

OBSERVACIONES SOBRE EL ALCANCE

Y ALTURA DE LOS FAROS.

La forma redondeada de la superficie de la tierra, hace que los objetos vayan desapareciendo de nuestra vista á medida que nos alejamos, este efecto se presenta principalmente, cuando nos vamos separando de la costa sobre la superficie del mar; así pues si suponemos (figura 1.ª) que un observador se halle colocado en una embarcacion A, y que dirija una visual ABC, tangente á la superficie ABE del mar, á un objeto ED situado en la costa, no verá de este objeto mas que la parte superior á la linea ABC, ni tampoco distinguirá ningun objeto cuya altura sea menor que la EC, pero á medida que vaya aproximándose á la costa y tomando las posiciones sucesivas A' A' los rayos visuales tangentes serán A'B'C', A'B'C' y de consiguiente podrá ir descubriendo mayor número de objetos y mayor altura del objeto ED.

Si conociésemos la ley de variacion de los elementos de la curva AA'E ó su ecuacion, y las distancias sucesivas AC, A'C', podríamos determinar con facilidad las alturas EC, EC'.... que deberian tener los objetos situados en E, para poder ser divisados desde los puntos que hemos indicado, é inversamente conocidas las alturas podríamos determinar las distancias. Pero esto sería en el caso en que los observadores se hallasen en los puntos de tangencia B, B', B' ó que su altura con respecto á la curva fuese nula, pero el mismo cálculo que se haga para las alturas de los objetos E, puede hacerse para las Aa, A'a' A'a' y entonces las distancias totales entre los puntos A y C por ejemplo, se determinarán sumando las longitudes de las tangentes AB y BC.

Para determinar estos valores observaremos, que la superficie del nivel de los mares, puede considerarse en la estension que nosotros necesitamos, como confundida con la de la esfera osculatrix á la superficie de la tierra, en el

punto en que se halla el observador, y por lo tanto la curva AA'E como un arco de círculo máximo de esta esfera, entonces las alturas EC, EC', EC' no serán mas que las diferencias entre el nivel aparente y el nivel verdadero de los puntos B, B', B' y E; vamos pues á determinar esta diferencia.

Supongamos que desde el punto A (figura 2) se tiran, la tangente AB, el radio AO y la secante BOD, al círculo CAD; por la propiedad de estas líneas tendremos:

$$\overline{AB}^2 = BD \times BC = (CD + CB) BC \\ = CD \times BC + \overline{CB}^2$$

y llamando D á la distancia AB, R al radio y a á la altura C B resultará

$$D^2 = 2Ra + a^2$$

Si quisiéramos calcular el valor de a exactamente, no habria mas que resolver la ecuacion de 2.º grado anterior, pero en los cálculos que vamos á hacer siendo siempre a muy pequeña con respecto á R, puede despreciarse la segunda potencia sin error sensible, y entonces la expresion anterior se convierte en

$$D^2 = 2Ra \text{ de donde puede deducirse}$$

$$a = \frac{D^2}{2R} (1) \text{ y } D = \sqrt{2Ra} (1)$$

por medio de estas espresiones, se pueden encontrar h ó D cuando sea conocida la otra, puesto que el radio R de la tierra es una cantidad determinada, pero antes es preciso hacer notar que la *refraccion atmosférica* produce un efecto, que consiste en hacer aparecer á los objetos mas elevados ó de mayor altura que la que realmente tienen, puesto que los rayos luminosos enviados por el objeto al observador, que en general se encuentra mas bajo, al atravesar las diferentes capas de la atmósfera, cuya densidad es variable y va en aumento progresivo, van formando curvas, que vuelven su concavidad hácia la superficie de la tierra; y como el obser-

vador, refiere siempre el objeto segun la tangente, del último elemento de la curva, ó sea del mas inmediato á su eje, resulta, que el objeto aparecerá mas elevado que lo que está realmente, ó lo que es lo mismo, con una altura menor que la indicada por h en la expresion anterior, se hará visible desde el punto A.

Para introducir esta correccion en las expresiones (1) observaremos que el punto B (fig. 5.), que un observador colocado en A, distingue, está realmente situado en B' mas bajo que el anterior, el cual ha enviado un rayo luminoso segun la trayectoria B'nmA, cuyo último elemento Am es el que llega al ojo del observador, de manera que es preciso determinar la cantidad BB', que llamaremos x , para tener la verdadera altura CB'= $a'=a-x$, resultante de la combinacion de la curvatura de la tierra y de la refraccion atmosférica.

