

Breve Historia de la Navegación Astronómica: Sextantes, relojes y GPS

J. J. Ruiz-Lorenzo

Dep. Física & ICCAEx (Univ. de Extremadura)

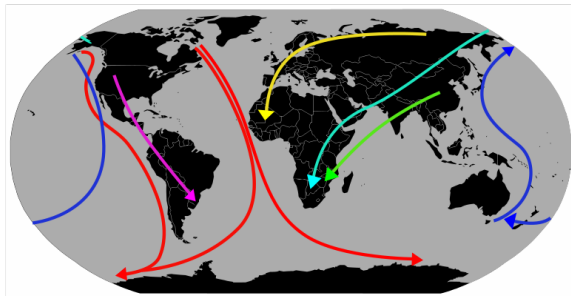
http://www.eweb.unex.es/eweb/fisteor/juan/juan_talks.html

I.E.S. San Fernando
Badajoz, 25 de Abril de 2019

- ¿Cómo migran las aves?
- Los Vikingos.
- La brújula.
- Cuadrante y Primeras Tablas.
- La estrella Polar.
- Algunos viajes.
- Un poco de Astronomía.
 - ① Trigonometría plana y esférica.
 - ② Sistemas de coordenadas: Ecuatoriales y horizontales.
 - ③ Almanaque Náutico.
 - ④ El triángulo de posición.
- Octantes y sextantes.

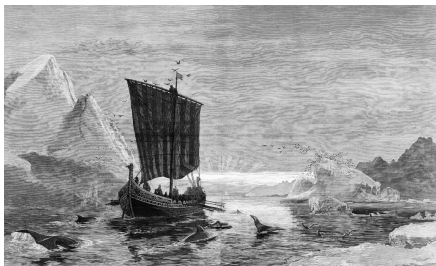
- El problema de la longitud.
 - ① El método de Galileo.
 - ② Las distancias Lunares.
 - ③ Los relojes de Harrison.
- Las líneas de posición. Método de St. Hillaire.
- La constelación GPS.
- Bibliografía.

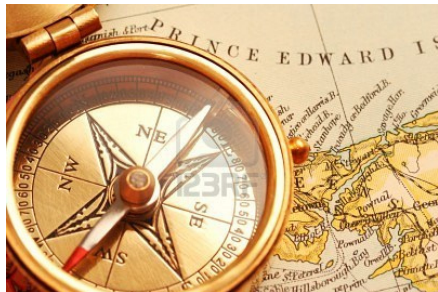
Migración de las Aves



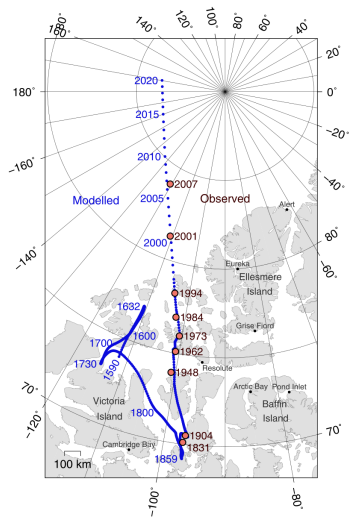
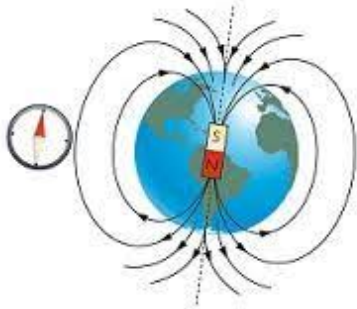
<i>Oenanthe oenanthe</i>	—	Northern Wheatear
<i>Sterna paradisaea</i>	—	Arctic Tern
<i>Falco amurensis</i>	—	Amur Falcon
<i>Puffinus tenuirostris</i>	—	Short-tailed Shearwater
<i>Philomachus pugnax</i>	—	Ruff
<i>Buteo swainsoni</i>	—	Swainson's Hawk

Vikingos





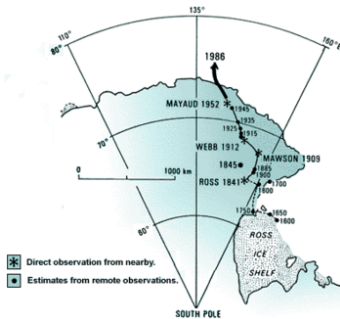
Magnetismo Terrestre



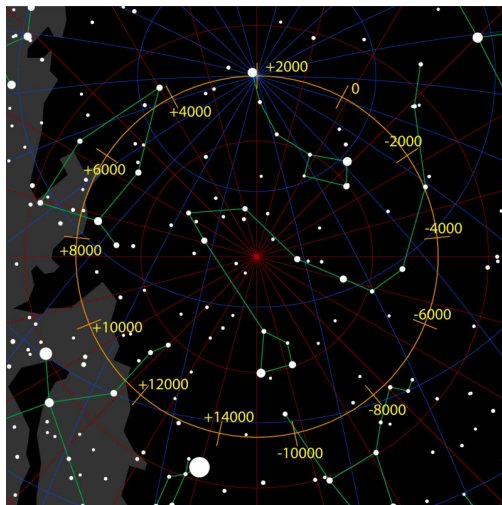
Exploración Polo Sur: Roald Amundsen



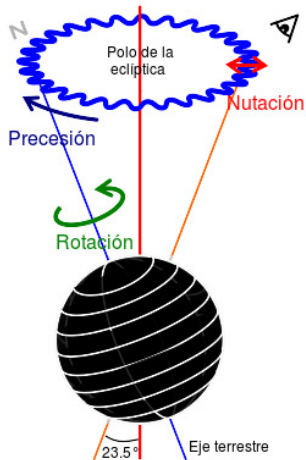
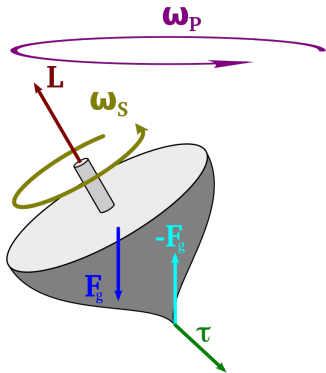
Exploración Polo Sur: R. Amundsen



Estrella Polar



Estrella Polar



Abraham Zacuto (1452-1515)



