

LOS COEFICIENTES DE TRANSMISION ATMOSFERICA EN LOS CALCULOS DE SEÑALES MARITIMAS (*)

Por RAFAEL SOLER GAYA

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos

Con base en las observaciones practicadas por el Servicio Meteorológico Nacional en 18 estaciones distribuidas a lo largo del litoral español y durante la década 1965-1974, se calculan los valores de los coeficientes de transmisión atmosférica para cada estación; a la vista de los resultados se analizan los coeficientes que sirvieron de base para los cálculos de gran número de señales hoy en servicio, deduciéndose que fueron excesivamente optimistas. Se forman seguidamente unos ábacos para pasar de los alcances actualmente fijados o consignados en los libros o cuadernos de que dispone el navegante a otros menores resultantes de los coeficientes más pesimistas obtenidos del estudio.

1. Coeficientes de transmisión atmosférica.

Durante muchos años fue práctica habitual entre los ingenieros españoles determinar las instalaciones óptico-luminosas de las señales marítimas en base a los alcances calculados para diversos estados de la atmósfera denominados *tiempo claro* si la frecuencia de presentación del estado de transparencia —o de otros de diafanidad aún mayor— corresponde a un mes anual, *tiempo medio* si es de seis meses anuales y *tiempo brumoso* si es de once meses anuales.

Estos estados de diafanidad de la atmósfera quedan determinados cuantitativamente mediante los "coeficientes de transmisión atmosférica" (también llamados impropiamente "coeficientes de transparencia atmosférica") que se definen como la relación existente entre el flujo luminoso transmitido sin cambio de dirección por la atmósfera en la unidad de distancia y el flujo

luminoso que sería transmitido en la misma distancia y en el vacío. Si se elige como unidad de distancia el kilómetro suele representarse por a y si la milla náutica por T .

Los valores que han sido generalmente utilizados en España son los siguientes:

	Claro (TC)		Medio (TM)		Brumoso (TB)	
	a	T	a	T	a	T
Océano Atlántico (O)..	0,966	0,940	0,903	0,827	0,747	0,583
Mar Mediterráneo (M)	0,966	0,940	0,926	0,866	0,876	0,784

Conforme a la definición la relación entre a y T es:

$$T = a^{1,852}$$

En algunos cálculos relativos a señales del sur de la Península, entre la desembocadura del Guadiana y Torrox, se han considerado coeficientes intermedios entre los expuestos para el Océano y para el Mediterráneo.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta revista hasta el 28 de febrero de 1977.

2. Inconvenientes derivados del uso de coeficientes fijos.

El uso de coeficientes fijos —en general los correspondientes a los tiempos medios— está virtualmente abandonado a nivel nacional e internacional, pues ofrece los siguientes inconvenientes:

a) Los tiempos medios experimentan importantes variaciones de unos a otros puntos del litoral siendo excesivamente simplista la única clasificación entre “Océano” y “Mediterráneo”. Más adelante se podrá apreciar claramente este inconveniente con los resultados que se exponen.

b) Aun en el supuesto de que la variación se mantuviera dentro de prudentes límites, un coeficiente de gran fiabilidad exigiría prolongadas y prolijas observaciones de que se carece.

