

# ¿CON CUANTA CADENA PUEDO QUEDAR SEGURO?

José Miguel García Palma  
Capitán de Navío

ESTE problema se presenta a todo comandante y normalmente es resuelto aplicando una de muchas reglas, algunas de las cuales son las siguientes:

- Número de paños = dos veces la raíz cuadrada de la profundidad, medida en brazas.
- Número de paños = raíz cuadrada del doble de la profundidad, en metros.
- Cantidad de cadena = tres a cuatro veces la profundidad.
- Cantidad de cadena = cinco veces la profundidad.

Sin embargo, no siempre se puede seguir la regla más conveniente, ya sea porque el radio de borneo disponible no lo permite o porque no hay más cadena. Entonces salta la duda de ¿cuán seguro está el buque?

Según un manual (*Admiralty Manual of Seamanship*)<sup>1</sup>, el ancla de nuestros buques puede soportar una tracción de 10 a 12 veces su peso, siempre que el tipo de fondo sea arena o fango y que se le haga trabajar con su cepo horizontalmente.

Partiendo de esta base necesitamos una cantidad de cadena que forme una catenaria tal que el ancla se encuentre en el seno, como se muestra en la figura 1, en donde:

T = tracción del buque = fuerza soportada por el ancla

S = altura del escobén sobre el fondo, en paños.

Lc = longitud de la cadena, en paños.

W = peso de un paño de cadena.

L = distancia horizontal del ancla al escobén.

Se puede demostrar que:

$$Lc = [(S/27.5)^2 + 2(S/27.5)T/W]^{1/2}$$

con lo cual se obtiene la mínima longitud (Lc) que forma la catenaria que hace trabajar horizontalmente el cepo del ancla, en función de la altura del escobén sobre el fondo (S), el peso de un paño (W) y la tracción máxima esperada (T); estas dos últimas expresadas en la misma unidad.

Despejando la tracción:

$$T = W(L^2 - S^2)/2S$$

En base a esta fórmula ha sido calculada la Tabla 1, que muestra la máxima tracción que puede ejercer un DLG antes de comenzar a levantar el cepo del ancla, partiendo del supuesto que ésta no garreará mientras su cepo trabaje horizontalmente. Del análisis de esta tabla se observa que para una cierta profundidad la capacidad de soporte del ancla es función de la cantidad de cadena arriada, hasta llegar al máximo que es capaz de soportar el ancla.

También coopera un poco a la sujeción del buque la cadena que descansa en el fondo. Según el manual ya citado<sup>2</sup>, la cadena que reposa en el fondo es capaz de soportar solamente una tracción equivalente a dos tercios de su peso.

Para el DLG, tres paños soportarán aproximadamente el equivalente al peso de un ancla, como lo muestra la Tabla 2, lo cual es poco, comparado con el aguante del ancla indicado en los párrafos precedentes.

<sup>1</sup> *Admiralty Manual of Seamanship*, vol. 2, II, cap. 9, pp. 307 y 335, 1967.

<sup>2</sup> *Ibidem*, p. 334.

**Tabla 1**  
 Máxima tracción en toneladas que hace trabajar horizontalmente el ancla  
 Peso de cada paño: 1.337 kg

Altura al escobén (m)	Número de paños										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	1	5	11	19	30	44	60	78	99	122	148
20	0	3	8	14	22	33	45	58	74	91	111
25	0	2	6	11	18	26	35	46	59	73	88
30		2	5	9	15	21	29	38	49	61	73
35		1	4	8	12	18	25	33	42	52	63
40		1	3	6	11	16	22	28	36	45	55
45		1	3	5	9	14	19	25	32	40	48
50	0	2	5	8	12	17	22	29	36	43	43
55	0	2	4	7	11	15	20	26	32	39	39
60			1	3	6	10	14	18	23	29	36
65			1	3	5	9	12	17	21	27	33
70			1	3	5	8	11	15	20	25	30
75			0	2	4	7	10	14	18	23	28
80			0	2	4	6	9	13	17	21	26
85				1	3	6	9	12	15	20	24
90				1	3	5	8	11	14	18	23
95				1	3	5	7	10	13	17	21
100				1	2	4	7	9	12	16	20
105				0	2	4	6	9	12	15	19
110				0	2	3	6	8	11	14	18
115					1	3	5	7	10	13	17
120					1	3	5	7	9	12	16
125					1	2	4	6	9	12	15
130					0	2	4	6	8	11	14
135					0	2	3	5	8	10	13
140						1	3	5	7	10	12
145						1	3	5	7	9	12
150						1	2	4	6	9	11
155						1	2	4	6	8	11
160						0	2	3	5	8	10
165						0	1	3	5	7	9
170							1	3	5	7	9
175							1	2	4	6	8
180							1	2	4	6	8
185							0	2	4	5	8
190							0	2	3	5	7
195								1	3	5	7
200								1	3	4	6
205								1	2	4	6
210								0	2	4	5
215								0	2	3	5
220								0	1	3	5
225									1	3	4
230									1	3	4
235									1	2	4
240									0	2	3
245									0	2	3
250										1	3
255										1	3
260										1	2
265										0	2
270										0	2