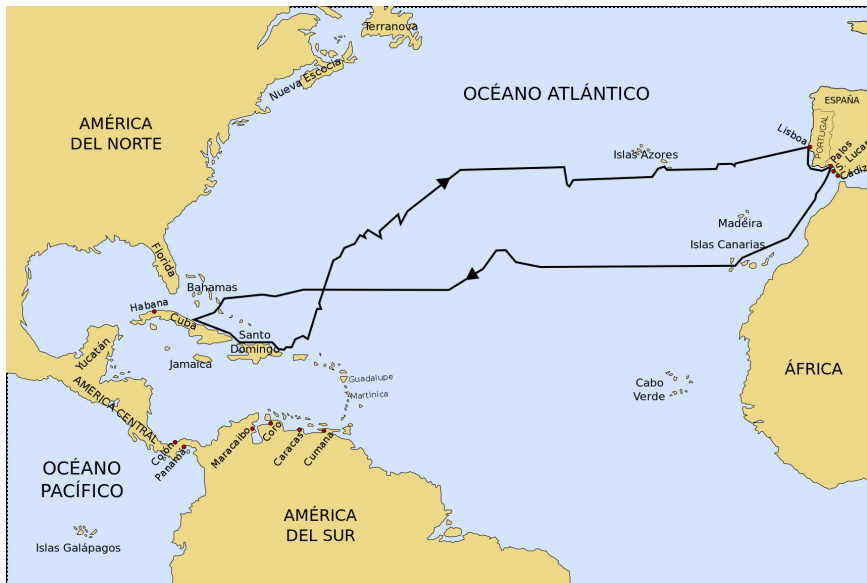
Tablas de Zacuto y Cuadrante

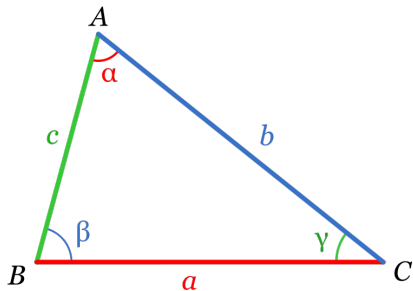
martius aprilis
Tabula ascendentis et duodecim domorum

bices milium	martius												aprilis											
	bices minuta												bices minuta											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	12	3	26	20	0	7	1	1	53	5	29	25	21	28	1	1	53	5	29	25	21	28
2	0	4	13	4	27	21	0	8	2	2	56	6	30	26	22	29	2	2	56	6	30	26	22	29
3	0	8	13	5	28	22	2	9	3	3	59	6	31	27	23	30	3	3	59	6	31	27	23	30
4	0	11	14	6	29	23	3	10	4	4	62	7	2	28	24	31	4	4	62	7	2	28	24	31
5	0	15	15	7	30	24	4	11	5	5	65	7	3	29	25	31	5	5	65	7	3	29	25	31
6	0	19	16	8	31	25	5	12	6	6	68	8	4	30	26	2	6	6	68	8	4	30	26	2
7	0	22	17	9	2	26	6	12	7	7	71	8	5	31	27	3	7	7	71	8	5	31	27	3
8	0	26	17	9	3	27	7	13	8	8	74	8	6	2	28	4	8	8	74	8	6	2	28	4
9	0	30	18	10	4	28	8	14	9	9	77	9	7	3	29	5	9	9	77	9	7	3	29	5
10	0	33	19	11	4	29	9	14	10	10	80	9	8	4	30	6	10	10	80	9	8	4	30	6
11	0	37	19	12	5	30	9	15	11	11	83	10	9	5	31	7	11	11	83	10	9	5	31	7
12	0	41	20	12	6	31	10	16	12	12	86	10	10	6	2	8	12	12	86	10	10	6	2	8
13	0	44	21	13	7	3	11	17	13	13	89	11	11	7	3	9	13	13	89	11	11	7	3	9
14	0	48	22	14	8	3	12	18	14	14	92	11	12	8	4	9	14	14	92	11	12	8	4	9
15	0	51	22	15	9	4	13	18	15	15	95	12	13	9	5	10	15	15	95	12	13	9	5	10
16	0	55	23	16	10	5	14	19	16	16	98	12	14	10	6	10	16	16	98	12	14	10	6	10
17	0	59	24	17	11	6	15	20	17	17	101	13	15	11	7	11	17	17	101	13	15	11	7	11
18	1	2	25	18	12	7	16	21	18	18	104	13	16	12	8	12	18	18	104	13	16	12	8	12
19	1	6	25	18	13	8	17	21	19	19	107	14	17	13	9	13	19	19	107	14	17	13	9	13
20	1	10	26	19	7	9	17	22	20	20	110	14	18	14	10	14	20	20	110	14	18	14	10	14
21	1	15	27	20	10	10	18	23	21	21	113	15	19	15	11	15	21	21	113	15	19	15	11	15
22	1	19	28	21	11	11	19	24	22	22	116	15	20	16	12	16	22	22	116	15	20	16	12	16
23	1	20	28	22	12	12	20	24	23	23	119	16	21	17	13	17	23	23	119	16	21	17	13	17
24	1	24	29	22	13	13	21	25	24	24	122	16	22	18	14	18	24	24	122	16	22	18	14	18
25	1	28	30	23	14	14	22	26	25	25	125	17	23	19	15	19	25	25	125	17	23	19	15	19
26	1	31	30	24	15	15	23	27	26	26	128	17	24	20	16	20	26	26	128	17	24	20	16	20
27	1	35	31	25	16	16	24	27	27	27	131	18	25	21	17	21	27	27	131	18	25	21	17	21
28	1	38	2	25	17	17	24	28	28	28	134	18	26	22	18	22	28	28	134	18	26	22	18	22
29	1	42	3	26	18	18	25	29	29	29	137	19	27	23	19	23	29	29	137	19	27	23	19	23
30	1	46	3	27	19	19	26	29	30	30	140	19	28	24	20	24	30	30	140	19	28	24	20	24
31	1	49	4	28	20	20	27	30	31	31	143	20	29	25	21	25	31	31	143	20	29	25	21	25

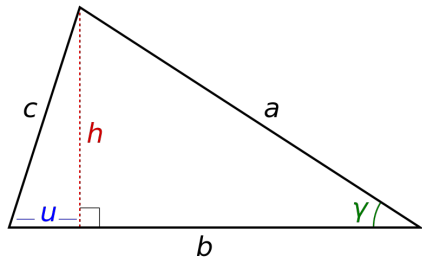


Primer Viaje de Colón (3/8/1492-15/3/1493)



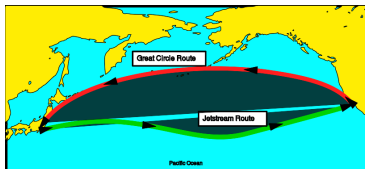
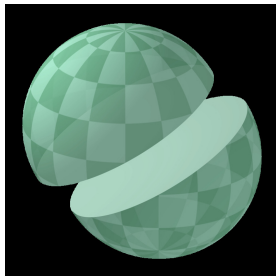


$$\frac{a}{\text{sen } \alpha} = \frac{b}{\text{sen } \beta} = \frac{c}{\text{sen } \gamma}$$