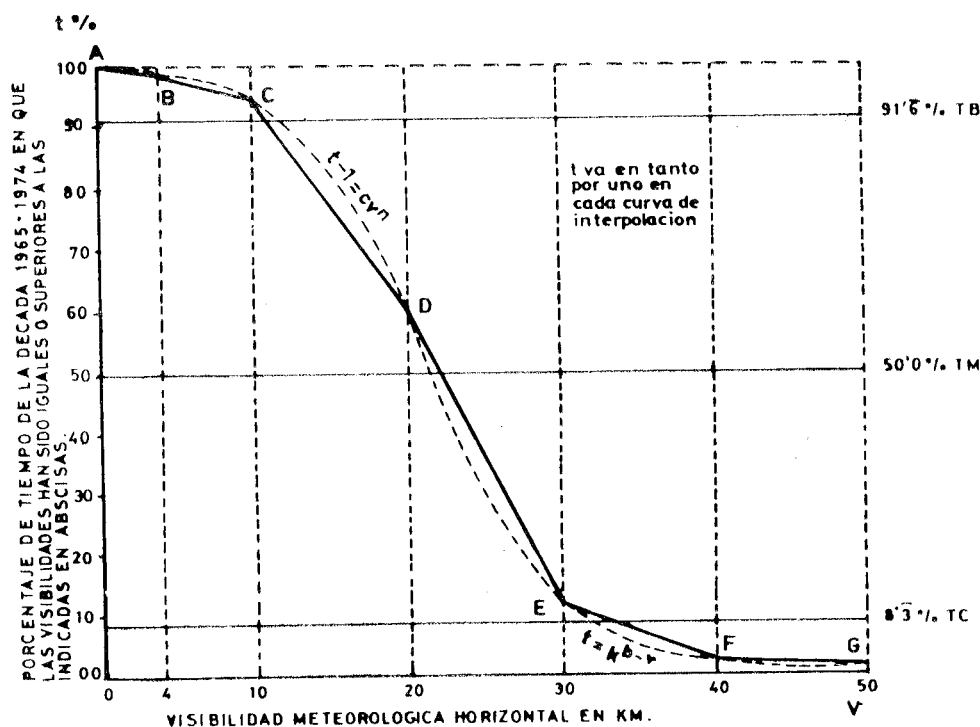
c) Las condiciones de transparencia varían rápidamente —incluso en el espacio de horas— sin que, de un modo objetivo, el navegante pueda conocer las condiciones que corresponden a un determinado momento; por ello resulta escasamente significativo el “alcance en tiempo

ordinario” o “medio” que se da en los Libros de Faros y que corresponde aún a aquellos cálculos.

Por consiguiente, el llegar a una solución aceptable implicaba tener en cuenta las condiciones locales; ello podía conseguirse a través del “alcance nominal” y la información realizada sobre la “visibilidad meteorológica”, conforme a la Recomendación de la AISM-IALA, de 16 de noviembre de 1966, prácticamente aceptada con carácter general (ver “Alcance de los faros según la visibilidad meteorológica”), *Revista de Obras Públicas*, de enero de 1972).

3. Determinación de los coeficientes en el litoral español.

Ha podido comprobarse que los coeficientes de transmisión atmosférica son extraordinariamente variables a lo largo del litoral español. Partiendo de los datos correspondientes a la década 1965-1974, recogidos por el Servicio Meteorológico Nacional (que amablemente los ha suministrado al autor), en 18 estaciones, con un total de $197.208 = 3.652 \times 18 \times 3$ observaciones de la visibilidad meteorológica horizontal



(estado resumen climatológico núm. 480) practicadas a las siete, trece y dieciocho horas, se ha llegado al cálculo de los coeficientes de cada lugar según el procedimiento que a continuación se explica, generalizable a todos los puntos donde el Servicio Meteorológico Nacional practique observaciones.

3.1. Determinación de las visibilidades de cada tiempo.

Se procede en primer lugar a considerar las 10.956 observaciones de cada estación durante la década estableciendo el porcentaje del tiempo en que la visibilidad ha sido igual o superior a determinadas cifras en kilómetros, generalmente 4, 10, 20 y 50 kilómetros, conforme a la práctica internacional, pero también, a veces, 30 y 40 kilómetros, según las claves usadas, que han variado, durante la década considerada, en varias estaciones.

Esta operación se realiza admitiendo que las visibilidades nocturnas corresponden a las 7.304 observaciones de las siete y dieciocho horas y las diurnas a las 3.652 observaciones de las trece horas. De todos modos los resultados ofrecen pocas diferencias.