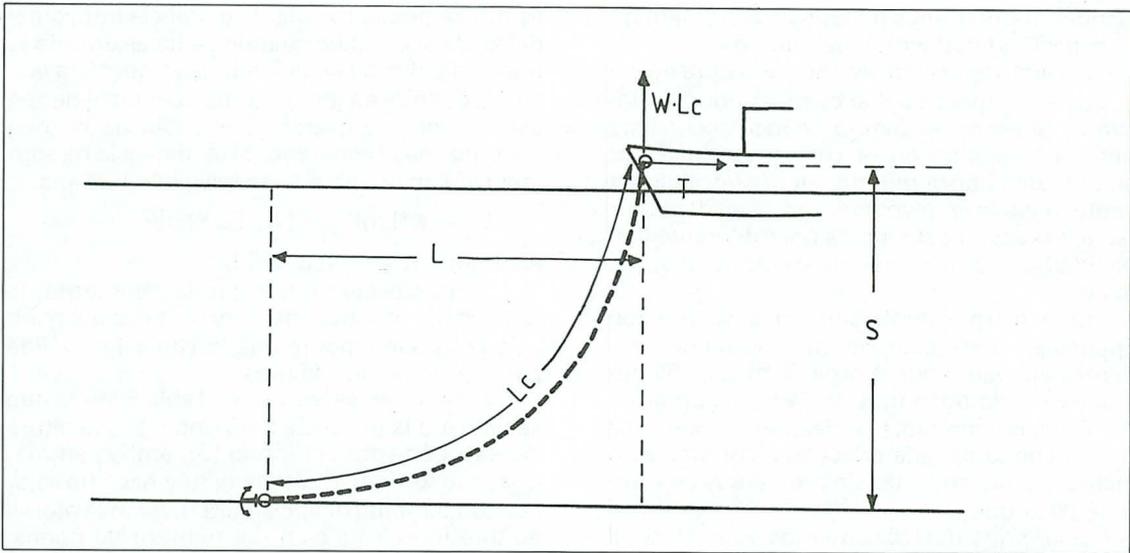


Figura 1

Tabla 2

Número de paños en el fondo	Soporte adicional (kg)
1	891
2	1.783
3	2.374
4	3.565
5	4.457
6	5.348
7	6.239
8	7.131
9	8.022

Por ejemplo, si el escobén está a 43 metros sobre el fondo, se requieren 8 paños para permitir que una tracción de 10 veces el peso del ancla actúe horizontalmente sobre ésta. Si fueran arriados 11 paños, los tres paños adicionales descansarían sobre el fondo, incrementando la capacidad de aguante en un 10 por ciento, aproximadamente (2.374 kg según la Tabla 2), lo cual concuerda con lo expresado en el manual en cuestión<sup>3</sup>, que dice que hay muy poca ventaja en arriar más cadena que la necesaria para producir la máxima tracción del ancla y que esta cadena adicional aumenta el campa-

neo, a menos que sea usada la segunda ancla para controlarlo.

Por el contrario, si sólo fueran arriados 5 paños, el ancla podría soportar hasta 11 toneladas, aproximadamente, antes que la cadena comience a levantarla.

