Gráficos para estudiar el asoleo

por Eduardo Fernández-Díaz, Arqto.

En los trabajos de Asoleometría distinguimos dos etapas: una, *geométrica*, y otra, *física*. Durante la primera determinamos cuáles son las horas de sol en un sitio prefijado (calle, fachada, interior de habitación, etc.); durante la segunda medimos la eficacia de las horas de sol halladas en la etapa anterior.

La *Geometría* del asoleo tiene una copiosa literatura: numerosos artículos de revista y capítulos de libro se han escrito proponiendo procedimientos que resuelven, más o menos laboriosamente, el problema geométrico. Los recursos empleados son: tablas, ábacos, fórmulas, construcciones gráficas y aparatos.

En cambio, son pocos los trabajos bien cimentados que hay en nuestra literatura profesional acerca de la *Física* del asoleo. Quizás sea debido esto a la relativa modernidad y escasa divulgación entre nosotros de los estudios de Astrofísica y Meteorología, que, con cierta garantía, nos ilustran sobre las alteraciones que en magnitud y calidad experimenta la energía solar en su tránsito por la atmósfera terrestre.

En este artículo nos limitamos al problema geométrico. Entre los procedimientos gráficos propuestos para resolverlo figuran los que lo consiguen valiéndose de la representación del movimiento aparente del Sol sobre una superficie y proyectando sobre ella el objeto en estudio. Las superficies usadas, en los trabajos que conocemos, son la esfera y el cilindro; nuestro ilustre profesor don Luis Doménech Muntaner, de venerada memoria, empleaba el cilindro. Aquí nos valdremos de gráficos obtenidos suponiendo que el Sol se mueve aparentemente sobre planos: salta a la vista que, *teóricamente*, así se simplifica el problema, pero falta demostrar que también en la práctica sucede lo mismo, y que los inconvenientes no aminoran o anulan la pretendida simplificación. Presentar una variada serie de casos resueltos constituiría la mejor prueba a favor o en contra del procedimiento, pero hemos de reducirnos a exponerlo y a dar algunas aplicaciones, asuntos de los párrafos siguientes.

Aun cuando ello no sea exacto, podemos admitir que el movimiento diurno aparente del Sol, respecto la Tierra, es un giro alrededor del eje terrestre, en un plano que cada día es distinto. Según esto, la recta que une los centros de los dos astros engendra, en el transcurso del año, diferentes superficies cónicas de revolución, cuyo vértice común es el centro de nuestro planeta. El ángulo de la generatriz de una cualquiera de estas superficies con el eje de la Tierra es el complemento de la declinación del Sol, y, por lo tanto, va aumentando desde los solsticios, en los cuales mide 66° 33′, a los equinoccios, en los que es recto y el cono se convierte en un plano.

Imaginemos que entre el Sol y la Tierra se interponen cuatro planos, paralelos al eje terrestre, equidistantes de él, y perpendiculares dos a dos (fig. 1). Estos planos (nuestra *bóveda celeste*) cortan a cada una de las superficies cónicas de revolución engendradas por la recta Sol-Tierra, según cuatro ramas iguales de hipérbola que, para un observador colocado en el centro del mundo, representarán el paso aparente del Sol sobre dichos planos, durante el día en que la declinación de este astro es igual al complemento del ángulo formado por la generatriz y el eje del cono.

Tracemos ahora la rosa de los planos horarios: éstos cortarán a los de la *bóveda celeste* según rectas paralelas al eje de la Tierra y que serán las líneas horarias. Tomamos como plano origen de la rosa, o de las cero horas, uno perpendicular a dos de la *bóveda* y, por consiguiente, paralelo a los otros dos.

El punto de intersección de una línea horaria con una curva de paso aparente del Sol nos indicará la posición de éste en la fecha y hora a que correspondan, respectivamente, la hipérbola y la recta consideradas.

Para nuestro objeto nos basta con las líneas horarias a intervalos de un cuarto de hora, los pasos o curvas diurnas correspondientes a las declinaciones boreales y australes de 23° 27′ (solsticios de junio y diciembre), 20°, 15°, 10°, 5° y a la de 0° (equinoccios de marzo y septiembre).

Si a lo largo de la línea de las cero horas cortamos la *bóveda celeste* y la extendemos sobre un plano, de manera que lo visible sea la superficie interior de ella, obtendremos el «gráfico universal». Para que el calificativo de *universal* sea adecuado es preciso, naturalmente, que el gráfico sirva de polo a polo, y, por lo tanto, en él han de figurar las veinticuatro horas, pues, en los lugares situados en los casquetes polares, el día puede tener esa duración. En el gráfico que usaremos (fig. 2)