Estos porcentajes de tiempo se llevan al sistema de coordenadas de la figura 1; obviamente todas las curvas han de pasar por el punto A de ordenada 100 (siempre la visibilidad es igual o superior a 0 kilómetros) y han de tener por asíntota el eje de las visibilidades (la presentación de grandes distancias de visibilidad es cada vez más rara). Las distancias correspondientes a los porcentajes de tiempos:

TC. Claro	TM. Medio	TB. Brumoso
1	6	11
$100 \frac{1}{12} = 8,3 \%$	$100 \frac{6}{12} = 50,0 \%$	$100 \frac{11}{12} = 91,6 \%$

resultan interpolando; ahora bien, una interpolación lineal, a pesar de la relativamente grosera aproximación de los valores hallados para los porcentajes de tiempo, podría ser excesivamente burda, especialmente para los valores relativos a T. M. y a T. C.; por ello, ha sido adoptada una interpolación parabólica en la parte alta de la curva, generalmente A B C D, y exponencial en la parte baja, generalmente D E F G, sin exi-

gir igualdad de tangencia en D, en C o en E, según los casos.

Si v es la visibilidad y t la fracción de tiempo en tanto por uno, las dos curvas de interpolación, siendo C y n y K y b constantes, adoptan la forma:

$$t - 1 = C v^n; \quad t = K^{b/v}$$

siendo las constantes para la interpolación entre los dos puntos (v_1, t_1) (v_2, t_2) :

$$n = \frac{\log \frac{1-t_1}{1-t_2}}{\log \frac{v_1}{v_2}}; \quad C = \frac{t_1 - 1}{v_1^n}$$

$$b = \frac{t_2}{\log \frac{t_1}{t_2}}; \quad \log K = \frac{\log t_1}{b - v_1}$$

De este modo resultaron los valores que se recogen en la figura 2.

3.2. Determinación de los coeficientes de transmisión.

Conocidas las distancias de visibilidad meteorológica horizontal para los diferentes tiempos, a cada una corresponderá un coeficiente de transmisión atmosférica, según la fórmula:

$$T = 0,05 \frac{1}{v}$$

donde, como T corresponde a millas náuticas, v deberá introducirse en esta unidad de longitud.

Esta fórmula resulta de la propia definición convenida internacionalmente para la visibilidad meteorológica como la mayor distancia a la que puede ser visto e identificado un objeto negro de dimensiones convenientes con un umbral de contraste de 0,05.

Para objetos de pequeño tamaño y color uniforme y también de color uniforme, el "contraste" se forme observados sobre un fondo mucho mayor



Fig. 3. — Pésimos valores de los coeficientes de la transmisión atmosférica para el Mediterráneo, ●, y para el Atlántico, O, crepusculares.

define como la relación existente entre la diferencia de luminancias del fondo y del objeto —expresadas en valor absoluto— y la luminancia del fondo.

A distancia nula el objeto negro mate tiene luminancia nula, luego cualquiera que sea la luminancia del fondo el contraste vale la unidad; a medida que el objeto se aleja adquiere cierta luminancia aparente por cuanto el flujo luminoso no transmitido entre observador y objeto —reflejado por las partículas de la atmósfera— causa el efecto de un flujo ficticio procedente de este objeto; a la distancia una milla será, pues, $C = T$; a la distancia dos millas, $C = T^2$, y a la de visibilidad v , $C = T^v$.

Por consiguiente, si por convención de la Organización Meteorológica Mundial, el umbral se fija en $C = 0,05$ tendremos la citada fórmula:

$$T = 0,05^{\frac{1}{v}}$$

Aplicándola a las estaciones consideradas tendremos los valores del coeficiente de transmi-

sión atmosférica T (por milla náutica) que se recogen para cada visibilidad en la figura 2.

4. Diferencias con los valores estándar de cálculo.

En el párrafo 1 se han consignado los valores estándar que recogían las Instrucciones de 1958 y la de 1967; para el alcance nominal expuesto en el párrafo 2 el valor es $T = 0,741$. Una simple ojeada a la figura 2 permite apreciar claramente las grandes diferencias que existen entre los valores de cálculo —cualquiera que sea el criterio— y la realidad de muchos puntos del litoral.

En la figura 3 se han expresado gráficamente los valores hallados y, además, los que resultan de media para cada uno de los tres tiempos Océano o Mediterráneo; tras desechar los dos valores extremos, los coeficientes derivados de observaciones crepusculares son los indicados en el cuadro 1.