También puede observarse que la recomendación de emplear un número de paños equivalente a dos veces la raíz cuadrada de la profundidad medida en brazas asegura que el ancla podrá ser traccionada al máximo de su capacidad en forma correcta. Esta es la fórmula recomendada por el manual mencionado<sup>4</sup>. Sin embargo, no es válida para todas las unidades.

Asimismo, se reitera que la capacidad de soporte del ancla depende de la calidad del fondo, por lo que todas las cifras sirven sólo como referencia de las magnitudes de las fuerzas involucradas, no reemplazando en modo alguno al guardia de cadena, y si se tiene cadena y espacio disponibles, más vale quedar con más cadena que con menos.

La tracción horizontal del buque sobre la cadena dependerá del estado del mar, la corriente y el viento.

Si la ola es corta, no tendrá mayor incidencia. Si—por el contrario—es larga (con respecto a la eslora) o con rompiente, empujará al buque produciendo lazcones y su altura levantará el

<sup>3</sup> Ibídem, p. 334.

<sup>4</sup> Ibídem, p. 334.

escobén sobre la línea de reposo, incrementando la profundidad virtual de fondeo.

El viento ejerce presión sobre la obra muerta, que es proporcional al cuadrado de la velocidad y al seno del ángulo de incidencia. Esta fuerza es ejercida en el centro de gravedad del área de la obra muerta, en la dirección del viento relativo y pivoteada en la cadena. La Tabla 3 muestra esta fuerza para diferentes intensidades y direcciones de viento relativo de un DLG.

En nuestro ejemplo anterior, si se está con 5 paños en el escobén, podrá soportar sin problemas un viento por la proa de más de 30 nudos, pero sólo poco más de 14 por la amura.

De la misma tabla se desprende que si se fondea con la cadena adecuada, con una sola ancla se puede soportar sin problemas un viento de 20 nudos.

Queremos destacar que los valores de la fuerza ejercida por el viento por la proa (inclinación cero) de la Tabla 3 son mayores que los mostrados en el manual ya aludido<sup>5</sup>. Esto puede deberse a que para el cálculo de ella fue utilizado un modelo de paralelepípedo, en vez de uno con cantos redondeados y amuras finas, lo que justifica resultados más pesimistas.

No es necesario justificar que si no hay ni viento ni corriente la cadena estará a pique. Sin embargo, a medida que el viento y la corriente comienzan a traccionar el buque, la cadena se

estira. Se puede calcular la distancia horizontal del ancla al escobén cuando se ha alcanzado la tracción indicada en la Tabla 1, ya que esta distancia definirá en mejor forma cuando el buque esté próximo a garrear y el radio de borneo máximo sea el esperado. Esta distancia ha sido tabulada en la Tabla 4, en base a la fórmula:

$$L = K \cdot \ln(K) + [1 + (Lc/K)^2]^{1/2}$$

en donde:  $K = 1/2(Lc^2 - S^2)/S$

Es interesante notar que la geometría de la catenaria es independiente del peso del paño y de la tracción, por lo que la Tabla 4 es válida para todo tipo de cadenas.

Por último, se incluye la Tabla 5, en la que se muestra la distancia horizontal (L) y la altura del escobén sobre el fondo (S), ambas en metros, que forman la catenaria que hace trabajar horizontalmente el ancla para diversos valores de tracción en función del número de paños. Hay que tener en cuenta que si la tracción sobrepasa la capacidad de agarre del ancla, ésta garreará y el exceso de cadena será arrastrado por el fondo, contribuyendo de acuerdo a lo indicado en la Tabla 2.

En la figura 2 se muestra una cadena cuya catenaria es tangente al fondo marino. En dicho punto se ha hecho firme el ancla y puesto que la tensión de la cadena es ejercida en el sentido de la cadena, la fuerza en contra del arganeo es horizontal.