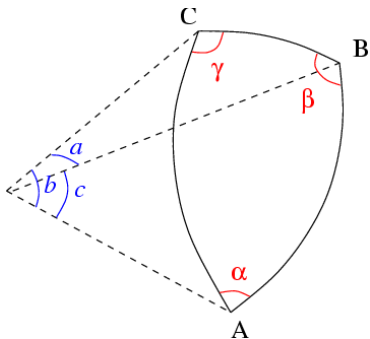
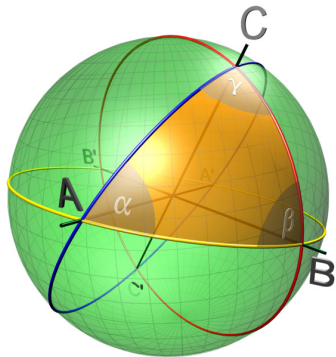


$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$

Trigonometría Esférica: Círculo Máximo



Trigonometría Esférica: Triángulos Esféricos

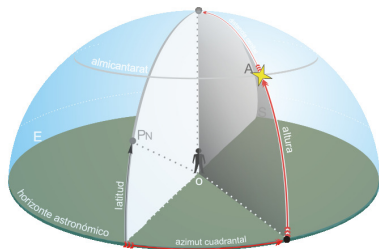
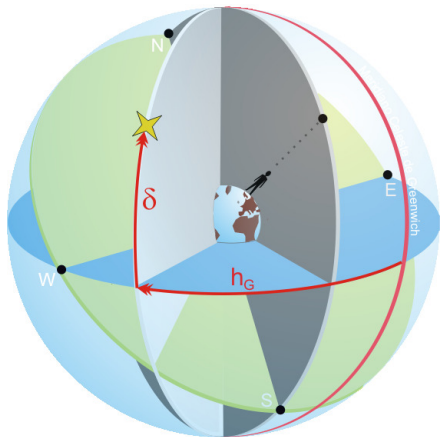


$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos \gamma$$

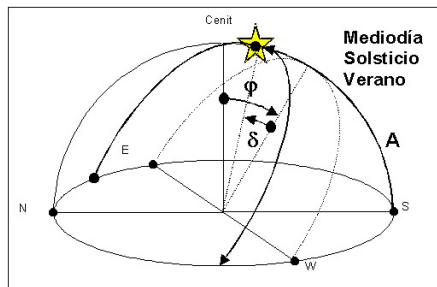
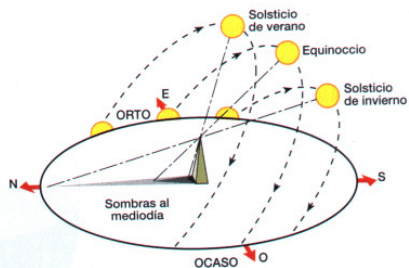
$$\frac{\sin a}{\sin \alpha} = \frac{\sin b}{\sin \beta} = \frac{\sin c}{\sin \gamma}$$

$$\cot a \sin b = \cos b \cos C + \sin C \cot A$$

Coordenadas ecuatoriales y azimutales



Altura del Sol al mediodía



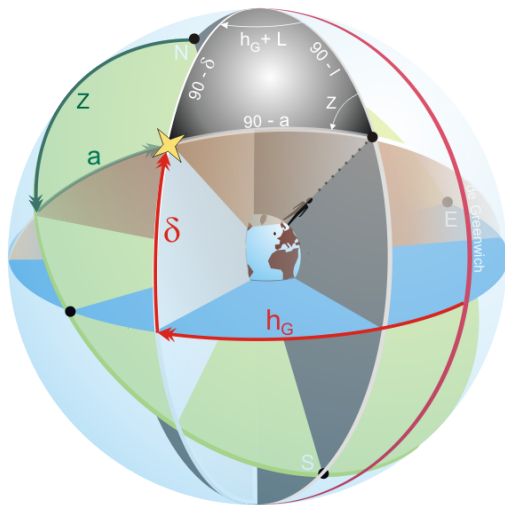
Si $l = \phi > \delta$:

$$90 - a = l - \delta$$

Ejemplo. 25/4/2019. Si $l = 40^\circ$ N y $L = 8^\circ$ W, entonces el Sol pasa por el meridiano a las 12:30 UTC ($\delta = 13^\circ 11.6'$) con altura $a = 63^\circ 11.6'$.

Estrella Polar: $\delta \simeq 90^\circ$. Entonces $l = a$

Triángulo de Posición



Triángulo de Posición

- 1 Asumimos conocidas la latitud l y la longitud L (situación de estima o estimada).
- 2 Conocido el tiempo, conocemos δ y $h_G + L$ (anuario).
- 3 Podemos calcular la altura, mediante la fórmula de los cosenos:

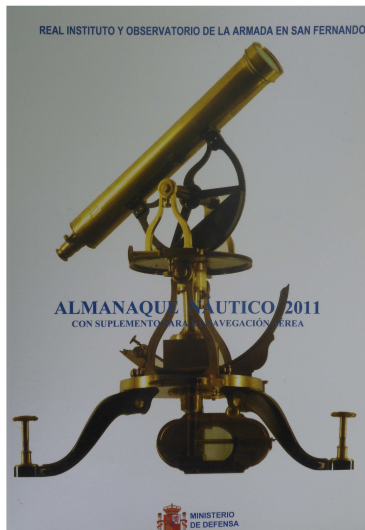
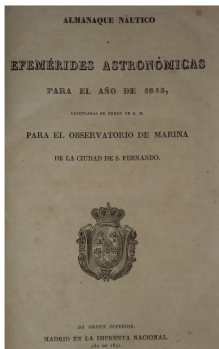
$$\cos(90-a) = \cos(90-\delta) \cos(90-l) + \sin(90-\delta) \sin(90-l) \cos(h_G + L)$$

$$\sin a = \sin \delta \sin l + \cos \delta \cos l \cos(h_G + L)$$

- 4 Y el azimut (NESW), mediante la fórmula de las cotangentes:

$$\cot(90-\delta) \sin(90-l) = \cos(h_G + L) \cos(90-l) + \sin(h_G + L) \cot Z$$

$$\cot Z = \frac{\tan \delta \cos l - \sin l \cos(h_G + L)}{\sin(h_G + L)}$$



Almanaque Náutico

14 ENERO. 1792. XI

Distancias del centro de la ☉ al ☽ y Estrellas occidentales de ella.