CUADRO 1

COMPARACION ENTRE COEFICIENTES MEDIOS QUE ERAN ESTANDAR Y LOS RESULTANTES DE LAS OBSERVACIONES DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL				
Tiempo	Valor	Claro	Medio	Brumoso
Océano.	Estándar.	0,940	0,827	0,583
	Mediorresultante.	0,784	0,678	0,331
Mediterráneo.	Estándar.	0,940	0,866	0,784
	Mediorresultante.	0,844	0,737	0,488

5. Fiabilidad de los resultados obtenidos.

La fiabilidad de los resultados obtenidos queda evidentemente condicionada por: a) La corrección de las observaciones del Servicio Meteorológico Nacional. b) La licitud de admitir que durante la noche persisten las condiciones de transparencia atmosférica observadas en los crepúsculos.

a) *Fiabilidad de las observaciones.* — Las observaciones meteorológicas, con primordiales efectos aeronáuticos, tienden lógicamente a ser pesimistas para quedar siempre del lado de la seguridad, pero puede suponerse con fundamento que los observadores, al valorar la visibilidad, no sufren mayor error en la apreciación

que el propio de la clave que aplican y, en todo caso, que toman la menor distancia cuando el valor está entre dos de las que figuran en la tabla.

Pueden, pues, considerarse los valores hallados para *T* como los pésimos para cada tiempo y también calcularse los óptimos sin más que artibuir a cada ordenada *t* de la figura 1 el valor siguiente de la abscisa, o sea, el de 0 a 4 kilómetros; el de 4 a 10 kilómetros; el de 10 a 20 kilómetros, etc. Aplicando este proceso a cada estación puede hallarse el valor óptimo de *T* y entre éste y el pésimo se encontrará el real.

En el cuadro 2 se expresa el resultado de proceder así con los resultados medios referidos en el parágrafo 4, habiendo denominado "coeficiente probable" al que se deduce de inter-

CUADRO 2

Procedencia del coeficiente	Valores del coeficiente T		
	T.B.	T.M.	T.C.
Estándar mediterráneo	0,784	0,866	0,940
Según datos S.M.N. pésimos	0,488	0,737	0,844
Según datos S.M.N. óptimos	0,750	0,830	0,879
Interpolación entre los dos anteriores, probable	0,559	0,768	0,856
Estándar océano	0,583	0,827	0,940
Según datos S.M.N. pésimos	0,331	0,678	0,784
Según datos S.M.N. óptimos	0,626	0,808	0,845
Interpolación entre los dos anteriores, probable	0,429	0,721	0,804