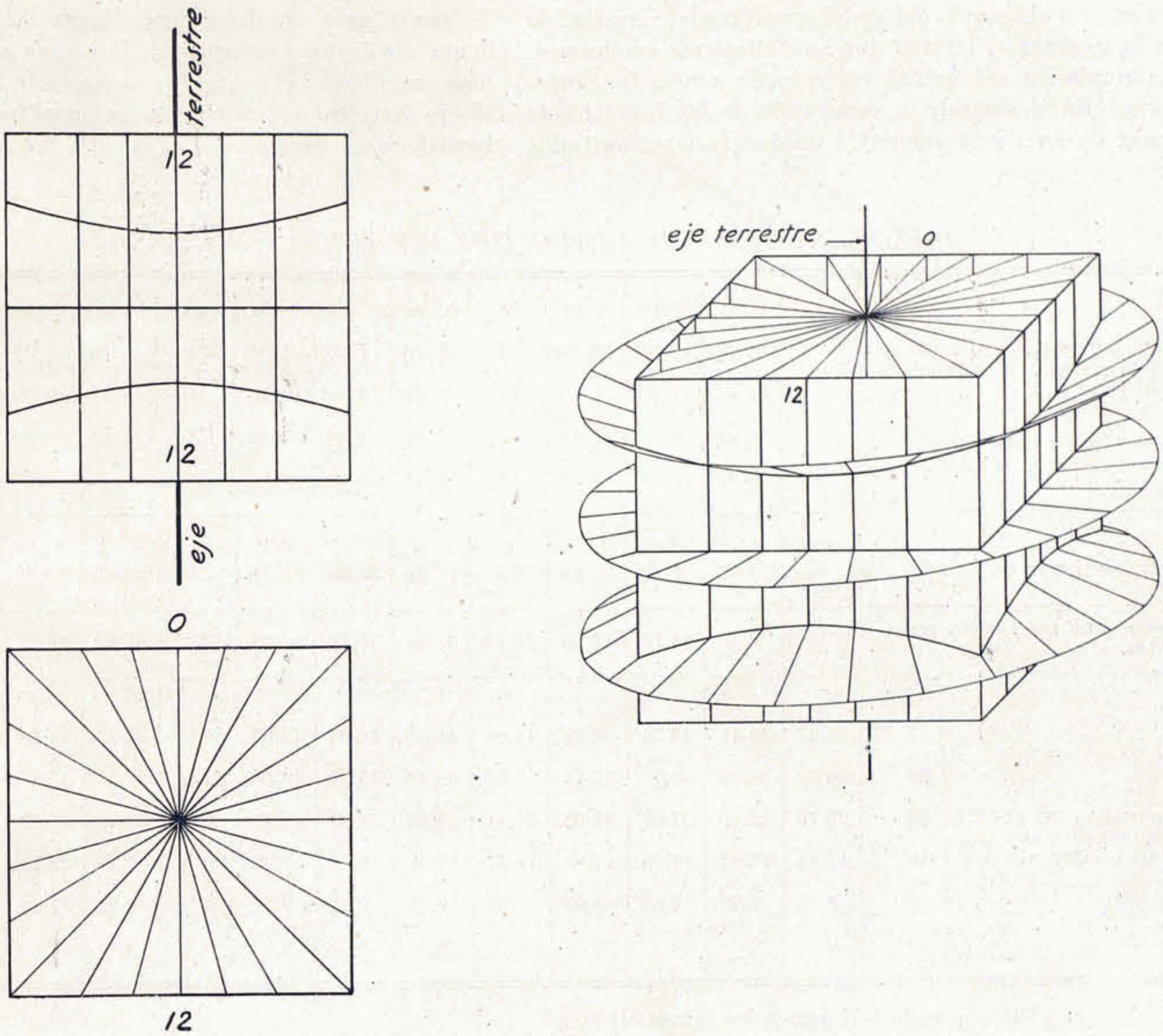


Fig. 1

sólo hay dieciocho horas (desde las tres de la mañana a las nueve de la noche), porque hemos suprimido el plano donde están las restantes, innecesarias cuando la latitud es inferior a 58° 28′.

Para determinar la posición de las líneas horarias y de los puntos de las curvas de paso aparente del Sol, podemos recurrir al empleo de los sencillos procedimientos gráficos usados en Gnomónica o a la resolución numérica de elementales problemas de Trigonometría plana; seguimos aquí el segundo camino. Como los cuatro planos de la *bóveda celeste* están en iguales condiciones, lo dicho acerca de uno de ellos valdrá para los otros. Nos referimos al que contiene las horas comprendidas entre las nueve de la mañana y las tres de la tarde (fig. 3): tomamos como eje de abscisas la línea equinoccial, o sea la intersección del plano del Ecuador con el considerado, y como eje de ordenadas la línea horaria de las doce, que pasa por el punto medio de la equinoccial. Si expresamos las dimensiones en milímetros y suponemos que la distancia del centro de la Tierra a los planos de la *bóveda celeste* es de 100 mm., la abscisa de una línea horaria será igual a cien veces la tangente de su ángulo horario, y las ordenadas de los puntos de una hipérbola se obtendrán multiplicando por cien la tangente de la declinación del Sol, en el día que ha de estar representado por la curva, y dividiendo dicho producto por los cosenos de los diferentes ángulos horarios.

En el cuadro siguiente hemos puesto los datos nece-

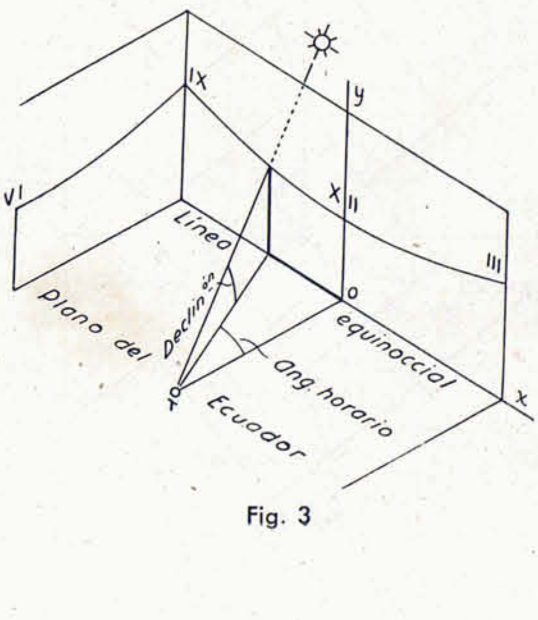


Fig. 3

sarios para el trazado del «gráfico universal», reproducido en la figura 2 al tamaño que corrientemente empleamos. La rotulación del gráfico corresponde a nuestro hemisferio. En el austral, la numeración de las horas ha de crecer de derecha a izquierda ; las declinaciones australes de servir para un determinado lugar del mundo. La figura 4 a es una proyección de la *bóveda celeste* sobre el plano meridiano : el punto *T* representa a la Tierra, *P P'* es el eje terrestre (*P* es el polo de igual nombre que el hemisferio en que se halla el lugar), *E E* es el Ecuador

DATOS PARA EL TRAZADO DEL «GRÁFICO UNIVERSAL»

	h.	h. m.	h. m.	h. m.	h.	h. m.	h. m.	h. m.	h.	h. m.	h. m.	h. m.	h.
PLANO CENTRAL (meridional en el hemisferio N., septentrional en el S.)...............	12	12 15	12 30	12 45	1	1 15	1 30	1 45	2	2 15	2 30	2 45	3
		11 45	11 30	11 15	11	10 45	10 30	10 15	10	9 45	9 30	9 15	9
PLANOS LATERALES (oriental y occidental)................	6	6 15	6 30	6 45	7	7 15	7 30	7 45	8	8 15	8 30	8 45	9
		5 45	5 30	5 15	5	4 45	4 30	4 15	4	3 45	3 30	3 15	3
	°	° ′	° ′	° ′	°	° ′	° ′	° ′	°	° ′	° ′	° ′	°
ÁNGULOS HORARIOS............	0	3 45	7 30	11 15	15	18 45	22 30	26 15	30	33 45	37 30	41 15	45
ABSCISAS DE LAS LÍNEAS HORARIAS......................	0	6,55	13,16	19,89	26,79	33,94	41,42	49,31	57,73	66,81	76,73	87,69	100,0
ORDENADAS DE LAS HIPÉRBOLAS PARA DECLINACIONES DE..... 23° 27′	43,37	43,47	43,75	44,22	44,90	45,80	46,95	48,36	50,08	52,17	54,68	57,69	61,34
20	36,39	36,47	36,71	37,11	37,68	38,43	39,39	40,58	42,02	43,77	45,87	48,41	51,47
15	26,79	26,85	27,02	27,32	27,74	28,29	29,00	29,87	30,94	32,22	33,77	35,64	37,89
10	17,63	17,67	17,78	17,98	18,25	18,62	19,08	19,66	20,36	21,20	22,22	23,45	24,93
5	8,75	8,77	8,82	8,92	9,06	9,24	9,47	9,75	10,10	10,52	11,03	11,63	12,37
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Distancia del centro de la Tierra a los planos : 100.
Aquí se cuentan los ángulos horarios de modo distinto que el acostumbrado.

han de estar encima de la línea equinoccial, y las boreales, debajo de ella ; levante quedará a la derecha, y poniente, a la izquierda.