**Tabla 3**  
Fuerza en toneladas ejercida por el viento sobre un DLG

Velocidad (nudos)	Dirección viento, relativa (grados)									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
5	0.24	0.5	0.7	0.9	1.0	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5
10	0.96	2.0	2.9	3.7	4.5	5.1	5.5	5.8	5.9	5.8
15	2.1	4.4	6.5	8.4	10	11	12	13	13	13
20	3.9	7.8	12	15	18	20	22	23	24	23
25	6.0	12	18	23	28	32	34	36	37	36
30	8.7	18	26	34	40	46	50	52	53	52
35	12	24	35	46	55	62	68	71	72	71
40	15	31	46	60	72	81	88	93	94	93
45	20	40	59	76	91	103	112	117	119	118
50	24	49	72	94	112	127	138	145	147	145
55	29	59	87	113	135	153	167	175	178	176
60	35	70	104	135	161	183	199	209	212	209

<sup>5</sup> *Ibidem*, p. 336.

**Tabla 4**  
 Distancia horizontal del ancla al escobén con la máxima tracción  
 que hace trabajar horizontalmente al ancla

Altura al escobén (m)	Número de paños										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	22	52	81	109	136	164	192	219	247	274	302
20	16	50	79	108	136	163	191	219	246	274	302
25	8	47	77	106	134	162	190	218	246	273	301
30		43	75	104	133	161	189	217	245	273	301
35		39	72	102	131	160	188	216	244	272	300
40		33	69	100	130	158	187	215	243	271	299
45		26	65	97	127	157	185	214	242	270	298
50		16	61	94	125	155	184	212	241	269	297
55			55	91	122	152	182	211	239	268	296
60			49	87	119	150	180	209	238	266	295
65			42	82	116	147	178	207	236	265	293
70			34	77	112	144	175	205	234	263	292
75			24	72	108	141	172	203	232	261	290
80			11	66	104	138	170	200	230	259	288
85				59	99	134	166	197	228	257	286
90				51	94	130	163	195	225	255	284
95				42	88	126	160	192	222	253	282
100				32	82	121	156	188	220	250	280
105				19	75	116	152	185	217	247	278
110					68	111	147	181	213	245	275
115					60	105	143	177	210	242	272
120					50	99	138	173	207	239	270
125					40	92	133	169	203	235	267
130					28	85	127	165	199	232	264
135					12	77	121	160	195	228	261
140						68	115	155	191	225	257
145						59	108	149	186	221	254
150						48	101	144	182	217	250
155						36	94	138	177	212	246
160						21	85	132	171	208	242
165							76	125	166	203	238
170							67	118	160	198	234
175							56	110	154	193	230
180							44	102	148	188	225
185							30	94	141	183	220
190							13	85	134	177	215
195								75	127	171	210
200								64	119	164	205
205								52	111	158	199
210								39	102	151	193
215								23	93	144	187
220									83	136	181
225									72	128	174
230									60	119	167
235									47	110	160
240									32	101	153
245									13	91	145
250										80	137
255										68	128
260										55	119
265										41	109
270										24	99