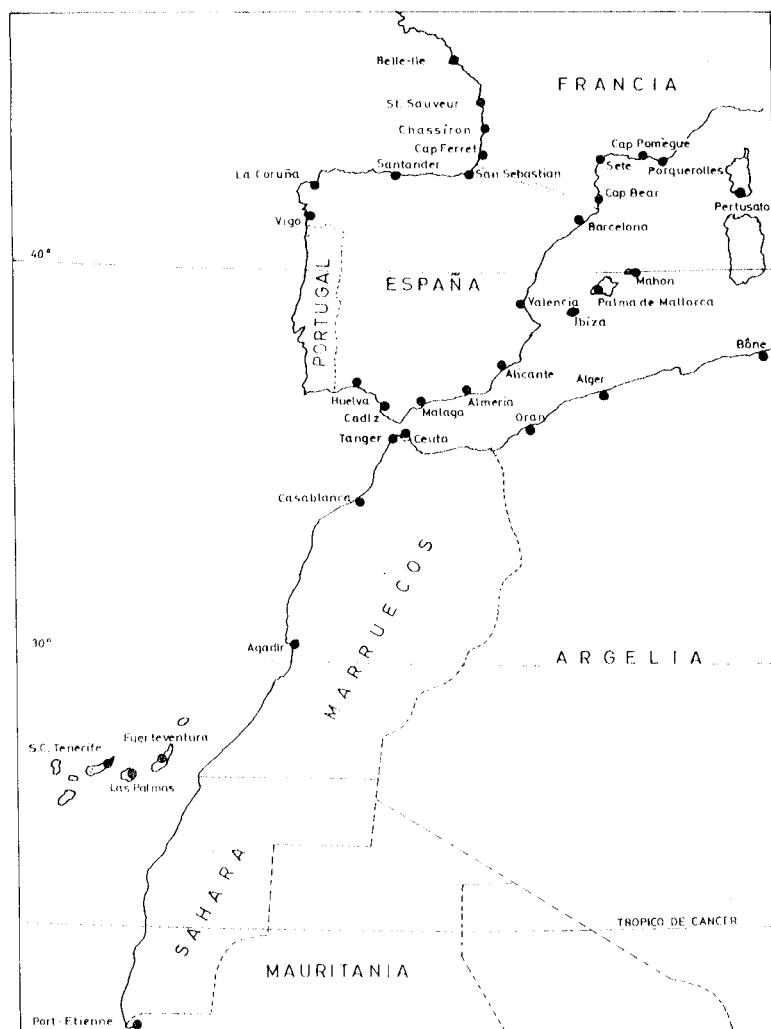


Fig. 4. — Estaciones meteorológicas consideradas.

polar linealmente entre el pésimo y el óptimo a un tercio del primero —y no en la media— por entender que el primer valor se encuentra más próximo a la realidad.

Por otra parte, los resultados de las observaciones españolas se han comparado en el cuadro de la figura 2 con los de países vecinos, al Norte y al Sur (Francia, Argelia, Marruecos, Mauritania (véase figura 4)), apreciándose —con algunas excepciones, tanto en España como en el extranjero, al Norte y al Sur— que encajan bastante bien dentro de la ley general de ir en aumento la transparencia hacia el trópico. Algunas excepciones, como la de Barcelona, pueden ser debidas a circunstancias locales de po-

lución, proximidad de desembocadura de grandes ríos, etc.

b) *Licitud de aplicar los resultados durante la noche.* — No conoce el autor la realización de experiencias para poder afirmar objetivamente que las observaciones a las siete y a las dieciocho horas, denominadas anteriormente “crepusculares”, puedan atribuirse al estado de la atmósfera durante la noche, prescindiendo del efecto de la acción solar. Acaso un estudio detallado de los “Estados de faros a la vista”, que se forman en los establecimientos de señalización marítima, realizado conjuntamente con el de las observaciones meteorológicas, y teniendo

en cuenta las instalaciones óptico-luminosas, pudiera proporcionar indicaciones precisas al respecto, pero este estudio encuentra grandes dificultades, pues a parte de los diferentes criterios que puedan seguir para las apreciaciones los técnicos-mecánicos de señales marítimas y los observadores del Servicio Meteorológico Nacional, resulta obligada la entrada en los cálculos de diversos coeficientes cuya aleatoria fijación puede perturbar notablemente los resultados.

Con todo, dos circunstancias parecen avalar esta licitud o, por lo menos, justificar que el error cometido ha de ser escaso y menor al que en-

traña el propio procedimiento seguido para las observaciones. La primera estriba en la escasa diferencia entre los valores de T deducidos para el día (observaciones a las doce horas) y para el crepúsculo (observaciones a las siete y dieciocho horas), según puede apreciarse en la figura 2. La segunda, el hecho de que en países extranjeros se dan por válidos, para abordar los cálculos de señales marítimas, los resultados obtenidos de las observaciones diurnas.

Por último, debe señalarse que en muchas ocasiones las nieblas matutinas no se forman hasta bien entrada la noche anterior, lo que contribuye a equilibrar los tiempos de presentación de día y de noche.