Veamos la manera de poner el gráfico en condiciones

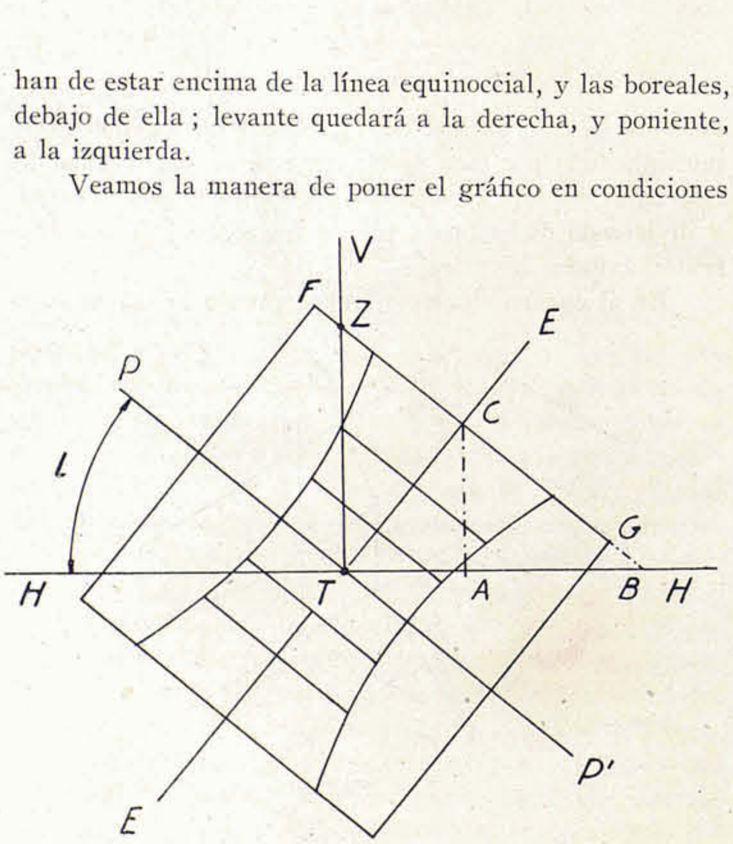


Fig. 4 a

celeste ; *T V*, *Z*, *H H* y el ángulo l son, respectivamente, la vertical, el cenit, el horizonte racional y la latitud del lugar considerado. La figura 4 b es una perspectiva de la *bóveda celeste*, vista por fuera y suprimiendo la parte de ella situada bajo el horizonte. Estas figuras nos muestran que en los planos oriental y occidental, el ángulo de las líneas horarias con la de horizonte es igual a la latitud, que dicho ángulo es recto en el plano perpendicular al meridiano, y que la línea de horizonte pasa por los puntos de intersección del Ecuador con las horarias correspondientes a las 6 de la mañana y a la misma hora de la tarde. Un plano trazado por *T V*, perpendicularmente al del dibujo, corta al *F G* según una horizontal, y ésta a la meridiana de *F G* en un punto que es el cenit. De lo anterior se deduce la manera de señalar la línea de horizonte y el cenit en el gráfico, el cual, hecho esto, queda en condiciones de ser utilizado en cualquier lugar de la Tierra cuya latitud norte sea l (fig. 5).

Para operar, además del gráfico, necesitamos el plano del horizonte (fig. 6), en el que dibujaremos : la meridiana, la línea *E.-O.*, y las trazas de los tres planos de la bóveda celeste.

Como demuestra la relación que sigue a este párrafo,

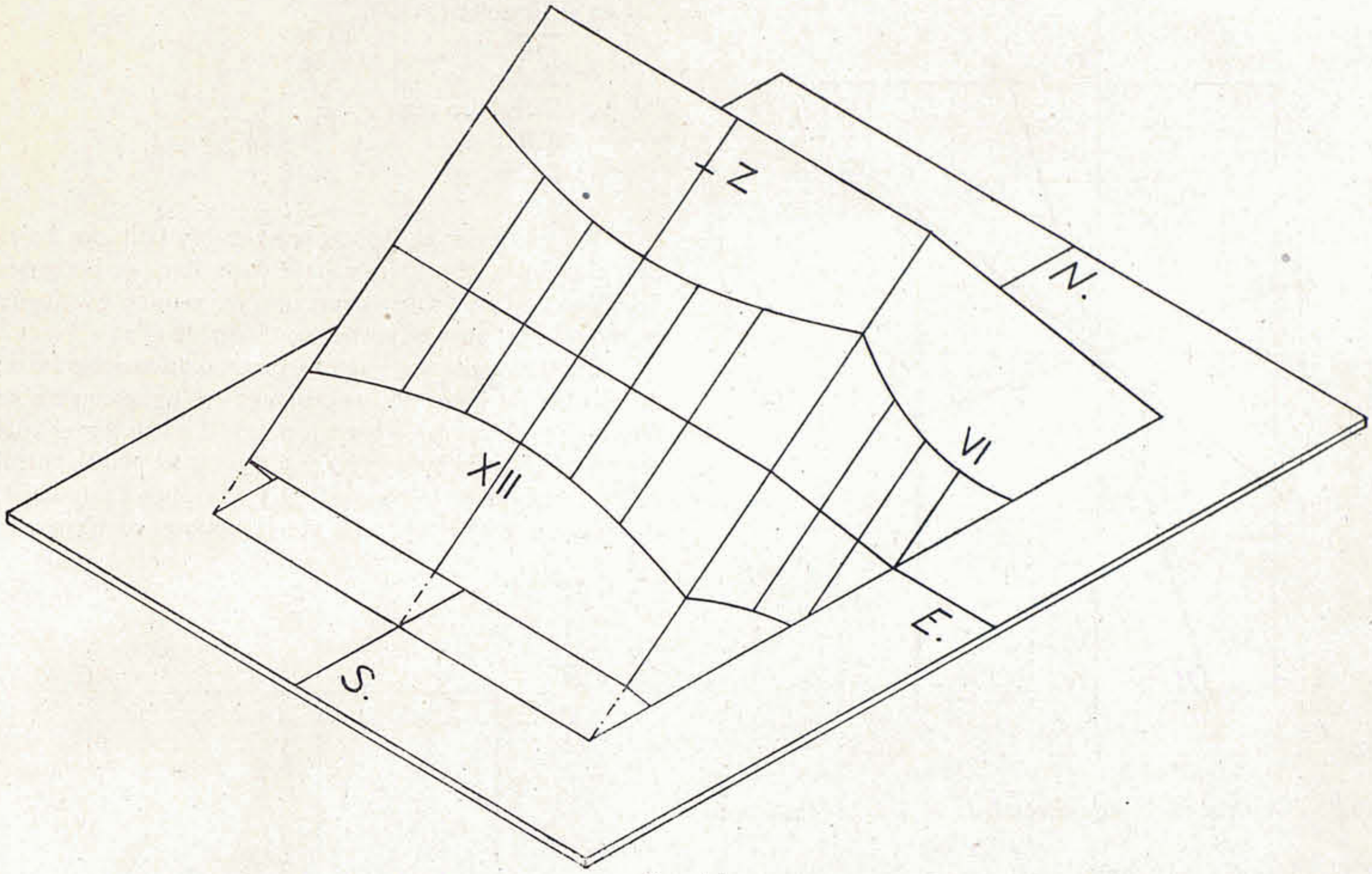


Fig. 4 b

no hacen falta construcciones para poder marcar, en el gráfico o en el horizonte, el punto y las líneas anteriormente indicados: basta la simple lectura de una tabla de razones trigonométricas.

T C, distancia del centro del mundo a los planos que forman la bóveda celeste : 100 mm.

T B, distancia del centro a la traza horizontal del plano *F G* (perpendicular al meridiano y central del gráfico) : 100 : sen l = 100 cosec l.

T A, distancia del centro a la proyección horizontal de la línea equinoccial de *F G* : 100 sen l.

C A, distancia de la equinoccial de *F G* al plano horizontal : 100 cos l.

