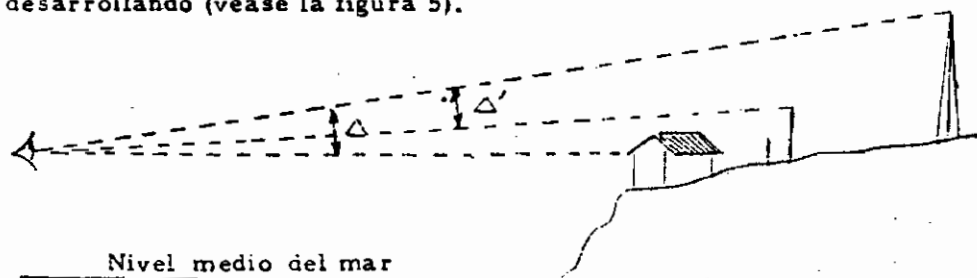


Figura 4

Lógicamente, la adopción de la altura de 5,3 metros para el plano focal o tope de la baliza anterior depende de las condiciones que se presenten en el terreno, tales como obstrucciones en la línea de enfilación, desniveles del terreno, etc.

En tal caso se podrá elegir una baliza de mayor altura pero sin sobrepasar el valor de 9,3 metros para el problema general que estamos desarrollando (véase la figura 5).



la baliza anterior con
5,3 m no puede divi-
sarse

Figura 5

5º caso. Revisión del proyecto.

Consiste en revisar el proyecto elaborado hasta aquí para decidir si se justifica un aumento de la sensibilidad K que nos hemos fijado, o sea $K = 1,5$, que, de acuerdo con la tabla, se considera aceptable.

En este caso, como W y D han sido fijados, solo podremos lograrlo aumentando R .

Por lo tanto, teniendo en cuenta las premisas, la única manera de hacerlo sería aumentando los costos; en vista de las restricciones impuestas sobre la propiedad de la tierra para la señal posterior. No es posible correr la anterior más adelante por cuanto el fondo del mar cae rápidamente. Entonces se acepta el proyecto preliminar que da como datos para construir la enfilación :

$$\begin{aligned} D &= 6.545 \text{ metros} \\ M &= 545 \text{ " } \\ R &= 595 \text{ " } \\ H &= 9,3 \text{ " } \\ h &= 5,3 \text{ " } \end{aligned}$$

6° paso. Eleccion del equipo luminoso para la baliza anterior.

Podemos determinar la intensidad fija equivalente necesaria para resolver nuestro problema y sobre esta base elegir el equipo adecuado

Para ello nos basamos en la fórmula de Allard (7)

$$I = \frac{E D^2}{T^D}$$

El coeficiente E aplicado será el adoptado internacionalmente, o sea:

$$E = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ lux} = 0,67 \text{ cd/m.náut.} \quad (8)$$

e introducimos un valor de T que sea adecuado para la zona donde se trabaja. Supongamos que este valor para nuestro caso sea $T = 0,7$, que corresponde a una frecuencia de visibilidad del 75% de las noches; la distancia D la aplicamos en millas náuticas, por lo tanto, en nuestro caso, tendremos $D = 3,53 \text{ m.n.} = 6.545 \text{ metros}$.

$$I'_e = \frac{0,67 \times (3,53)^2}{(0,7)^{3,53}}$$

Realizando la operación logarítmica, se obtiene

$$I'_e = 29,4 \text{ cd/m.}$$

Si en lugar de $T = 0,7$ hubiésemos aplicado el valor del coeficiente medio oceánico, podríamos haber utilizado la tabla reproducida en II - 4°.

También podemos encontrar el valor de I en los ábacos preparados para estos fines.

El valor de la intensidad obtenido es la intensidad estacionaria para resolver nuestro problema, pero necesitamos conocer la intensidad "eficaz" o "aparente" que nos ha de proporcionar la fuente.

Para ello aplicamos los coeficientes de "linterna" o "garita" y el de Blondel - Rey; este último, para nuestro caso, es $C_{BR} = 0,32$, pues suponíamos que la luz es de destellos y su duración de 0,4 s (véase la tabla en III - 6° paso).

En consecuencia resultará

$$I'_a = \frac{29,4}{0,3 \times 0,82} = 45 \text{ cd.}$$

Ahora estamos en condiciones de elegir la linterna más conveniente. (El C_{BR} elegido es para linterna a gas, equipo que empleamos en este caso por los inconvenientes que se plantean para obtener la matriz eléctrica como es tal como se establece en las premisas de

problema).

7º paso. Elección del equipo luminoso para la baliza posterior.