Día	Nombres de las Estrellas	ah 34' sr''		sh 34' sr''		sh 34' sr''		rh 34' sr''	
		o	//	o	//	o	//	o	//
1	El Sol.	89. 5. 2	85. 30. 45	97. 55. 45	99. 20. 25				
2		106. 22. 2	107. 42. 2	110. 29. 5					
3		117. 20. 59	118. 42. 17	120. 3. 55	121. 25. 24				
1	Fomalhaut.	48. 33. 0	49. 32. 30	51. 30. 21	52. 29. 35				
2		39. 9. 18	40. 29. 43	61. 30. 17	62. 30. 38				
3		69. 55. 26	71. 16. 26	73. 37. 28	75. 58. 31				
3	de Pegaso.				57. 52. 38				
4				67. 38. 38	69. 3. 25				
5				78. 50. 44	80. 14. 55				
5	α de Aries.	43. 38. 35	45. 3. 3	46. 37. 46	47. 58. 44				
6		55. 0. 23	56. 26. 23	57. 52. 36	59. 18. 56				
7									
7	Aldebaran.				52. 23. 49				
8					34. 19. 45				
9					44. 49. 22				
9	10	44. 49. 22	46. 19. 43	47. 50. 12	49. 20. 45				
10		56. 55. 28	58. 26. 47	59. 58. 13	61. 29. 47				
11									
10	Pelux.			30. 45. 50	32. 11. 27				
11				42. 37. 48	45. 27. 47				
12				53. 35. 14	56. 34. 37				
13					50. 10. 32				
13	Regulo.				39. 11. 22				
14					29. 12. 22				
15					40. 3. 38				
15	16	40. 3. 38	41. 42. 33	42. 21. 30	46. 0. 43				
16		53. 21. 34	55. 2. 42	56. 44. 8	58. 25. 54				
17		66. 59. 48	68. 43. 38	70. 37. 34	72. 11. 39				
17	La Espigada Virgo.			31. 3. 39	31. 29. 16				
18				45. 27. 24	47. 15. 40				
19				56. 26. 7	58. 19. 55				
20			71. 27. 43	73. 9. 46	75. 1. 56	76. 54. 11			
25	El Sol.			41. 56. 8	42. 50. 18				
26				54. 18. 25	55. 49. 20				
27				64. 47. 0	66. 15. 17				
28				76. 13. 34	77. 49. 10				
29				86. 16. 48	87. 40. 29				
30				98. 42. 22	100. 4. 18				
31						70. 40. 47	72. 36. 11		
30	Fomalhaut.								
31									

VIERNES 31 DE JULIO DE 1899

221

UT	SOL			LUNA			PHE			Lat	SOL			LUNA		
	SOL			LUNA			PHE				SOL			LUNA		
	SOL			LUNA			PHE				SOL			LUNA		
	SOL			LUNA			PHE				SOL			LUNA		
1	178	258	110	69	553	100	24	578	60	20	32	21	33	22	10	49
2	183	261	111	70	554	101	24	579	61	20	32	21	33	22	10	49
3	188	264	112	71	555	102	24	580	62	20	32	21	33	22	10	49
4	193	267	113	72	556	103	24	581	63	20	32	21	33	22	10	49
5	198	270	114	73	557	104	24	582	64	20	32	21	33	22	10	49
6	203	273	115	74	558	105	24	583	65	20	32	21	33	22	10	49
7	208	276	116	75	559	106	24	584	66	20	32	21	33	22	10	49
8	213	279	117	76	560	107	24	585	67	20	32	21	33	22	10	49
9	218	282	118	77	561	108	24	586	68	20	32	21	33	22	10	49
10	223	285	119	78	562	109	24	587	69	20	32	21	33	22	10	49
11	228	288	120	79	563	110	24	588	70	20	32	21	33	22	10	49
12	233	291	121	80	564	111	24	589	71	20	32	21	33	22	10	49
13	238	294	122	81	565	112	24	590	72	20	32	21	33	22	10	49
14	243	297	123	82	566	113	24	591	73	20	32	21	33	22	10	49
15	248	300	124	83	567	114	24	592	74	20	32	21	33	22	10	49
16	253	303	125	84	568	115	24	593	75	20	32	21	33	22	10	49
17	258	306	126	85	569	116	24	594	76	20	32	21	33	22	10	49
18	263	309	127	86	570	117	24	595	77	20	32	21	33	22	10	49
19	268	312	128	87	571	118	24	596	78	20	32	21	33	22	10	49
20	273	315	129	88	572	119	24	597	79	20	32	21	33	22	10	49
21	278	318	130	89	573	120	24	598	80	20	32	21	33	22	10	49
22	283	321	131	90	574	121	24	599	81	20	32	21	33	22	10	49
23	288	324	132	91	575	122	24	600	82	20	32	21	33	22	10	49
24	293	327	133	92	576	123	24	601	83	20	32	21	33	22	10	49
25	298	330	134	93	577	124	24	602	84	20	32	21	33	22	10	49
26	303	333	135	94	578	125	24	603	85	20	32	21	33	22	10	49
27	308	336	136	95	579	126	24	604	86	20	32	21	33	22	10	49
28	313	339	137	96	580	127	24	605	87	20	32	21	33	22	10	49
29	318	342	138	97	581	128	24	606	88	20	32	21	33	22	10	49
30	323	345	139	98	582	129	24	607	89	20	32	21	33	22	10	49
31	328	348	140	99	583	130	24	608	90	20	32	21	33	22	10	49
32	333	351	141	100	584	131	24	609	91	20	32	21	33	22	10	49
33	338	354	142	101	585	132	24	610	92	20	32	21	33	22	10	49
34	343	357	143	102	586	133	24	611	93	20	32	21	33	22	10	49
35	348	360	144	103	587	134	24	612	94	20	32	21	33	22	10	49
36	353	363	145	104	588	135	24	613	95	20	32	21	33	22	10	49
37	358	366	146	105	589	136	24	614	96	20	32	21	33	22	10	49
38	363	369	147	106	590	137	24	615	97	20	32	21	33	22	10	49
39	368	372	148	107	591	138	24	616	98	20	32	21	33	22	10	49
40	373	375	149	108	592	139	24	617	99	20	32	21	33	22	10	49
41	378	378	150	109	593	140	24	618	100	20	32	21	33	22	10	49
42	383	381	151	110	594	141	24	619	101	20	32	21	33	22	10	49
43	388	384	152	111	595	142	24	620	102	20	32	21	33	22	10	49
44	393	387	153	112	596	143	24	621	103	20	32	21	33	22	10	49
45	398	390	154	113	597	144	24	622	104	20	32	21	33	22	10	49
46	403	393	155	114	598	145	24	623	105	20	32	21	33	22	10	49
47	408	396	156	115	599	146	24	624	106	20	32	21	33	22	10	49
48	413	399	157	116	600	147	24	625	107	20	32	21	33	22	10	49
49	418	402	158	117	601	148	24	626	108	20	32	21	33	22	10	49
50	423	405	159	118	602	149	24	627	109	20	32	21	33	22	10	49
51	428	408	160	119	603	150	24	628	110	20	32	21	33	22	10	49
52	433	411	161	120	604	151	24	629	111	20	32	21	33	22	10	49
53	438	414	162	121	605	152	24	630	112	20	32	21	33	22	10	49
54	443	417	163	122	606	153	24	631	113	20	32	21	33	22	10	49
55	448	420	164	123	607	154	24	632	114	20	32	21	33	22	10	49

Triángulo de Posición: Ejemplo

Tiempo: 10 UTC. Estima: $l = 40^\circ \text{ N}$ y $L = 8^\circ \text{ W} = -8^\circ$.