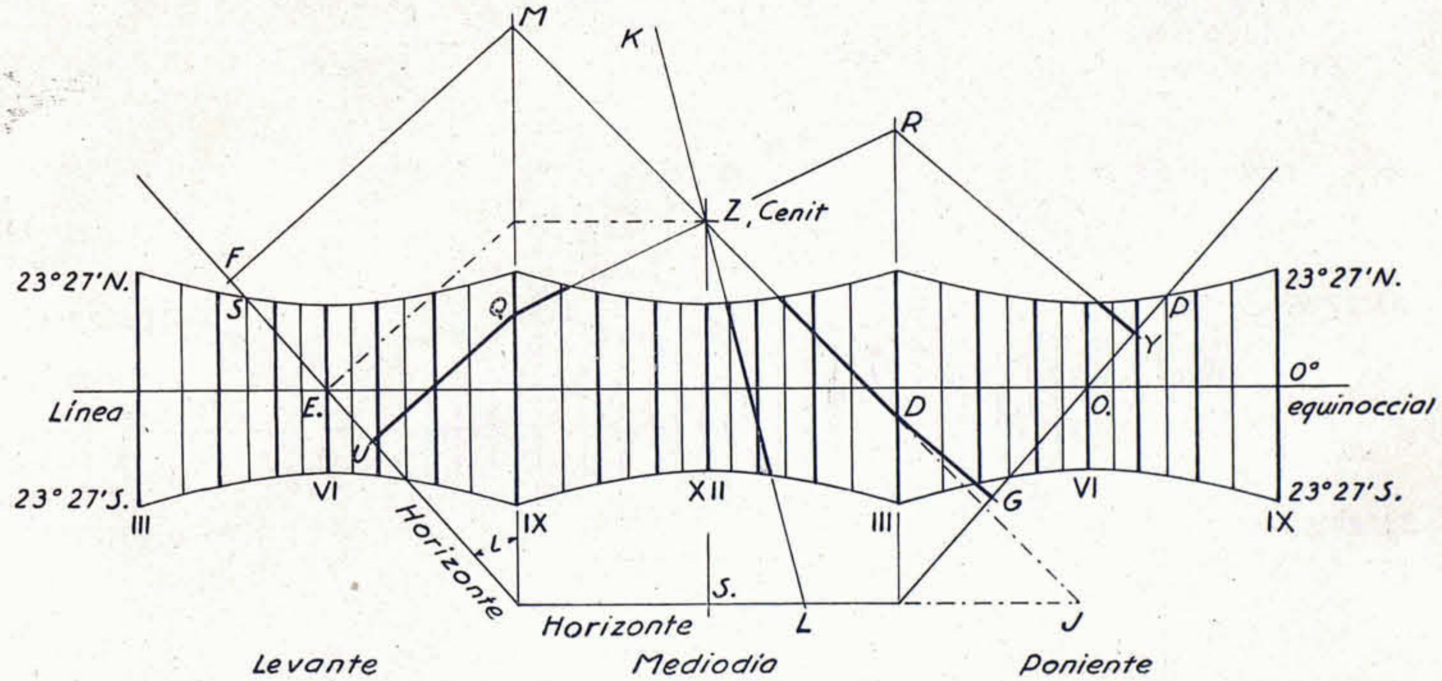


Fig. 5

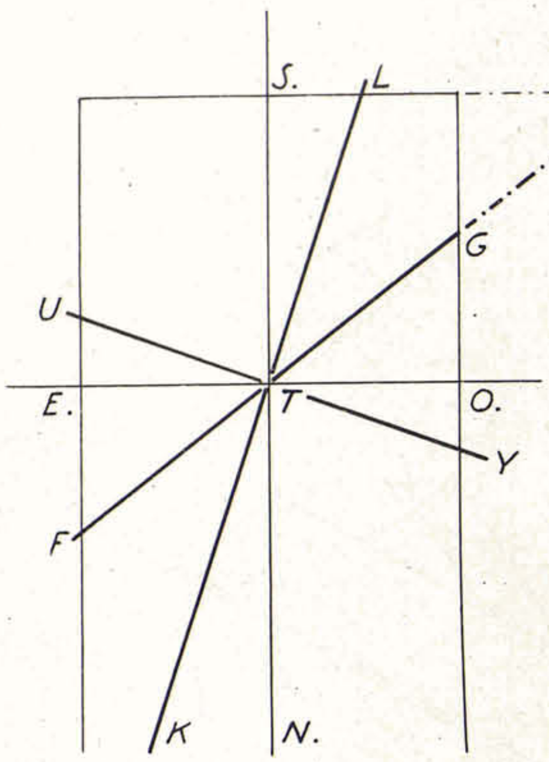


Fig. 6

CB, distancia de la equinoccial de FG a la traza horizontal de éste : 100 cotg l.
ZC, distancia del cenit a la equinoccial de FG : 100 tg l.

Como no es probable que los casquetes polares tengan interés para nosotros, podemos considerar que la zona de aplicaciones prácticas es la comprendida entre el círculo polar y el Ecuador. Los segmentos ya relacionados tendrán los siguientes valores límites :

en el círculo polar (l = 66° 33′),

$TB = 109$ mm.
$TA = 91'7$ mm.
$CA = 39'8$ mm.
$CB = 43'4$ mm.
$ZC = 230'5$ mm.

en el Ecuador (l = 0°),

$TB = \infty$
$TA = 0$
$CA = 100$ mm.
$CB = \infty$
$ZC = 0$

De lo anterior se deduce que en las latitudes bajas es incómodo, o imposible, valerse de la línea de horizonte del plano central. Luego veremos que esto no es ningún inconveniente, pues se puede prescindir de ella.

Habitualmente trabajamos sobre fotocopias del gráfico ; en el caso de que sólo se disponga de un ejemplar de éste, se puede operar sobre un papel de calco, en el cual se hayan dibujado las aristas que separan el plano central de los laterales de la bóveda celeste, la línea equinoccial, el horizonte y el cenit ; una vez resuelto el problema, se