Con el mismo razonamiento y proceso como en el paso anterior, aplicamos la fórmula de Allard

$$I = \frac{E \times D^2}{T^D},$$

donde $E = 0,67$

$D = 6545 + 595 = 7140 \text{ m} = 3,85 \text{ m.náut.}$

$T = 0,7.$

$$I''_e = \frac{0,67 \times (3,85)^2}{(0,6)^{3,85}}$$

$$I''_R = 39,2 \text{ candelas.}$$

Aplicando nuevamente los coeficientes de corrección, que son, para nuestro caso,

0,80 coeficiente de linterna

$0,97 = C_{BR}$ (para $t = 3$ segundos),

$$I''_a = \frac{39,2}{0,8 \times 0,97} = 55 \text{ candelas.}$$

IV - Cálculo de la sensibilidad a lo largo de la enfilación.

Examinemos ahora otro factor que hay que tener en cuenta cuando se calcula una enfilación.

Supongamos que en el mismo canal cuyos parámetros hemostenido que calcular para materializar su eje, se nos presenta una nueva limitación, a saber:.

Los tramos más peligrosos o de menores anchos son dos y están comprendidos entre 6.600 y 6.300 metros de la baliza anterior el primero y entre 2.200 y 1.000 el segundo.

En ellos el ancho W del canal es de 150 metros, ya que ese es el valor aplicado en nuestro cálculo anterior por ser el que presenta mayor peligrosidad a lo largo de la enfilación.

Si calculamos la sensibilidad a lo largo de la enfilación, veremos que va aumentando a medida que nos acercamos al extremo interior, hecho que surge de la simple observación de la fórmula

$$K = \frac{W R}{D (H - h)}$$

K aumenta al disminuir D .

Pero veamos qué valor adquiere K en los distintos tramos de la enfilación y volquemos los datos en una tabla. De los valores de la tabla vemos que de un valor aceptable de sensibilidad que tiene la enfilación, éste pasa en un momento dado el tope 4,5, es decir, el límite sobre el

(1)	(2)	(3)	(4) = (2) x (3)	(1) / (4)	
W.R	H-h	D	D (H - h)	K	Calidad
89.250	9,3	6.600	61.380	1,4	aceptable
		6.500			
		6.000			
		5.500			
		5.000			
		4.500			
		4.000			
		3.500			
		3.000			
		2.500			
		2.200	20.460	4,3	excelente
		2.100	19.530	4,4	excelente
		2.000	18.600	4,7	
		1.000	9.300	9,5	

cual no se debe pasar, pero justamente en uno de los tramos más peligrosos ese límite es superado. Cuando K se encuentra sobre el límite máximo conveniente, la enfilación se torna tan sensible que, al alejarse unos pocos metros de la línea de crujía, el navegante puede llegar a dudar de si se encuentra en el canal o fuera de él; con ello sólo se consigue acentuar la nerviosidad en el puente en momentos en que los segundos son valiosos, por cuanto las decisiones han de ser tomadas rápidamente, y cualquier error puede acarrear consecuencias fatales.

Para prevenir este inconveniente es a veces preferible bajar la sensibilidad para que en el tramo más difícil no supere el valor de 4,5, "sacrificándolo" en el extremo más alejado, aunque en este último lugar sólo sea "aceptable" o "pobre".

Esta imposición significa que tenemos que replantear nuevamente el problema para calcular una enfilación que resulte adecuada.

Una solución que se puede ensayar con buen éxito consiste en utilizar tres balizas para una misma enfilación, vale decir, que podemos hacer variar a "K" en función de R y D pero de otra manera, sobre todo si en varios lugares de la derrota se presentan inconvenientes o, por ejemplo, si a lo largo de todo el canal tenemos la misma limitación y no deseamos que en lugar alguno K sea menor que 1 ni mayor que 4,5.

En este caso hay que efectuar todos los pasos como si se tratara de dos enfilaciones independientes.

En primer lugar, no es posible trasladar la baliza anterior. En segundo lugar, porque variaríamos todos los parámetros para el sitio más alejado de la enfilación. Por lo tanto, aceptamos que la baliza anterior sea colocada en el sitio que por cálculo nos resultó.

Para resolver el problema en el punto intermedio, o sea para

$$545 \text{ m} < D < 2100 \text{ m}$$

hay que calcular una nueva enfilación.

Siguiendo el cálculo, obtenemos luego el valor de R con los datos ya conocidos, es decir,

$$D = 2.100 \text{ metros (o un poco más)}$$

$$W = 150 \text{ metros}$$

$$K = 1,5$$

$$\Delta = 4,5'$$

$$q = 1$$

$$R_{\min} = \frac{D}{\frac{3438 W}{K \Delta q} - 1}$$

$$R_{\min} = \frac{2100}{\frac{3438 \times 150}{1,5 \times 4,5 \times 1} - 1}$$

$$R_{\min} = 72,72.$$

Con los valores obtenidos podemos establecer los puntos donde se colocarán las balizas y luego calculamos la altura de la tercera baliza y así sucesivamente hay que obtener los demás valores necesarios.