JUEVES 25 DE ABRIL DE 2019

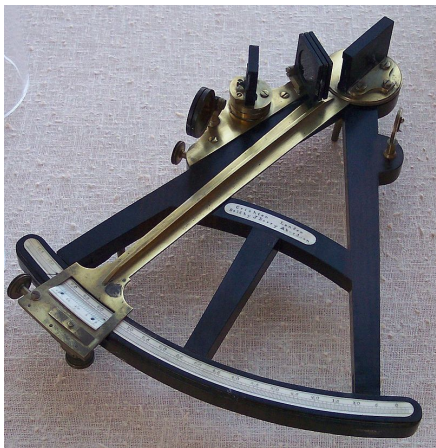
Procivil, S.L.

UT	SOL			LUNA			PHE			Lat	SOL			LUNA			
	SD: 15:9 PMG: 11 ^h 58 ^m :0			SD: 15:1 Edad: 19 ^h 6 ^m PMG: 4 ^h 55 ^m :8			4 ^h :55:3 12 ^h :55:1 20 ^h :54:9 R: 50 ^m				Náutico	Civil	Salida	Salida		Puesta	
	hG	◊	Dec	hG	◊	Dif	Dec	Dif	Hora					R*	Hora	R*	
	°	'	''	°	'	''	°	'	''					h	m	h	m
0	180	28.4	+13 1.4	288	34.3	-22 7.2	7.2	60 N	2 14	3 26	4 16	1 50	41	8 3	62		
1	195	28.5	2.2	303	3.5	102 6.8	4 58	58	35	38	4 24	32	43	20	61		
2	210	28.6	3.0	317	32.6	101 6.4	5 56	56	52	48	4 31	18	43	35	59		
3	225	28.7	3.9	332	1.8	102 5.8	6 54	54	3 6	57	4 37	5	44	48	58		
4	240	28.8	4.7	346	31.1	103 5.1	7 52	52	18	4 5	4 43	0 54	45	59	57		
5	255	28.9	+13 5.5	1 0.4	103 -22 4.3	8 50	50	50	3 28	4 13	4 48	0 44	45	9 9	56		
6	270	29.0	+13 6.3	15 29.7	103 -22 3.4	9 45	45	45	3 49	4 28	4 59	0 23	47	9 29	56		
7	285	29.1	7.1	29 59.0	103 2.3	10 40	40	40	4 5	40	5 8	6	48	46	54		
8	300	29.2	7.9	44 28.4	104 1.2	11 35	35	35	18	50	5 16	***	***	60	53		
9	315	29.3	8.8	58 57.9	105 -21 59.9	12 30	30	30	29	58	5 23	***	***	10 12	53		
10	330	29.4	9.6	73 27.3	104 58.6	14 20	20	20	45	5 12	5 35	***	***	33	52		

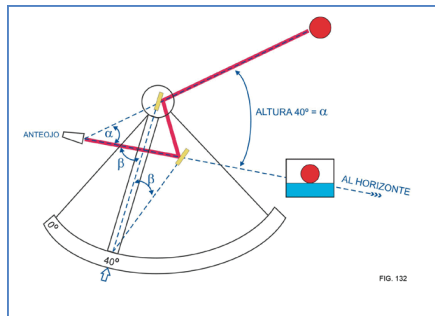
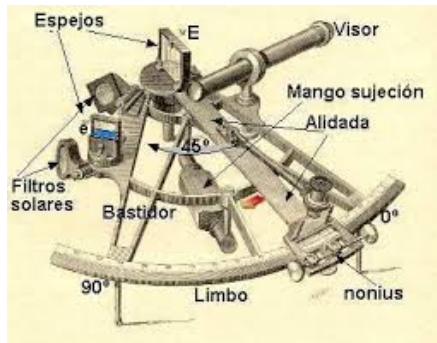
Anuario: $h_G = 330^\circ 29.4'$, $\delta = 13^\circ 9.6'$.

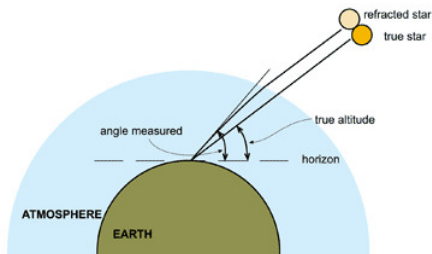
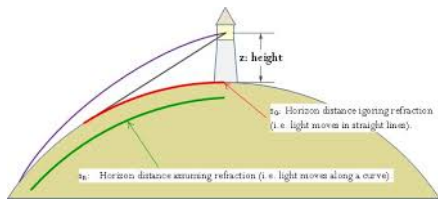
Resultado: $a_e = 47^\circ 33.9'$, $Z = 118.5^\circ$ (NESW).

Octantes y Sextantes



Sextantes





+Paralaje+Semi-Diámetro:

$$a_v = a_{\text{obs}} + \text{Refr} + \text{Dip} + \text{Paralaje} + \text{SD}$$

Posteriormente compararemos a_v con a_e .

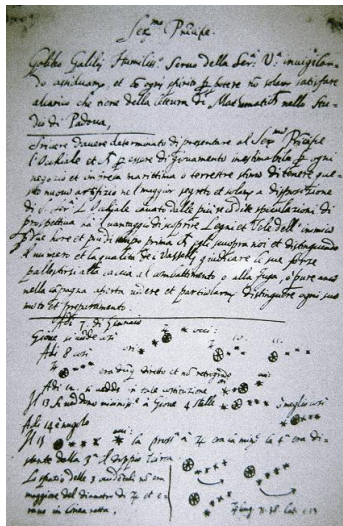
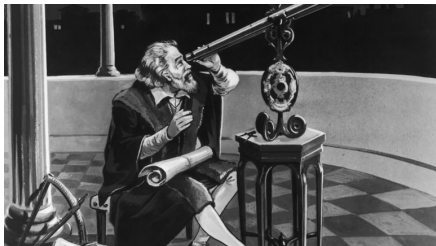
Motín del Bounty: Viaje de regreso de Bligh (28/4/1789-18/6/1789)



Viaje: 4000 nmi.

- Felipe III. Pensión vitalicia en ducados.
- Reino Unido
 - 1 20000 libras esterlinas (varios millones hoy) si el error $< 30'$.
 - 2 15000 libras si el error $< 40'$.
 - 3 10000 libras si el error $< 60'$.

Galileo y los satélites de Júpiter





Galileanos: Io, Europa, Ganímedes y Calixto.

Galileo y los satélites de Júpiter: Ejemplo

101

OBSERVATIONS
DE QUELQUES ECLIPSES
DES
SATELLITES DE JUPITER
Faites en même temps en divers lieux l'An 1703.

Immersion du premier Satellite dans l'ombre de Jupiter le 28 Aoult.