Para hallar el valor de x tenemos, que si desde el punto A y con el radio AC trazamos un arco Cpp', los ángulos BAB' y BAC serán proporcionales á los arcos pp' y Cp', pero estos arcos son tan pequeños, con respecto al radio AC, que pueden confundirse con las líneas BB' y CB, de consiguiente podremos establecer la siguiente proporcion:

$$\text{Ang.}^\circ \text{BAC} = \frac{1}{2} \text{Ang.}^\circ \text{AOB} : \text{Ang.}^\circ \text{BAB}'$$

$$= \text{Ang.}^\circ \text{ de refraccion} :: a : x.$$

Pero en observaciones muy repetidas y delicadas se ha encontrado, que el ángulo de refraccion es igual, al ángulo en el centro O multiplicado por un coeficiente, que puede tomarse como constante, al cual se denomina *coeficiente de refraccion*.

Este coeficiente varia con la temperatura, con la presion atmosférica y con mil causas locales *inapreciables* en el cálculo. Delambre ha encontrado que era de 0,05 á 0,06 en verano, pudiendo llegar en invierno, aunque muy rara vez y en tiempos de lluvia y niebla, hasta 0,14 y 0,15; pero casi siempre es de 0,08 variando en aumento ó en disminucion de 0,02, durante los tiempos frios ó en el verano.

El resultado medio de diez y siete observaciones hechas en el mar en verano y en otoño ha sido de 0,0785, de manera que para nuestros cálculos adoptaremos este coeficiente, y la proporcion anterior se convertirá en

$$\frac{1}{2} 0 : 0,0785 :: a : x \text{ ó en la siguiente :}$$

$$0,50 : 0,0785 :: a : x = 0,1566 a$$

y $a' = a - 0,1566 a = 0,8454 a$; introduciendo este valor en las expresiones (1) tendremos:

$$a' = \frac{0,8454 D^2}{2R} = \frac{0,4217}{R} D^2 \text{ y}$$

$$D = \sqrt{\frac{R}{0,4217}} \sqrt{a'} \text{ y}$$

tomando para el radio de la tierra R su valor medio á la latitud de 45° que es R=6.366.669 metros, resulta:

$$a' = 0,00000066255 D^2 ; D = 5885,56 \sqrt{a'}$$

Por medio de estas expresiones podremos obtener la distancia D ó la altura a' , á que los objetos podrán ser distinguidos.

Pero para el objeto de nuestra aplicacion á los faros, vamos á transformarlas en otras fórmulas prácticas que nos den directamente, las cantidades que se desean; en efecto, cuando se trata de alcances ó de las longitudes de las tangentes, se espresan siempre en millas marinas ó de 60 al grado, de manera que para el radio que hemos adoptado su valor será de 1851,894 metros (*), y entonces el valor de D, espresado en millas, si le llamamos D' dará:

$$D' = \frac{D}{1851,894}$$

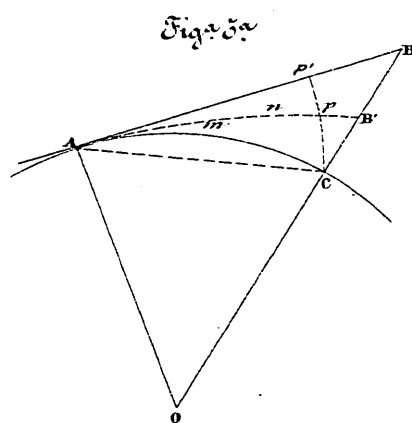
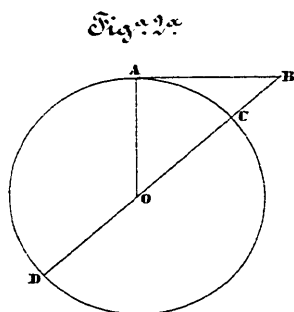
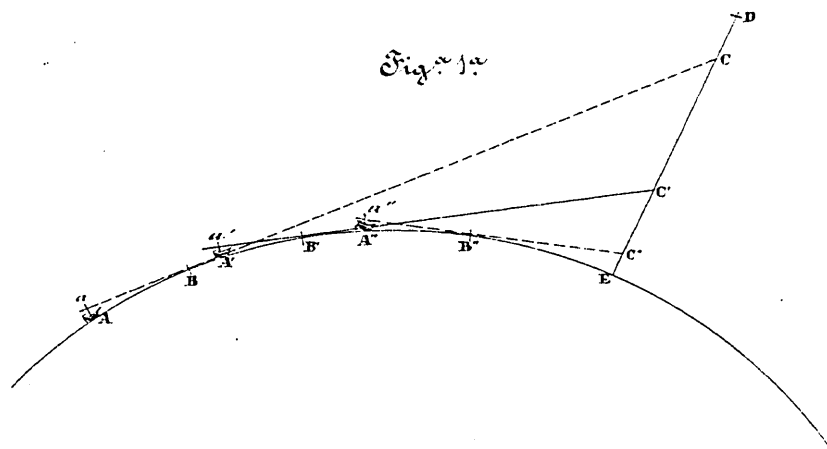
con lo cual las expresiones anteriores se transforman en