En otras ocasiones, la configuración de la costa no permite colocar las dos balizas de una enfilación separadas la distancia R mínima que resulta del cálculo matemático. En la práctica, este caso se presentó en nuestro país cuando fue necesario materializar una enfilación en el puerto de Quequén. Las dos balizas debían estar ubicadas sobre la escollera ya que detrás de ella se extendía el mar y por lo tanto no se podía respetar el valor R mínimo.

La figura 6 ilustra un caso en el cual resulta imposible cumplir con el R mín.

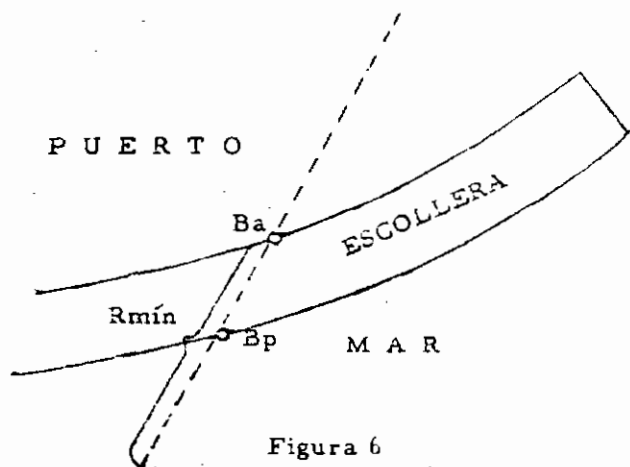


Figura 6

En tales casos la enfilación tiene muy poca utilidad ya que la sensibilidad K disminuye a tal extremo que se puede encontrar muy por debajo de los valores aceptables.

Hagamos dos ejemplos comparativos :

con $R_1 = 200 \text{ m}$	$R_2 = 40 \text{ m}$
$W = 100 \text{ m}$	$W = 100 \text{ m}$
$D = 2000 \text{ m}$	$D = 2000 \text{ m}$
$H-h = 10 \text{ m}$	$H-h = 10 \text{ m}$

$$K_1 = \frac{400 \times 100}{2000 \times 10} = 2 \quad K_2 = \frac{40 \times 100}{2000 \times 10} = 0,2$$

La comparación de los valores obtenidos exige de todo comentario.

En este caso, de ser posible, se pondrá una tercera baliza en la parte posterior, al fondo, aunque la sensibilidad sobrepase el valor "excelente".

V - Altura del ojo del observador sobre el nivel medio del mar -
Consecuencia.

Otro factor que puede tener preponderancia en determinados casos es la altura del ojo del observador sobre el nivel medio del mar.

En nuestro caso la tomamos como de 5 m, pero puede ocurrir que en algunos puertos el movimiento de buques de puertos altos sea intenso, y entonces será necesario tomar en cuenta esa circunstancia para resolver el problema más serio o sea el que presentan los buques de mayor porte.

Hasta ahora hemos aceptado como altura de la baliza anterior prácticamente 5 metros, pero en caso necesario habrá que construirla más elevada. También dijimos que hubo que tener en cuenta el alcance geográfico, dato importante para que la enfilación resulte apta.

Si, en el caso de que al aumentar la altura del plano focal de la baliza anterior la torre posterior resultara excesivamente costosa, se podrá adoptar un valor de Δ menor pero sin descender por debajo del valor mínimo de 3', ya que con un ángulo menor resultaría difícil distinguir las señales (véase II - 3°).

Se puede aceptar para la baliza posterior una torre más baja, sacrificando en alguna medida la seguridad de la navegación, y entonces se deberá adoptar la altura más conveniente.

VI - Conclusión.

Todo lo visto demuestra que es posible proyectar una enfilación llevando el proceso paso a paso en forma lógica. La ventaja consiste en que la enfilación que se obtiene representa por lo general la solución más económica. Aunque el camino sea algo largo, se lo considera compensado por la seguridad y la economía logradas al instalar en el

terreno las señales.

Ciara está que la solución ideal calculada en gabinete muchas veces no puede ser aplicada en la realidad, pero entonces será cuestión de re-
visar los parámetros para lograr la solución más adecuada y apta.

En definitiva, será necesario efectuar la prueba de aptitud, factibi-
lidad y aceptabilidad, vale decir, arribar a la conclusión de si la enfi-
lación sirve para la finalidad prevista, si es posible construirla en el
terreno y si es económicamente posible llevarla a cabo.