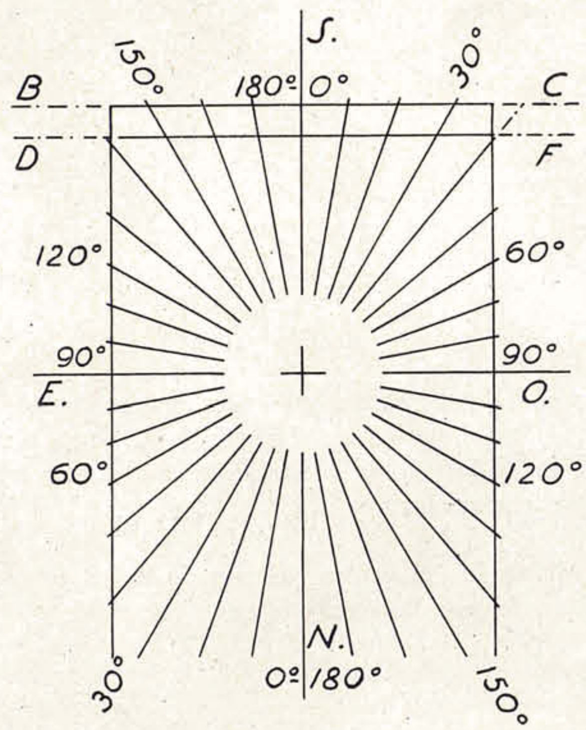


Fig. 7

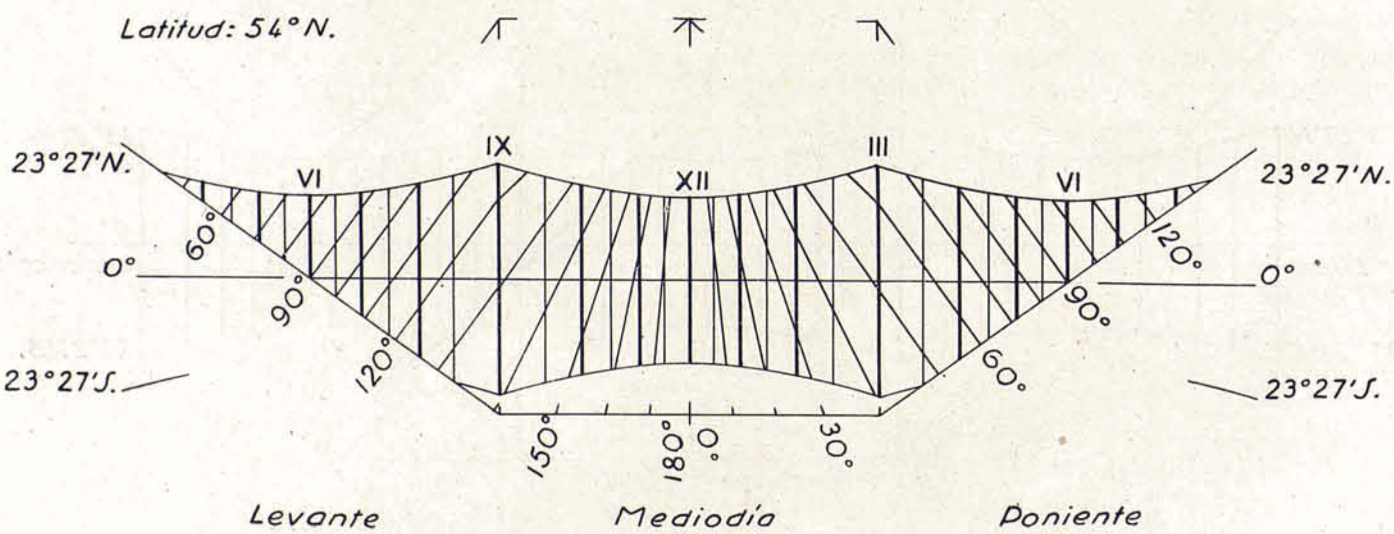
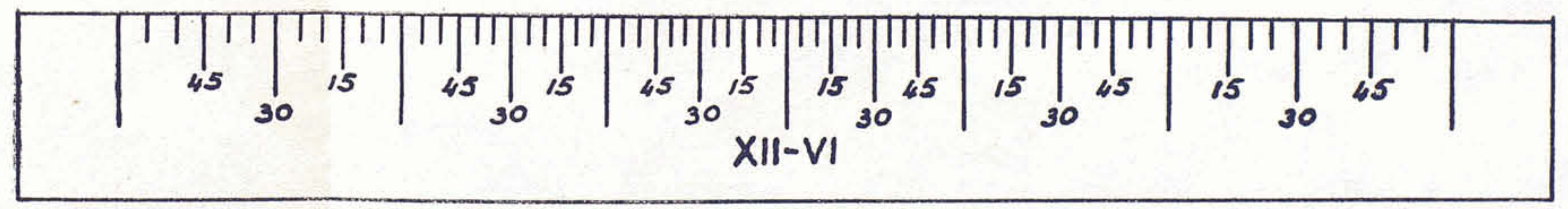


Fig. 8


21 jun. 23°27' N.
20 may.-24 jul. 20°
1 may.-12 ag. 15°
16 abr.-28 ag. 10°
3 abr.-10 sep. 5°
21 mar.-23 sep. 0°
8 mar.-6 oct. 5° S.
23 feb.-20 oct. 10°
8 feb.-3 nov. 15°
21 en.-22 nov. 20°
22 dic. 23°27'
III IV V VI VII VIII IX X XI XII I II III IV V VI VII VIII IX
23°27' N. 21 jun.
20° 20 may.-24 jul.
15° 1 may.-12 ag.
10° 16 abr.-28 ag.
5° 3 abr.-10 sep.
0° 21 mar.-23 sep.
5° S. 8 mar.-6 oct.
10° 23 feb.-20 oct.
15° 8 feb.-3 nov.
20° 21 en.-22 nov.
23°27' 22 dic.
Levante
Poniente


45 30 15 45 30 15 45 30 15 15 45 15 30 45 15 30 45
XII-VI

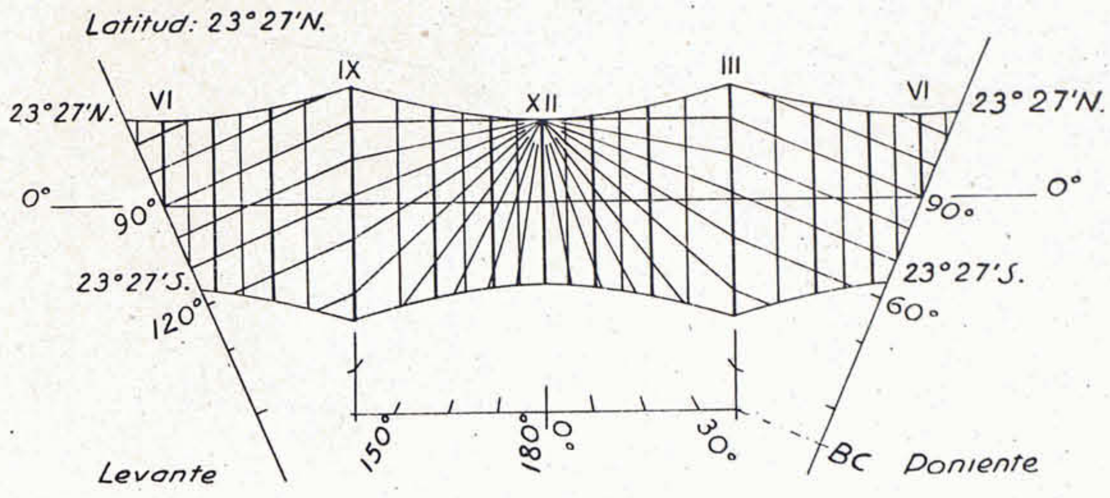


Fig. 9

pone el papel transparente sobre el gráfico y se hacen las lecturas. Debido a la reducción que han de sufrir las figuras al ser reproducidas, operaremos sobre gráficos simplificados, suprimiendo las líneas horarias correspondientes a los cuartos de hora y todas las curvas diurnas menos tres, la equinoccial y las dos solsticiales.

Los puntos en que la línea quebrada del horizonte (fig. 5) corta a una curva de paso aparente nos indican las horas del orto y del ocaso del Sol en el día representado por dicha curva. Por ejemplo, *S* y *P* son, respectivamente, las horas de salida y puesta en el solsticio de verano. Vemos que este día el Sol está 15 horas sobre el horizonte (desde las 4 30 de la mañana a las 7 30 de la tarde).

Un plano vertical corta a los de la bóveda celeste según una línea quebrada cuyos segmentos oriental y occidental son perpendiculares a la línea de horizonte, y el central pasa por el cenit. En la figura 6 (plano del horizonte), las rectas *K L*, *F G*, *U Y*, son las trazas de tres planos verticales, y supondremos que cada uno de éstos representa a dos fachadas opuestas, delante de las cuales no hay ningún obstáculo que impida el acceso a ellas de los rayos solares, o sea que desde cada fachada se ve la mitad de la bóveda celeste. Para hallar la intersección del plano *K L* con los del tríptico, tomamos, en la figura 6, la distancia del punto Sur a *L*, la ponemos en la línea de horizonte de la figura 5 y, en ésta, unimos *L* con el cenit.

En la cara al S.E., las horas de sol serán :
en el solsticio de verano, desde las 4 30 (orto) hasta las 12 25 ;
en los equinoccios, desde las 6 (orto) hasta las 12 50 ;
en el solsticio de invierno, desde las 7 30 (orto) hasta la 1 15.