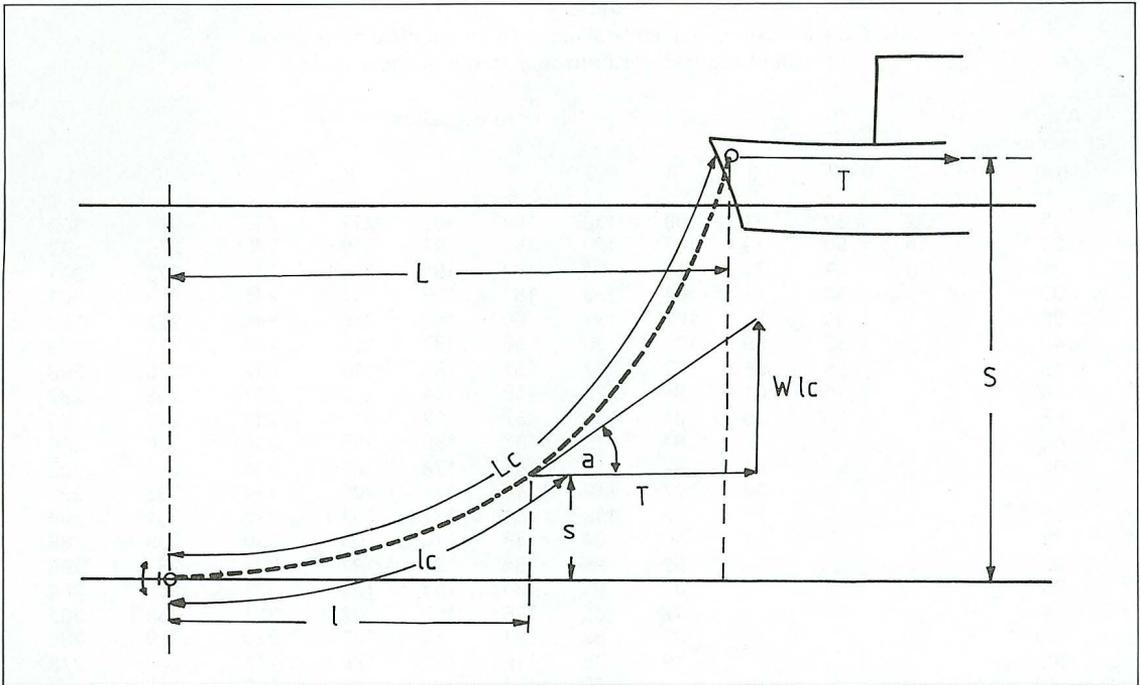


Figura 2

Tabla 5  
Profundidad máxima para traccionar el ancla horizontalmente en función del número de paños

Nº de paños	Tracción (toneladas)											
	2.643		7.929		13.215		18.501		23.787		26.430	
	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S
2	48	23	54	9								
3	65	44	79	20	81	12						
4	78	68	102	33	106	21	107	15	108	12	108	11
5	89	93	124	50	131	33	133	24	134	19	135	17
6	98	118	144	69	155	46	159	34	160	27	161	24
7	106	145	163	89	178	61	183	47	186	36	187	33
8	113	171	181	110	199	77	207	59	211	47	212	43
9	119	197	195	132	220	114	231	73	236	59	238	53
10	125	224	209	155	240	114	253	88	260	72	262	65
11	130	251	222	179	258	134	275	105	283	85	286	78

S = Altura del escobén sobre el ancla, en metros

L = Distancia horizontal escobén-ancla, en metros.

En cualquier punto, la tangente a la cadena forma un ángulo  $a$  con la horizontal, regido por la descomposición de fuerzas  $T$  y  $W*lc$ , en donde:

$T$  = tracción horizontal ejercida por el buque, que es constante e igual a la fuerza soportada por el ancla.

$W$  = peso de la cadena por unidad de longitud.  
 $lc$  = longitud de cadena desde el punto de reposo en el fondo; es decir, desde el ancla.

Por lo tanto,  $W*lc$  es el peso de la cadena que cuelga bajo el punto considerado. La dirección es hacia arriba pues muestra la fuerza ne-

cesaria para producir el equilibrio, formando el triángulo de fuerza que es semejante al formado por el incremento diferencial de cadena y las componentes horizontal y vertical de este incremento.

De esta forma podemos deducir que:

$$d(lv) = d(lc) * \text{seno}(a)$$

$$d(lh) = d(lc) * \text{coseno}(a)$$

Para mayor simplicidad denominaremos  $ds = d(lv)$ ,  $dlc = d(lc)$ ,  $dl = d(lh)$ .

Del triángulo de fuerza se tiene que:

$$\text{seno}(a) = W * lc / [(W * lc)^2 + T^2]^{1/2}$$

$$\text{coseno}(a) = T / [(W * lc)^2 + T^2]^{1/2}$$

Reemplazando en la ecuación diferencial:

$$ds = W * lc / [(W * lc)^2 + T^2]^{1/2} * dlc$$

$$dl = T / [(W * lc)^2 + T^2]^{1/2} * dlc$$

Integrando de cero a  $Lc$ :

$$S = [(W * Lc)^2 + T^2]^{1/2} * Lc$$

$$L = K * Ln(K + [1 + (Lc/K)^2]^{1/2}),$$

en donde:  $K = 1/2(Lc^2 - S^2)/S$

En cuanto a la Tabla 3, ésta fue calculada con la fórmula:

$$F = 38[Af * \text{cos}(R) + Al * \text{seno}(R)]V^2 * 10^{-6}$$

en donde:

$F$  = fuerza en toneladas ejercida por el viento sobre el buque.

$R$  = dirección del viento relativo, en nudos

$Af$  = sección frontal del buque, en metros cuadrados.

$Al$  = sección lateral del buque, en metros cuadrados.