A Paris par une Lunete de 18 pieds à 11^h 55' 24"

A Bologne en Italie par une Lunete de 10 pieds,
Par M. Manfredi. 12 31 28

Difference des Meridiens entre Paris & Bologne. 36 "

Immersion du premier Satellite le 28. Aoult.

A Lyon, Par les RR.PP. Taillandier & Combes Jesuites. 12 4 54

A Bologne. 12 31 28

Difference des Meridiens entre Lyon & Bologne. 26 34

A Paris. 12 55 24

Difference des Meridiens entre Paris & Lyon. 9 20

80

TABLE DES IMMERSIONS
ET DES EMERSIONS
DU PREMIER SATELLITE DE JUPITER,
Pour l'Année 1714.

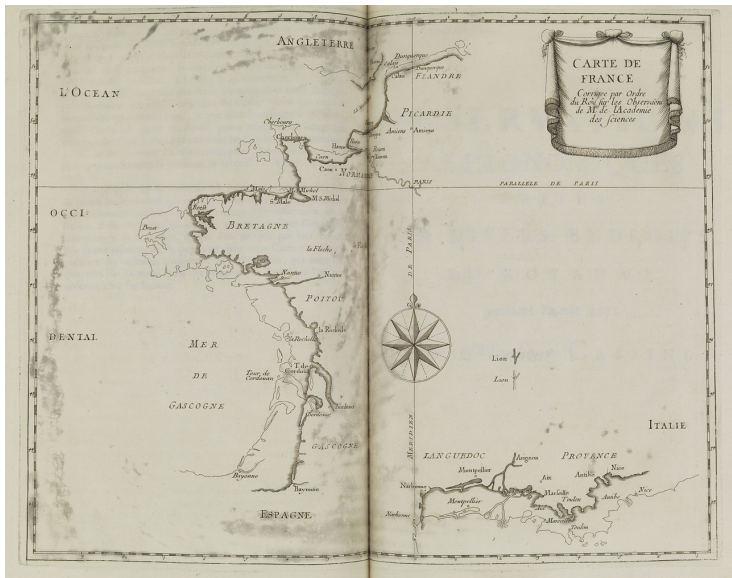
Janvier.			Fevrier.			Avril.		
Emerfions.			Emerfions.			Immerfions.		
Jou.	He.	Minu.	Jou.	He.	Minu.	Jou.	He.	Minu.
1	5	14 So.	7	9	9 So.	10	5	56 So.
3	11	42 M.	9	3	38 So.	12	0	25 So.
5	6	10 M.	11	10	6 M.	14	6	55 M.
7	0	38 M.	13	4	35 M.	16	1	24 M.
8	7	6 So.	14	11	4 So.	17	7	53 So.
10	1	34 So.	16	5	33 So.	19	2	22 So.
12	8	2 M.	18	0	2 So.	21	8	51 M.
14	2	30 M.	20	6	31 M.	23	3	20 M.
15	8	59 So.	22	1	0 M.	24	9	49 So.
17	3	17 So.	23	7	29 So.	26	4	18 So.
19	9	55 M.				28	10	47 M.
21	4	24 M.			Mars.	30	5	15 M.

Diferencia de longitudes (Paris-Bolonia) en tiempo: $36^m 4^s$, que en grados sexagesimales ($360^\circ \equiv 24^h$):

$$\Delta L = 9^\circ 1'$$

Real: $\Delta L = 9^\circ 0'$.

Galileo y los satélites de Júpiter



OBSERVACIONES

ASTRONOMICAS Y PHISICAS,

HECHAS DE ORDEN DE S.M.

EN LOS REYNOS DEL PERU,

Por D. JORGE JUAN y Samacilla, Comendador (que fue) de Aliaga, en el Orden de S. Juan, Capitan de la Compañia de Cavalteros Guardias Marinas, Director del Real Seminario de Nobles, del Consejo de S. M. en su Real Junta de Comercio y Moneda, de la Real Sociedad de Londres, de la Real Academia de las Ciencias de Berlin, Correspondiente de la de Paris, Consiliario de la de S. Fernando, y Embaxador extraordinario á la Corte de Marruecos: y D. ANTONIO DE ULLOA, Comendador de Ocaña en la de Santiago, de la Real Sociedad de Londres, y de las Reales Academias de las Ciencias de Stockolmo y Berlin: ambos Gefes de Esquadra de la Real Armada.

DE LAS QUALES SE DEDUCE LA FIGURA
y magnitud de la Tierra, y se aplica á la

Navegacion



65

LIBRO III.

De las Observaciones de Longitud.

CAPITULO I.

*De las Observaciones de las Inmersiones, y Emersiones
de los Satélites de Júpiter.*

Los caballeros del punto fijo



J. J. Ruiz-Lorenzo (UEx)



Navegación Astronómica

Los caballeros del punto fijo

El día 6 de Marzo de 1741 estando en *Lima D. Antonio de Ullóa*, y yo, tomamos con nuestro Quarto de círculo las alturas que se siguen.

Horas, minut. y seg. de la mañana, á que	los limbos del sol	ruvieron de altura,	y Horas, minutos, y segundos, de la tarde.
8 ^h 24' 05"	superior	37°	3 ^h 32' 39"
26 17	inferior		30 27
28 12	superior	38	28 33
30 25	inferior		26 20
32 17	superior	39	24 27
34 30	inferior		22 15

8 ^h 24' 05"	8 ^h 26' 17"	8 ^h 28' 12"
3 32 39	3 30 27	3 28 33
7 08 34	7 04 10	7 00 21
3 34 17	3 32 05	3 30 10 ¹ / ₂
11 56 22	11 58 22	11 58 22 ¹ / ₂

8 ^h 30' 25"	8 ^h 32' 17"	8 ^h 34' 30"
3 26 20	3 24 27	3 22 15
6 55 55	6 52 10	6 47 45
3 27 57 ¹ / ₂	3 26 05	3 23 52 ¹ / ₂
11 58 22 ¹ / ₂	11 58 22	11 58 22 ¹ / ₂

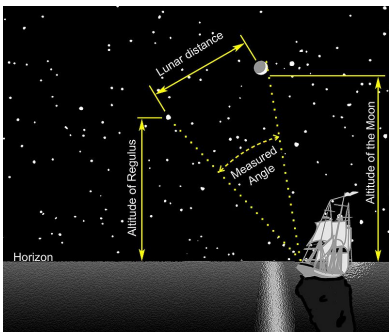
se tendrá la hora verdadera , en que sucedió la Emersion del primer Satélite de Júpiter

En la noche correspondiente . . .

11 38 31 $\frac{1}{4}$

Estas observaciones comparadas con las mismas , hechas en otros lugares , donde hay establecidos Observatorios , darán con la mayor precision las Longitudes Geográficas.