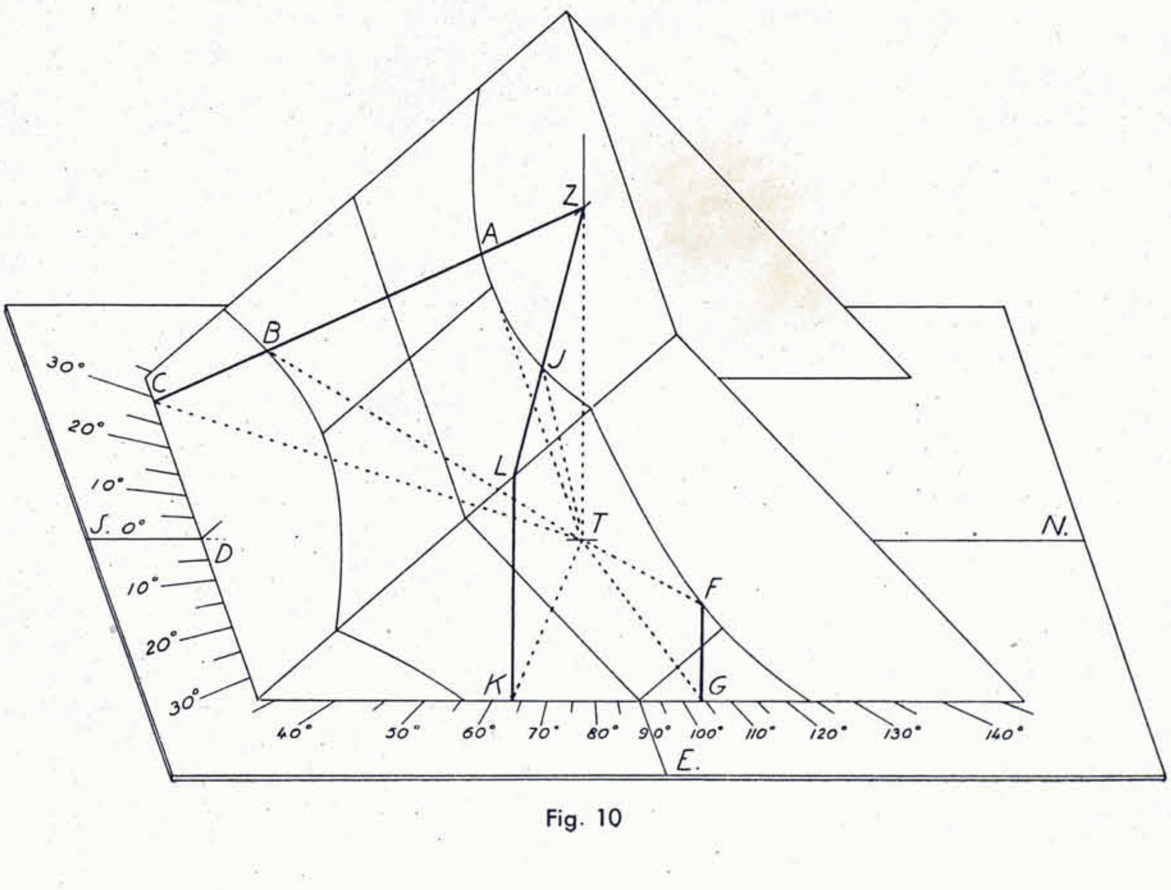


Fig. 10

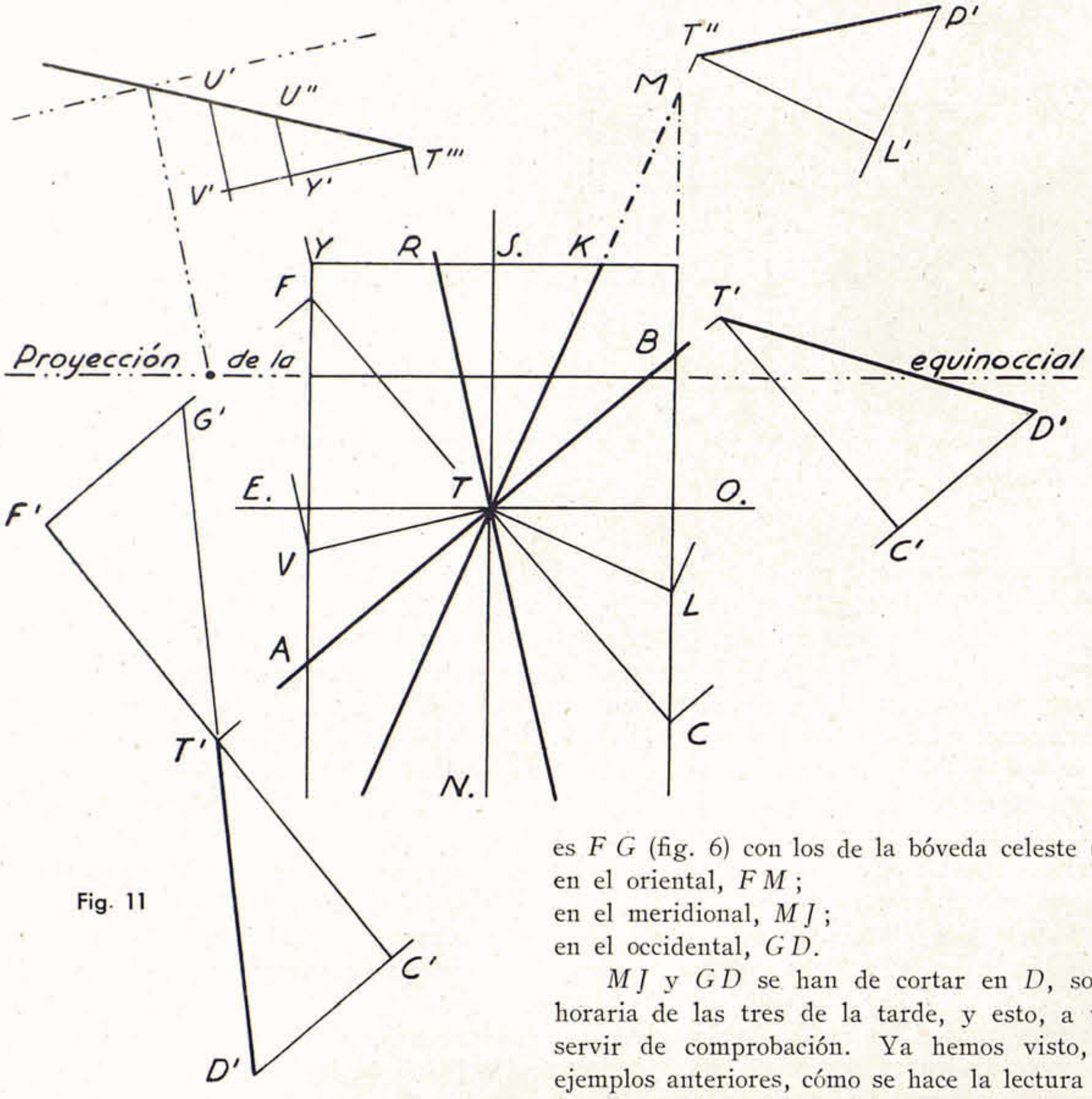


Fig. 11

En la cara al N.O. dará el sol :
en el solsticio de verano, desde las 12 25 hasta las 7 30 (ocaso) ;
en los equinoccios, desde las 12 50 hasta las 6 (ocaso) ;
en el solsticio de invierno, desde la 1 15 hasta las 4 30 (ocaso).