$$a' = 0,2272 D'^2 \quad D' = 2,098 \sqrt{a'}$$

en donde a' estará espresada en metros, y D' en millas; por medio de estas fórmulas hemos calculado las tablas siguientes:

(*) La longitud de la milla marina adoptada en casi todos los países es de 1852,2 metros, ó sea $\frac{1}{2}$ de legua marina de 20 al grado, equivalente á 6076,98 pies ingleses y 6643,69 españoles. Esta milla corresponde á un radio de la tierra de 6.367.399 metros, pero como para nuestros cálculos hemos adoptado la latitud de 45°, y entonces el radio medio es igual á 6.366.669 metros, la longitud de la milla correspondiente, que deberemos introducir en las fórmulas es de 1851,894 metros.

ALCANCE Y ALTURA DE LOS FAROS.



Distancia en millas.	Altura en metros.	Distancia en millas.	Altura en metros.	Distancia en millas.	Altura en metros.	Distancia en millas.	Altura en metros.
1	0.227	15.5	41.407	26	155.587	58.5	556.767
1.5	0.511	14	44.551	26.5	159.551	59	545.571
2	0.909	14.5	47.769	27	165.629	59.5	554.489
2.5	1.420	15	51.120	27.5	171.820	40	565.52
3	2.045	15.5	54.585	28	178.125	40.5	572.665
3.5	2.785	16	58.165	28.5	184.545	41	581.925
4	3.655	16.5	61.855	29	191.075	41.5	591.295
4.5	4.601	17	65.661	29.5	197.721	42	400.781
5	5.680	17.5	69.580	30	204.48	42.5	410.580
5.5	6.875	18	73.615	30.5	211.555	43	420.095
6	8.179	18.5	77.759	31	218.559	43.5	429.919
6.5	9.599	19	82.019	31.5	225.459	44	439.859
7	11.155	19.5	86.591	32	232.655	44.5	449.915
7.5	12.780	20	90.880	32.5	239.980	45	460.080
8	14.541	20.5	95.481	33	247.421	45.5	470.561
8.5	16.415	21	100.195	33.5	254.975	46	480.755
9	18.405	21.5	105.025	34	262.645	46.5	491.265
9.5	20.505	22	109.965	34.5	269.971	47	501.885
10	22.720	22.5	115.020	35	278.520	47.5	515.074
10.5	25.049	23	120.189	35.5	286.529	48	525.469
11	27.491	23.5	125.471	36	294.451	48.5	534.451
11.5	30.047	24	130.867	36.5	302.687	49	545.507
12	32.717	24.5	136.577	37	311.057	49.5	556.697
12.5	35.500	25	142.000	37.5	319.500	50	568.000
13	38.597	25.5	147.757	38	328.077		