Distancias Lunares



Precomputed Lunar Distances

1

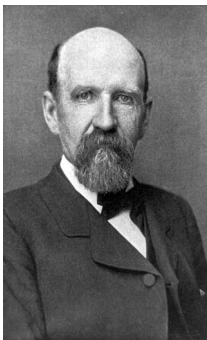
		SEPTEMBER 2015														
		+Nunki			+Altair			+Enif			+Fomalhaut			-Venus		
UT		°	'	PL	°	'	PL	°	'	PL	°	'	PL	°	'	PL
1	0	87	1.1	2090	71	3.4	2510	43	10.6	2610	40	13.8	3039	124	48.2	1998
3	0	88	52.3	2096	72	44.4	2508	44	49.2	2582	41	43.2	2976	122	54.6	2006
6	0	90	43.3	2108	74	25.4	2510	46	28.6	2559	43	13.9	2923	121	1.2	2017
9	0	92	34.1	2118	76	6.4	2512	48	8.4	2540	44	45.7	2877	119	6.1	2027
12	0	94	24.6	2128	77	47.3	2516	49	48.7	2525	46	18.5	2838	117	15.2	2038
15	0	96	14.9	2139	79	28.2	2522	51	29.3	2514	47	52.1	2806	115	22.7	2049
18	0	98	4.9	2151	81	8.9	2529	53	10.2	2506	49	26.4	2779	113	30.4	2062
21	0	99	54.5	2163	82	49.4	2537	54	51.3	2498	51	1.4	2756	111	38.4	2074
2	0	84	29.8	2547	56	32.5	2495	52	36.8	2737	37	6.1	2812	109	46.8	2088
3	0	86	9.9	2557	58	13.8	2493	54	12.6	2722	38	40.3	2771	107	55.5	2102
6	0	87	49.8	2570	59	55.2	2493	55	48.8	2711	40	15.4	2738	106	4.6	2115
9	0	89	29.4	2583	61	36.6	2496	57	25.2	2702	41	51.2	2712	104	14.0	2131
12	0	91	8.7	2597	63	17.9	2499	59	1.8	2695	43	27.6	2690	102	23.8	2145
15	0	92	47.6	2612	64	59.1	2503	60	38.6	2691	45	4.5	2672	100	34.0	2160
18	0	94	26.3	2629	66	40.3	2510	62	15.4	2690	46	41.7	2659	98	44.5	2176
21	0	96	4.5	2647	68	21.2	2517	63	52.3	2690	48	19.3	2649	96	55.5	2192
3	0	70	2.1	2525	65	29.2	2691	49	57.1	2642	95	6.8	2208	121	7.0	2542
3	0	71	42.7	2535	67	6.0	2695	51	35.0	2638	93	18.6	2224	119	26.7	2559
6	0	73	23.1	2545	68	42.8	2700	53	13.1	2635	91	30.7	2241	117	46.9	2575
9	0	75	3.3	2556	70	19.5	2706	54	51.2	2636	89	43.3	2258	116	7.4	2592
12	0	76	43.2	2568	71	56.0	2713	56	29.3	2637	87	56.3	2275	114	28.3	2609
15	0	78	22.8	2580	73	32.4	2721	58	7.4	2640	86	9.7	2292	112	49.6	2626
18	0	80	2.2	2593	75	8.5	2730	59	45.4	2644	84	23.6	2310	111	11.3	2642
21	0	81	41.3	2607	76	44.5	2741	61	23.3	2650	82	37.8	2327	109	33.4	2660
4	0	78	20.3	2752	63	1.0	2657	61	6.5	2482	80	52.5	2344	107	55.8	2677
3	0	79	55.8	2765	64	38.7	2665	59	24.8	2502	79	7.6	2362	106	18.7	2694
6	0	81	31.0	2777	66	16.1	2673	57	43.7	2523	77	23.1	2379	104	41.9	2712
9	0	83	5.9	2790	67	53.3	2683	56	3.0	2544	75	39.1	2397	103	5.5	2729
12	0	84	40.6	2804	69	30.4	2693	54	22.8	2566	73	55.4	2415	101	29.5	2746
15	0	86	15.0	2819	71	7.2	2704	52	14.1	2589	72	12.2	2432	99	53.8	2763
18	0	87	49.0	2834	72	43.8	2715	51	4.0	2612	70	29.4	2450	98	18.6	2781
21	0	89	22.7	2850	74	20.1	2727	49	25.3	2636	68	47.0	2468	96	43.7	2798
5	0	23	27.7	2827	47	47.2	2690	49	22.9	2642	67	5.1	2485	95	9.2	2815
3	0	25	1.6	2803	46	9.7	2696	47	45.0	2667	65	23.5	2503	93	35.1	2832
6	0	26	36.0	2785	44	32.7	2713	46	7.6	2691	63	42.3	2519	92	1.3	2848
9	0	28	10.8	2774	42	56.4	2741	44	30.7	2718	62	1.6	2537	90	27.9	2866
12	0	29	45.8	2766	41	20.6	2770	42	54.5	2745	60	21.2	2553	88	54.9	2882
15	0	31	21.0	2762	39	45.5	2801	41	18.8	2772	58	41.3	2570	87	22.2	2898
18	0	32	56.3	2761	38	11.1	2834	39	43.7	2802	57	1.7	2587	85	49.8	2914
21	0	34	31.6	2761	36	37.3	2869	38	9.3	2834	55	22.5	2604	84	17.8	2930

2014 Steven Wapler s.s.wapler@gmail.com

Distancias Lunares: Mazarredo y Lángara

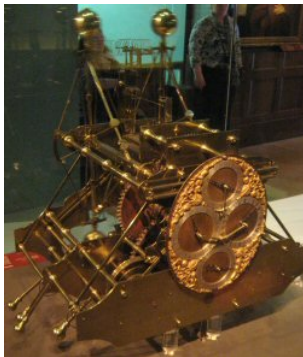
(*) En los diarios de los Oficiales de la fragata *Venus* en su viage á Manila en 1772, consta que su Comandante D. Juan de Lángara y D. Joseph de Mazarredo la noche del 13 de Febrero, acabado de conocer el estado de un reloj de segundos, tomando el primero la altura aparente de la Luna, y midiendo el segundo su distancia á Aldebaran, fixada la hora verdadera de la situacion observada en los astros, procedieron con estos datos á la serie de operaciones necesarias hasta concluir la Longitud de la Luna en aquel momento, que comparada á las del Conocimiento de Tiempos de Paris al medio día y media noche, y corregida por segundas diferencias la desigualdad de su movimiento, dió la hora verdadera de Paris en el instante de la observacion, y por consiguiente la diferencia de meridianos y Longitud en que se hallaba la fragata. Se estaba en Latitud $5. 14^{\circ} 18'$. Resultó diferencia de $20' 35''$ al Este de la estima. No contentos con la proporcional dicha, aunque corregida por segundas diferencias, calcularon directamente la Longitud de la Luna para las 11 de la noche de Paris, con la qual y la de las Tablas á las 12, como tan inmediatas entre sí, concluyeron la hora, que resultó igual á la de la comparacion con la Longitud de medio día, y produjo la satisfaccion de poderse escusar este mayor trabajo en lo sucesivo. El 10 de Marzo en Latitud $32^{\circ} 28'$ repitieron la observacion por distancia al Sol, y hallaron $4^{\circ} 15'$ de diferencia al Oeste de la estima. Se recaló al Cabo de Buena Esperanza el 28 del mismo mes, y se reconoció la diferencia de $3^{\circ} 35'$ al Oeste de la estima. Fondeando la fragata en Bahía de Tabla, se adquirieron en un navio de la Compañía Inglesa los Almanaques Náuticos de aquel año y el siguiente: con el qual auxilio fueron continuas las observaciones de Longitud en la fragata en el resto de su navegacion á Manila y tornaviage á España. Época en nuestra Marina de la afición á tareas tan esenciales con una emulacion tal, que es sin número el de los Oficiales que las practican, y está prescrito como punto de precisa enseñanza ó instruccion para los Guardias Marinas: sin poderse disputar á los primeros el mérito de la aplicacion de la Astronomia en la mar sin aquellos auxilios que empezaba á facilitar la Inglaterra por indispensables.