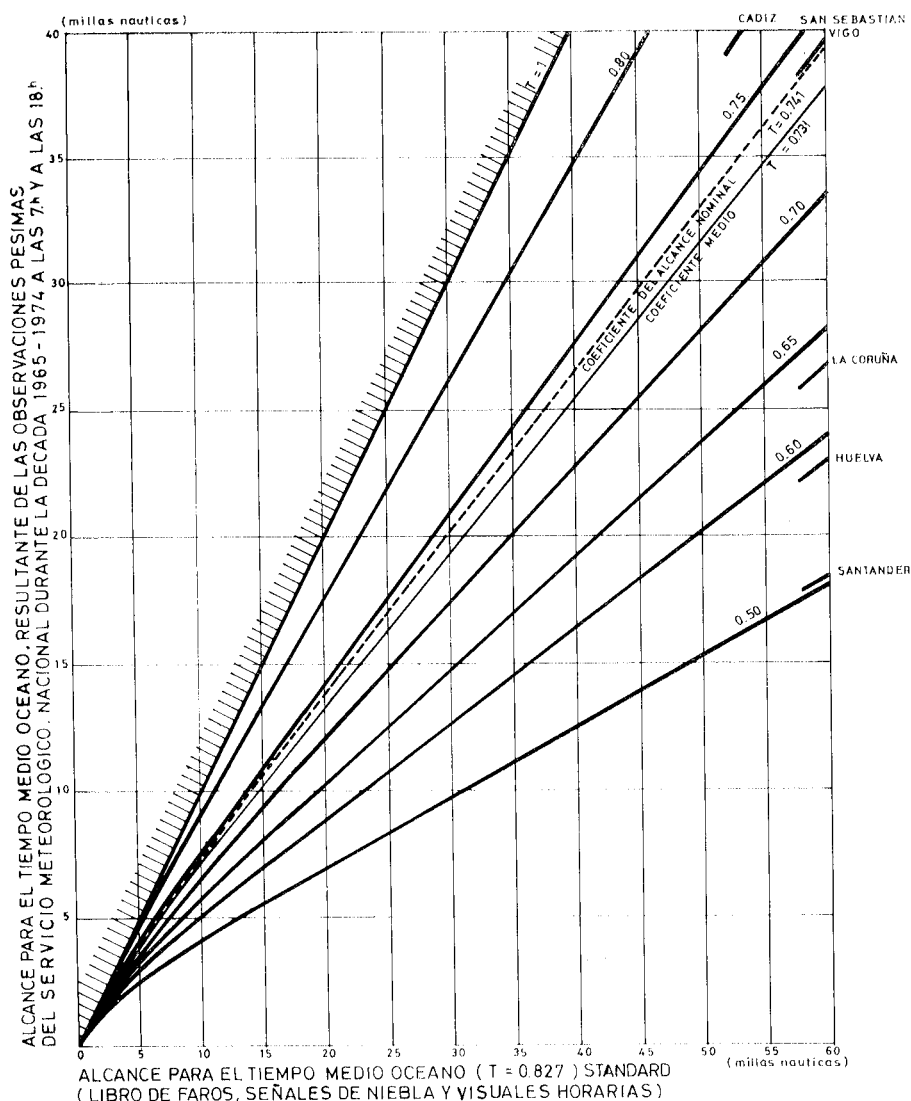


Figura 5.

6. Relación entre alcances atribuibles a cada faro.

De cuanto se lleva expuesto y considerando la práctica de los Servicios, resultarán para cada faro los siguientes alcances:

— El que se halla consignado en el “Libro de Faros, Señales de Niebla y Visuales Horarias”, que edita el Instituto Hidrográfico de la Marina y que toma en consideración el navegante. Corresponde, o debe corresponder —mientras no se sustituya por el “nominal”— a tiempo medio estándar Océano o Mediterráneo y es el que vinieron señalando, hasta hace relativamen-

te poco tiempo, las Ordenes Ministeriales que fijaban las condiciones de la señal. Podría denominarse “alcance legal”.

— El que corresponde verdaderamente al tiempo medio estándar Océano o Mediterráneo y que sólo consta en los documentos de los Servicios y que debe ser, en general, algo superior al alcance legal fijado en la Orden Ministerial. Resulta de la elección de las instalaciones luminosas y ópticas, que raramente responden con exactitud al alcance legal por construirse en series determinadas habiéndose de elegir por ello la que más se adapta a cada caso, pero por exceso.