Altura en metros.	Distancia en millas.	Altura en metros.	Distancia en millas.	Altura en metros.	Distancia en millas.	Altura en metros.	Distancia en millas.	Altura en metros.	Distancia en millas.	Altura en metros.	Distancia en millas.
1	2.10	15.5	7.71	26	10.69	58.5	15.02	52	15.15	77	18.41
1.5	2.56	14	7.85	26.5	10.79	59	15.10	53	15.28	78	18.53
2	2.96	14.5	7.99	27	10.89	59.5	15.18	54	15.42	79	18.64
2.5	3.51	15	8.15	27.5	10.99	40	15.26	55	15.56	80	18.76
3	3.65	15.5	8.26	28	11.09	40.5	15.34	56	15.70	81	18.88
3.5	3.92	16	8.52	28.5	11.19	41	15.42	57	15.84	82	19.00
4	4.20	16.5	8.52	29	11.29	41.5	15.50	58	15.98	83	19.11
4.5	4.45	17	8.65	29.5	11.59	42	15.58	59	16.12	84	19.22
5	4.68	17.5	8.77	30	11.49	42.5	15.66	60	16.26	85	19.35
5.5	4.91	18	8.89	30.5	11.59	43	15.74	61	16.59	86	19.44
6	5.14	18.5	9.01	31	11.68	43.5	15.82	62	16.52	87	19.55
6.5	5.55	19	9.15	31.5	11.77	44	15.90	63	16.65	88	19.66
7	5.54	19.5	9.25	32	11.86	44.5	15.98	64	16.78	89	19.77
7.5	5.75	20	9.57	32.5	11.95	45	14.06	65	16.91	90	19.88
8	5.92	20.5	9.49	33	12.04	45.5	14.14	66	17.04	91	19.99
8.5	6.11	21	9.61	33.5	12.15	46	14.22	67	17.17	92	20.10
9	6.29	21.5	9.75	34	12.22	46.5	14.50	68	17.50	93	20.21
9.5	6.46	22	9.84	34.5	12.51	47	14.58	69	17.45	94	20.32
10	6.65	22.5	9.95	35	12.40	47.5	14.46	70	17.56	95	20.45
10.5	6.80	23	10.06	35.5	12.49	48	14.54	71	17.61	96	20.54
11	6.96	23.5	10.17	36	12.58	48.5	14.62	72	17.81	97	20.65
11.5	7.11	24	10.28	36.5	12.67	49	14.69	73	17.95	98	20.76
12	7.26	24.5	10.59	37	12.76	49.5	14.76	74	18.05	99	20.87
12.5	7.41	25	10.49	37.5	12.85	50	14.85	75	18.17	100	20.98
13	7.56	25.5	10.59	38	12.94	51	14.98	76	18.29		

Pasemos pues ya, á aplicar la teoría espuesta y las tablas que hemos calculado, á los alcances de los faros, para lo cual distinguiremos dos géneros de alcance. 1.º El que corresponde á la altura del aparato sobre el nivel del mar, ó sea de la torre ó edificio en que está montado. 2.º El que corresponde á su fuerza de refulgencia segun el orden del aparato y el carácter de la luz. De manera que si un foco luminoso no puede hacer perceptibles sus rayos, mas que hasta cierta distancia, inútil sería que elevásemos la torre para hacer visible la luz.

Asi pues, si pudiésemos fijar el alcance que tiene cada uno de los aparatos de los faros, segun su fuerza de refulgencia, ó la longitud de

sus tangentes, quedaria determinada por las tablas anteriores, la altura á que deberán colocarse los aparatos y de consiguiente la altura de las torres, para que pudiesen distinguirse sus luces cuando ya su refulgencia lo permita.

Pero estos alcances son muy variables, con el estado de la atmósfera y con el orden y carácter de las luces, por lo cual en la tabla siguiente se indican los que se han deducido de las observaciones y esperiencias hechas, en un estado medio de la atmósfera y para cada una de las circunstancias, de los diferentes aparatos de Fresnell, que se emplean hoy en nuestros faros.

APARATOS	CARACTERES DE LAS LUCES.	ALCANCE EN MILLAS.				
		Para las linternas fijas.	Para los destellos.	Para las apariencias de la luz cuando estas duran.		Máximo de cada clase de luz.
				20"	4" á 5"	
1.º orden. . . .	{ Fija en todas direcciones.	20	"	"	"	20
	{ Fija variada por destellos.	18	24	"	"	24
	{ Giratoria con eclipses de 1' en 1'	"	"	18	27	27
	{ Idem. con id. de 1/2' en 1/2'	"	"	18	24	24
2.º orden. . . .	{ Fija en todas direcciones.	18	"	"	"	18
	{ Idem variada por destellos.	16	22	"	"	22
	{ Giratoria con eclipses de 1' en 1'	"	"	16	24	24
	{ Idem con id. de 1/2' en 1/2'	"	"	16	22	22
3.º orden. . . .	{ Fija en todas direcciones. Gran modelo.	15	"	"	"	15
	{ Idem id. id. Pequeño modelo.	15	"	"	"	15
	{ Idem variada por destellos. Gran modelo.	10	18	"	"	18
	{ Idem id. id. Pequeño modelo.	9	15	"	"	15
4.º orden. . . .	{ Fija en todas direcciones. Gran modelo.	10	"	"	"	10
	{ Idem id. id. Pequeño modelo.	9	"	"	"	9
	{ Idem variada por destellos. Gran modelo.	"	15	"	"	15
	{ Idem id. id. Pequeño modelo.	"	12	"	"	12
5.º y 6.º orden.	{ Fija en todas direcciones.	9	"	"	"	9
	{ Idem variada por destellos.	"	12	"	"	12