Para hallar las horas de sol en las caras del plano *U Y* (fig. 6), tomamos la distancia Este-*U* y la colocamos sobre el segmento oriental de la línea de horizonte de la figura 5 ; en ésta, y por el punto *U*, trazamos la recta *U Q* perpendicular a dicha línea ; unimos *Q* con *Z* prolongando *Q Z* hasta que corte a la línea horaria de las tres de la tarde, y, por último, bajamos por *R* la perpendicular *R Y* al segmento occidental de la línea de horizonte.

En la fachada que mira al Mediodía habrá sol :
en el solsticio de verano, desde las 9 35 hasta las 6 15 ;
en los equinoccios, desde las 7 55 hasta las 6 (puesta) ;
en el solsticio de invierno, desde las 7 30 (salida) hasta las 4 30 (puesta).

La fachada al Norte tendrá sol :
en el solsticio de verano, desde las 4 30 (salida) hasta las 9 35, y desde las 6 15 hasta las 7 30 (puesta) ;
en los equinoccios, desde las 6 (salida) hasta las 7 55 ;
en el solsticio de invierno no dará el sol.

Las intersecciones del plano cuya traza horizontal es *F G* (fig. 6) con los de la bóveda celeste (fig. 5) son :
en el oriental, *F M* ;
en el meridional, *M J* ;
en el occidental, *G D*.

M J y *G D* se han de cortar en *D*, sobre la línea horaria de las tres de la tarde, y esto, a veces, puede servir de comprobación. Ya hemos visto, en los dos ejemplos anteriores, cómo se hace la lectura de las horas de sol, por lo cual la omitimos en el presente.

La figura 7 representa el horizonte, dividido, por trazas de planos verticales, en treinta y seis sectores iguales : *D F* es la traza del plano central de la bóveda celeste cuando la latitud norte es de 54° ; en este caso, las intersecciones de los planos verticales con los del tríptico son las indicadas en la figura 8. En la 9, el lugar considerado está en el trópico ; la verdadera línea de horizonte del plano central se sale fuera de los límites del dibujo y la substituímos por otra recta del mismo plano, paralela a la primera y que se proyecta sobre el horizontal en *B C* (figs. 7 y 9). Como hay planos verticales, cuyas dos intersecciones con los de la bóveda celeste cruzan el área del gráfico, hemos graduado la línea de horizonte de manera que permita identificar cómodamente los planos secantes. Gráficos como los de las figuras 8 y 9 sirven para la rápida comparación de distintas orientaciones.

La determinación del plano vertical que pasa por el Sol, en un momento dado del año, es problema inverso del anterior. Para hallar (fig. 10) el plano que pasa por *A*, punto situado en la parte meridional de la bóveda celeste, uniremos *Z* (cenit) con *A*, prolongando la recta *Z A* hasta que corte a la línea de horizonte : *Z C T* es el plano buscado, *C T* es la proyección horizontal del rayo solar, o sea que el ángulo *D T C* es el acimut del Sol ; *A T C*, su

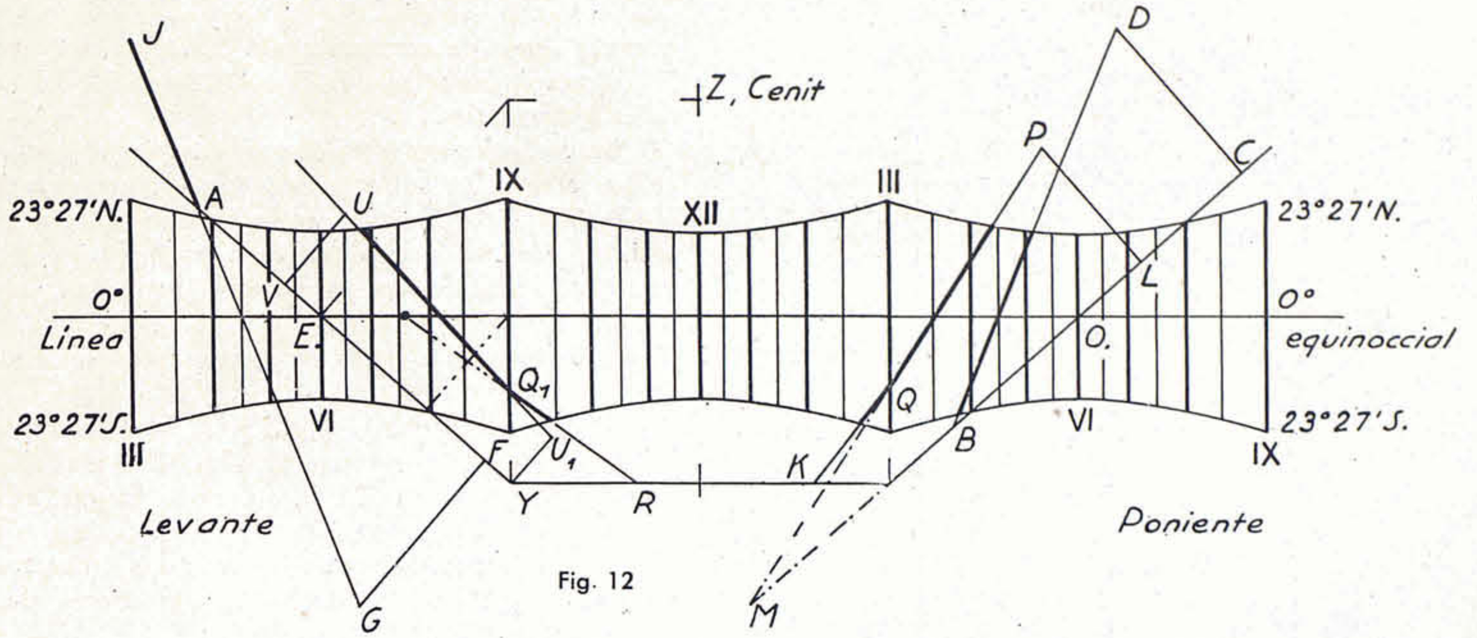


Fig. 12

altura en el momento A, y $B\,T\,C$, la correspondiente al B. Cuando el Sol esté en uno de los planos laterales, por ejemplo en F, trazaremos $F\,G$ perpendicularmente a la línea de horizonte ; $F\,G\,T$ es el plano que se busca, $T\,G$ es la proyección horizontal del rayo solar ; los ángulos $D\ T\ G$ y $F\ T\ G$ son, respectivamente, el acimut y la altura. Si el Sol está en J (volvemos al plano central de la bóveda), uniremos Z con J, prolongando $Z\,J$ hasta que corte en L a la arista del tríptico, y bajaremos por L una perpendicular $L\,K$ a la línea de horizonte ; $Z\,L\,K\,T$ es el plano vertical del astro ; $D\ T\ K$, su acimut ; $J\ T\ K$, su altura. Cuando la latitud es pequeña y la hora está próxima al mediodía, puede suceder que sea muy corta la distancia entre el cenit y el punto ocupado por el Sol ; en este caso, sería inexacto el acimut obtenido mediante la prolongación del segmento cenit-Sol, y hay que modificar el procedimiento ; es tan fácil hacerlo, que no insistimos más sobre este asunto.