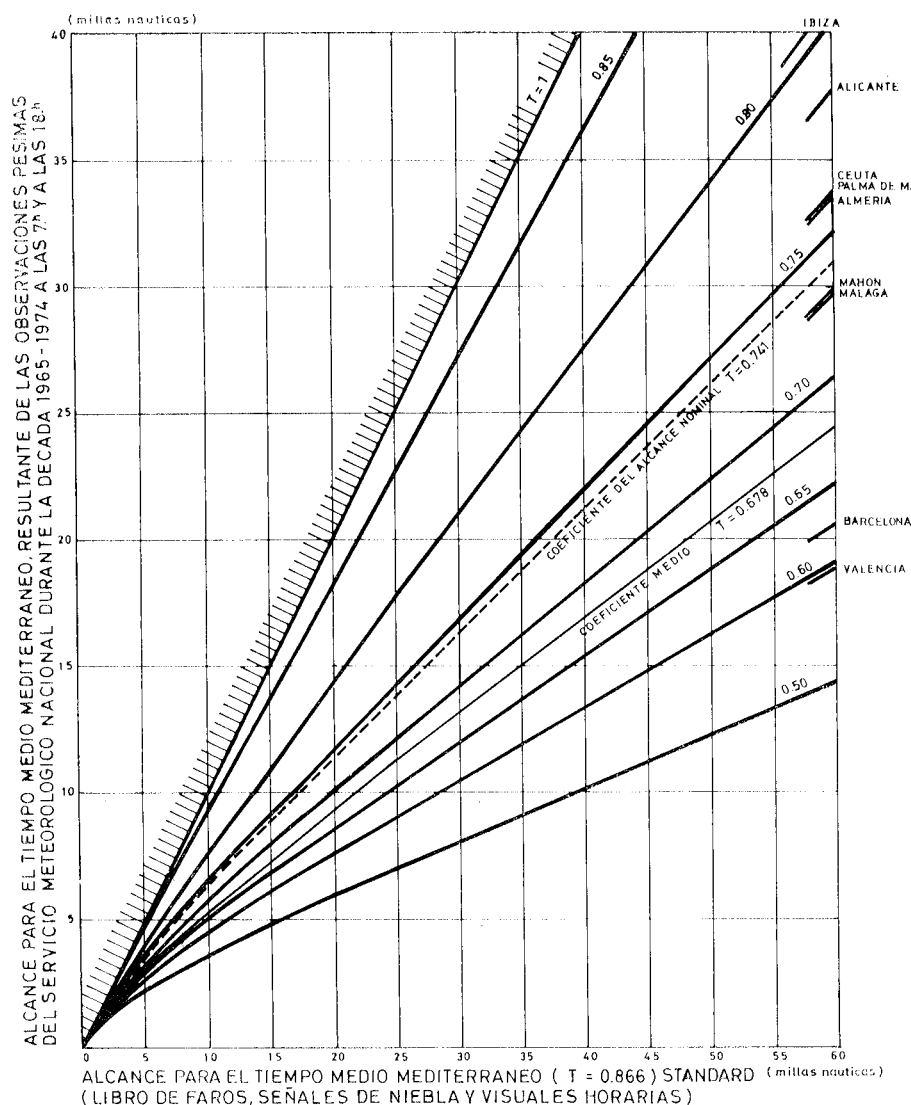


Figura 6.

CUADRO 3

RELACION ENTRE ALCANCE EN T.M.O. (ESTANDAR) Y ALCANCE NOMINAL

Medio estándar ..	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nominal	0,91	1,72	2,51	3,23	3,95	4,65	5,34	6,01	6,69	7,36
Medio estándar ..	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nominal	8,02	8,68	9,34	10,00	10,65	11,30	11,95	12,60	13,24	13,89
Medio estándar ..	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Nominal	14,53	15,18	15,82	16,47	17,11	17,75	18,39	19,03	19,67	20,31
Medio estándar ..	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Nominal	20,95	21,59	22,23	22,87	23,51	24,14	24,78	25,42	26,06	26,70
Medio estándar ..	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Nominal	27,33	27,97	28,604	29,24	29,88	30,52	31,15	31,79	32,43	33,06