Para poder apreciar, hasta donde pueden considerarse como cantidades absolutas, los alcances consignados en esta tabla vamos á transcribir la respuesta dada por M. Leonor Fresnell, á las preguntas que le dirigieron MM. Jenkins y Bache oficiales de marina de los Estados Unidos; dice así:

«Antes he tratado de la manera como se mantiene el alumbrado de los faros en un esta-

do normal. Voy á ocuparme ahora de la cuestion que me han propuesto los SS. Jenkins y Bache acerca del alcance de la luz lenticular.

La indicacion del alcance puede dar lugar á alguna incertidumbre, en cuanto al mérito relativo de los aparatos del alumbrado, segun manifesté á Mr. Pleasanton, en mi carta sobre el mismo asunto fecha 25 de agosto de 1845; en la práctica, no podemos determinar con rigurosa

exactitud el alcance absoluto de las luces de los faros, por la gran variacion que resulta aun en las observaciones mejor hechas, tanto por las frecuentes variaciones en la transparencia de la atmósfera, cuanto por la diversa fuerza de vision de los diferentes observadores. Debo añadir que no se encuentra sino rara vez, en el horizonte de un faro lenticular de orden superior, el punto de observacion que corresponda al limite de *visibilidad* de su luz en tiempo despejado.

Desde la plataforma de Mont Bearu, he visto en varias visitas los resplandores de la luz situada sobre Mont Saint Loupe, cerca de Adge (Mediterraneo) á la distancia de 92 kilómetros ó sean 50 millas próximamente. La luz de Adge es producida, por un aparato giratorio de primer orden con ocho grandes lentes. No obstante el alcance de la misma luz solo se ha supuesto que es de 27 millas marinas, en la relacion descriptiva publicada para uso de los navegantes, porque hallándose elevada 126 metros sobre el nivel del mar, se estiende su horizonte á unas 50 millas, para un observador que se halle á la altura de 10 metros sobre el mismo nivel. En la citada relacion descriptiva se ha cuidado, de poner las indicaciones del alcance efectivo de las luces, dentro del limite que les corresponde en tiempos despejados, en atencion á las variaciones de la atmósfera que le disminuyen frecuentemente; y en la mayor parte de los casos tiene menor inconveniente para el navegante, que por sí mismo decida del crédito que merezca la aproximacion en que puede suponerse, en vez de inducirle á creer que se encuentra á mayor distancia de la que realmente le separa de la costa.

Voy á tomar el segundo ejemplo de la luz fija de la isla de *Ouessant* (en el Oceano), producida por un aparato lenticular de primer orden. Su alcance se ha publicado que es de 18 millas en la mencionada relacion oficial. Sin embargo á causa de su elevacion se estiende á 26 millas su horizonte, para un observador colocado 10 metros sobre el nivel del mar; y yo he visto aquella luz varias veces desde la plataforma del faro de *Bec-du-Raz* á la distancia de 51 millas marinas.

Como tercer ejemplo voy á citar la luz de las siete islas (costa del Norte), que la produce un pequeño aparato catadióptrico de cuarto orden. A su alcance solo se señalan 10 millas marinas, aunque sin ninguna dificultad suele verse desde el faro de *Beaux de Bréhat*, que está á 16 millas.

Podríamos, pues, deducir de dicha relacion conclusiones erróneas, acerca de la importancia y realidad del efecto útil de las luces que se han mencionado, admitiendo como base de comparacion la indicacion de *alcances* que nunca se han fijado como *absolutos*.

Para establecer comparaciones prudentes sobre este particular, es preciso recurrir á *operaciones fotométricas*, como las que he espuesto en una nota referente á ellas de 31 de diciembre de 1845; pero las creo innecesarias y fuera del objeto con que se han preparado las reducciones de los alcances de luz para el uso de los navegantes, así como de la consulta que se me ha hecho con referencia á la Descripcion de los Faros de Francia, que comprende las series de aparatos lenticulares generalmente usados hoy, escepto en los faros de segundo orden de luz fija.»

No es necesario acudir á ejemplos estranjeros para convencernos de estos hechos; nuestros oficiales de marina aseguran haber visto muchas veces, en circunstancias favorables de la atmósfera, los resplandores de los faros de Ceuta y de la isla Dragonera á la distancia de 58 millas, sin embargo de que el aparato de este último faro es solo de tercer orden, gran modelo, y su luz fija variada por destellos de 2' en 2'.