Distancias Lunares: Joshua Slocum (1844-1909)



Circunnavegación: 3 años y más de 46000 nmi.

Solución del problema: Los relojes de Harrison

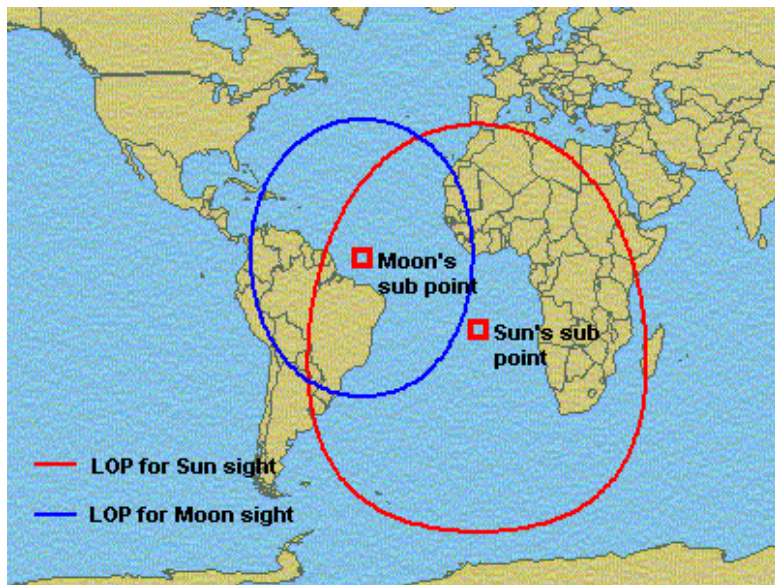


H-4. Se atrasó 5 s después de 81 días en alta mar.

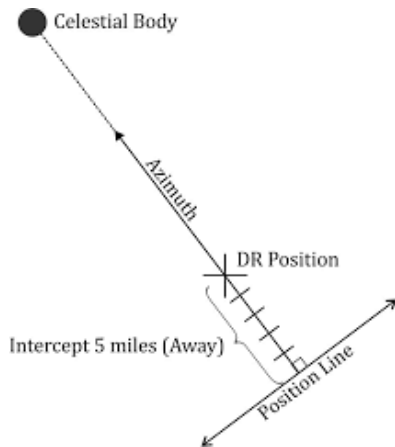
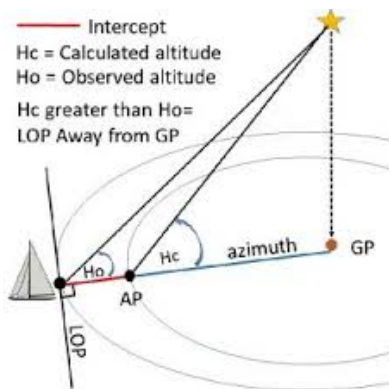
Cronómetros Marinos: 2º Viaje del HMS Beagle (1831-1836)



Las rectas de altura: Método de St. Hillaire



Las rectas de altura: Método de St. Hillaire

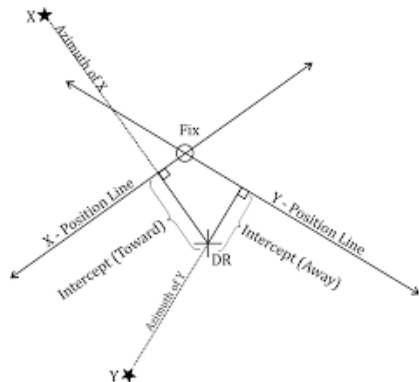


$$\Delta a = a_v - a_e = H_o - H_c = 5'$$

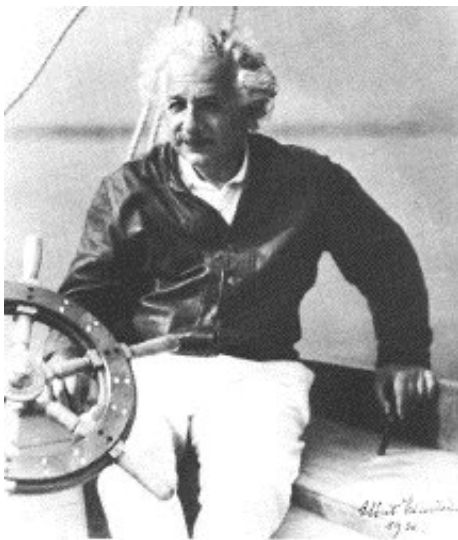
$360^\circ \equiv 40211 \text{ km.}$

Entonces, $1' \equiv 1852 \text{ m} \equiv 1 \text{ nmi.}$

Las rectas de altura: Método de St. Hillaire







- Constelación formada por 24 satélites.
- Orbitan en 6 planos orbitales diferentes.
- 12 horas (sidéreas) de periodo.
- $h \simeq 20000$ km.
- $i \simeq 55^\circ$.
- $v \simeq 14000$ km/h.
- $\delta_c \simeq -8.4 \times 10^{-11}$. En 1 día:
 $-7.3 \mu s$.
- $\delta_G \simeq 5.7 \times 10^{-10}$. En 1 día:
 $+49.4 \mu s$.
- $\delta_T \simeq 4.9 \times 10^{-10}$. En 1 día:
 $+42.1 \mu s$.



- L. Mederos. Navegación Astronómica. 5ª edición. Tutor. 2016.
- D. Sobel. Longitud. Anagrama. 2006.
- D. Barrie. Sextant: A Voyage Guided by the Stars and the Men Who Mapped the World's Oceans. William Collins. 2015.
- <http://www.rodamedia.com>
- USNO: <http://aa.usno.navy.mil/data/docs/celnavtable.php>

Créditos figuras: pags. 19 y 21: L. Mederos (rodamedia.com). Resto de las figuras wikipedia.com