RELACION ENTRE ALCANCE EN T.M.M. (ESTANDAR) Y ALCANCE NOMINAL

Medio estándar ..	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nominal	0,83	1,63	2,31	2,93	3,54	4,12	4,69	5,24	5,78	6,32
Medio estándar ..	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nominal	6,86	7,37	7,89	8,40	8,92	9,44	9,94	10,44	10,94	11,44
Medio estándar ..	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Nominal	11,94	12,44	12,94	13,44	13,94	14,44	14,93	15,41	15,90	16,38
Medio estándar ..	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Nominal	16,87	17,35	17,84	18,34	18,83	19,33	19,82	20,32	20,81	21,31
Medio estándar ..	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Nominal	21,80	22,28	22,77	23,26	23,74	24,23	24,71	25,20	25,69	26,17

— El que corresponde al coeficiente $T = 0,741$ (por milla náutica) y que se denomina “nominal”. La Asociación Internacional de Señalización Marítima recomendó que se adoptara este alcance en los “Libros de Faros” de todos los países, en 16 de noviembre de 1966, según anteriormente se ha expresado.

— El que corresponde al tiempo medio real Océano o Mediterráneo (pésimo, probable u óptimo) resultante de las observaciones diarias del Servicio Meteorológico Nacional.

— El que corresponde al tiempo medio real de cada localidad (pésimo, probable u óptimo) resultante de las observaciones diarias del Servicio Meteorológico Nacional.

Además, cabe repetir lo mismo para tiempo claro y para tiempo brumoso, cuyos valores se emplean con menor frecuencia.

El paso de unos alcances a otros puede realizarse partiendo de la fórmula de Allard (*Revista de Obras Públicas*, de enero de 1972), de

modo que si: D_1 y D_2 alcances en millas náuticas para los coeficientes de transmisión T_1 T_2 , respectivamente.

$$R = \frac{D_1}{D_2}$$

se tiene:

$$D_2 = \frac{2 \log R}{R \log T_1 - \log T_2}$$

por consiguiente para cada valor de R , dados T_1 y T_2 , puede hallarse D_2 y, conocido éste, el de D_1 que le corresponde.

Así se han formado los dos ábacos de las figuras 5 y 6 que permiten pasar de los alcances en tiempo medio estándar o legales (prácticamente coincidentes con los del “Libro o Cuaderno de Faros”) a los pésimos verdaderos, sean los medios, o los de las localidades que se señalan.

La relación entre el alcance nominal y el consignado en el "Libro de Faros", entendido este equivalente al de tiempos medios estándar, es la indicada en el cuadro 3.

7. Conclusiones.

De cuanto se ha estudiado se desprende:

a) Los valores de los coeficientes medios de transmisión deducidos de las observaciones del Servicio Meteorológico Nacional, aun en la hipótesis optimista, son acusadamente inferiores a los que venían considerándose estándar. Debe mirarse, pues, con prevención los alcances atribuidos a los faros que habrán de pecar por exceso y, en ocasiones, con diferencias considerables.

b) La gran conveniencia de establecer en España con carácter definitivo la práctica de consignar los alcances nominales y no los de tiempo medio, pues las diferencias de estados atmosféricos de unas localidades a otras son

notables, incluso dentro de los dos clásicos conceptos genéricos —Océano y Mediterráneo— que se han mostrado totalmente artificiosos.

c) La necesidad de considerar en los cálculos las circunstancias locales si quieren establecerse instalaciones a lo largo de la costa que den una probabilidad similar de calidad en el servicio.

d) La gran conveniencia de complementar los instrumentos de cálculo de los ingenieros y de información de los navegantes con los ábacos que permitan relacionar el alcance nominal con el medio o más probable de cada localidad, deducido éste de las observaciones —en el período más largo posible— del Servicio Meteorológico Nacional.

e) La conveniencia de aplicar —mientras no se disponga de los documentos citados en b) y d)— prudentes correcciones a los alcances hoy señalados utilizando para ello los ábacos de las figuras 5 y 6 directamente (hipótesis más pesimista) o indirectamente pasando a coeficientes mayorados, según se ha explicado en el párrafo 5, apartado a).