En la tabla anterior se asigna á este faro un alcance máximo de 18 millas; pero como su elevacion sobre el nivel del mar es de 560.^m 19 por hallarse situado sobre el pico del centro de la mencionada isla, llamado *Single de Ginareira*, le corresponde una tangente de 59,82 millas, y suponiendo que el observador se halle elevado 10 metros sobre el nivel del mar su tangente será de 6,62, que dará un alcance total de 46,44 millas; por manera que permite su horizonte que pueda distinguirse, si su fuer-

za de refulgencia puede estenderse hasta las 58 millas. Lo mismo sucede para el faro de Ceuta cuya altura sobre el nivel del mar es de 145^m,17.

Pero aun podemos presentar un ejemplo mas notable de cuanto hemos espuesto; el faro O'donell, situado en el castillo del Morro á la entrada del puerto de la Habana, cuya altura sobre el nivel del mar es de 44^m,05, tiene un aparato catadióptrico de primer orden de Fresnell, y su luz es fija, de color natural, alterada con grandes resplandores de 50" en 50"; estos resplandores, segun han manifestado oficialmente algunos jefes y oficiales de nuestra marina, que merecen el mayor crédito, se distinguen hasta « la distancia de 40 á 45 millas, » y los eclipses totales duran de 24" á 25"; á « la distancia de 55 millas los eclipses dejan de » ser totales, porque á esta distancia empieza á » distinguirse la luz fija. »

Pues ahora bien: la mayor altura á que puede colocarse un observador sobre el nivel del mar, que es en el tope del palo mayor de un navio, y que podemos suponer de 64 metros, á cuya altura le corresponde una tangente de 16,78 millas, que sumada con la de 15,92 para la altura de 44^m,05 de la torre, nos da un alcance total de 50,70 millas, que podemos considerar como la máxima distancia á que se podrá ver la luz directamente, por lo cual los resplandores y eclipses que se distinguen á la distancia de 40 á 45 millas, solo pueden ser los que se producen á una altura mayor que la de la torre, y por efecto de la reververacion en la atmósfera (1), puesto que hecho el cálculo, conservando la misma elevacion para el observador que anteriormente, nos da para el foco luminoso, una elevacion sobre el nivel del mar de 120^m que escede en 56 metros á la de la torre ó faro actual.

En vista, pues, de cuanto llevamos espuesto se deduce, que no es posible asignar un límite preciso á los alcances de la refulgencia de las luces, pues no solo dependen del estado de la atmósfera, sino de mil causas locales que,

como dijimos al tratar del coeficiente de refraccion, alteran considerablemente las distancias á que pueden hacerse visibles. Sin embargo, para poder establecer las alturas que deberán tener las torres de los faros, nos fijaremos en los alcances que hemos espuesto en la tabla anterior, pero si observamos que el alcance total de una luz ó su tangente, no solo es debida á la altura de la torre sino tambien á la del observador, y de consiguiente á la suma de ambas tangentes, como indicamos al principio de esta memoria; será preciso fijar tambien las alturas del observador sobre el nivel del mar. Para esto tomaremos las alturas que puede tener un observador en el mar, que podrán variar desde la cubierta de las embarcaciones, hasta el tope mayor de aquellas; cuyos límites son los siguientes:

	Sobre cubierta.	Tope mayor.
	Metros.	Metros.
Buques mercantes.		
{ Goletas. . .	1,10	22,60
{ Bergantines. .	4,50	55,70
{ Fragatas. . .	2	40
Buques mayores de guerra.		
{ Fragatas de 50 cañones. .	5	55,70
{ Navios de 80 cañones. . .	6,10	61

La mayor altura á que podrá ascender un hombre en el mar será á la de 64 metros; á que está el tope de los mayores navios de linea que se construyen hoy dia en el extranjero.

Las elevaciones de las arboladuras de los buques varian considerablemente aun en los de una misma clase. Las que hemos dado aqui corresponden á buques de regulares portes en sus clases respectivas.

Con estos datos podremos fijarnos en la altura media sobre la cubierta de un buque, que será de 5 metros, mas la altura de la vista del observador que fijaremos en 1,5, lo cual nos dará para altura total 6,50, y para la altura del tope mayor la de 40 metros, con lo cual pueden formarse las siguientes tablas:

(Se continuará.)

A. MAYO.

(1) Véase la nota.