Si graduamos las líneas de horizonte del gráfico y del plano horizontal, se simplifica el transporte de puntos de una a otra, pues, para efectuarlo, no hay necesidad de tomar medidas. Como se sabe, hay distintos modos de contar los acimutes ; en la figura 10, la graduación crece de 0° a 180° en los sentidos S.-E.-N. y S.-O.-N. ; en las figuras 7, 8 y 9 también hemos graduado el horizonte de 0° a 180°, pero en los sentidos S.-O.-N. y N.-E.-S. ; se pueden simultanear las dos maneras, como se hace en los transportadores.

La figura 11 representa el horizonte. Un plano inclinado de orientación $A\,B$, y cuya línea de máxima pendiente, rebatida, sea $T'\,D'$, corta a los planos oriental y occidental de la bóveda celeste según rectas que se proyectan, respectivamente, en $B\,C$ y $A\,F$; traslademos los puntos B, C, F y A al gráfico (fig. 12) y, en éste, tracemos por C y F perpendiculares a la línea de horizonte ; pongamos sobre ellas, a partir de sus pies, la magnitud $C'\,D'$ de la figura 11 ; $B\,D$ y $A\,J$ son las intersecciones del plano dado con los del tríptico.

En la cara superior del plano habrá sol :
en el solsticio de verano, desde las 4 de la mañana (orto) hasta las 5 7 de la tarde ;
en los equinoccios, desde las 6 de la mañana (orto) hasta las 4 30 de la tarde ;
en el solsticio de invierno, desde las 8 de la mañana (orto) hasta las 3 50 de la tarde.

La cara inferior del plano tendrá sol :
en el solsticio de verano, desde las 5 7 de la tarde hasta las 8 (ocaso) ;
en los equinoccios, desde las 4 30 de la tarde hasta las 6 (ocaso) ;
en el solsticio de invierno, desde las 3 50 de la tarde hasta las 4 (ocaso).

El plano inclinado que tiene por traza horizontal a $T\,M$ (fig. 11), y cuya línea de máxima pendiente, rebatida, es $T''\,P'$, corta a los tres planos del tríptico ; la intersección con el plano occidental se proyecta en $M\,L$; situemos los puntos K, M y L sobre la línea de horizonte del gráfico (fig. 12) y, perpendicularmente a ella, tracemos por L una recta sobre la cual tomaremos $L\,P$ igual a la rebatida $L'\,P'$ de la figura 11 ; unamos P con M, $P\,Q$ es la intersección del plano dado con el occidental de la bóveda celeste, y como las trazas horizontales del primero y del meridional se cortan en K, $K\,Q$ es la intersección de ellos ; por último, la del plano secante con el oriental cae fuera del área del gráfico, y, debido a ello, no nos interesa.

En la cara superior del plano dará el sol :
en el solsticio de verano, desde las 4 de la mañana (salida) hasta las 4 22 de la tarde ;
en los equinoccios, desde las 6 de la mañana (salida) hasta las 3 30 de la tarde ;
en el solsticio de invierno, desde las 8 de la mañana (salida) hasta las 2 40 de la tarde.

En la cara inferior del plano, las horas de sol serán :
en el solsticio de verano, desde las 4 22 de la tarde hasta las 8 (puesta) ;
en los equinoccios, desde las 3 30 de la tarde hasta las 6 (puesta) ;
en el solsticio de invierno, desde las 2 40 de la tarde hasta las 4 (puesta).

Sea $T\,R$ (fig. 11) la traza horizontal de un plano inclinado, cuya línea de máxima pendiente, rebatida, es

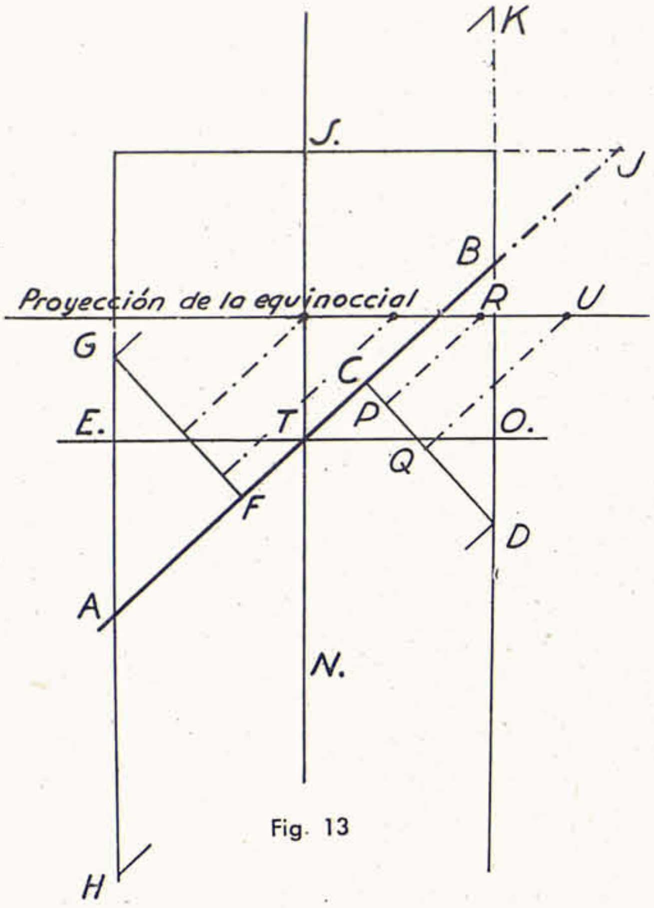


Fig. 13

$T'''U'$; de los tres puntos en que TR corta a las líneas de horizonte, o a sus prolongaciones, sólo el R es accesible; por el punto Y tracemos YU'', paralela a VU'; transportemos el punto V al gráfico (fig. 12), y, en éste, levantemos, por V e Y, perpendiculares a la línea de horizonte, sobre las que tomaremos VU e YU_1 iguales, respectivamente, a $V'U'$ y a $Y'U''$ de la figura 11; el plano dado corta al oriental del tríptico según UQ_1, al meridional según Q_1R; la intersección con el occidental está fuera de los límites del gráfico. Las construcciones indicadas en las dos figuras con líneas de trazo y dos puntos sirven para hallar UQ_1R de manera distinta de la descrita.

Horas de sol en la cara superior del plano:
en 21 de junio, desde las 6 50 de la mañana hasta la puesta (8).
en 21 de marzo y 23 de septiembre, desde las 8 10 de la mañana hasta la puesta (6);
en 22 de diciembre, desde las 9 25 de la mañana hasta la puesta (4).

Horas de sol en la cara inferior del plano:
en 21 de junio, desde la salida (4) hasta las 6 50 de la mañana;
en 21 de marzo y 23 de septiembre, desde la salida (6) hasta las 8 10 de la mañana;
en 22 de diciembre, desde la salida (8) hasta las 9 25 de la mañana.

En la práctica, no son necesarios los rebatimientos dibujados en la figura 11.

Apliquemos al estudio del asoleo de las calles lo referente a planos verticales e inclinados, visto en párrafos anteriores. Supondremos que las fachadas son paralelas, que sus líneas de coronación son horizontales, y prescindiremos de las soluciones de continuidad debidas a las calles transversales.

En cualquier momento, la sombra que arroja una fachada sobre la de enfrente está limitada por una recta horizontal. Esta divisoria entre la zona soleada y la umbría es la intersección del plano que pasa por el Sol y por la línea de coronación que proyecta sombra, con la fachada frontera; cortando la bóveda celeste por dicho plano, sabremos las horas en que se produce la divisoria.

Mediante las figuras 13, 14 y 15 estudiaremos una calle que va, aproximadamente, del N.E. al S.O. en cualquier lugar de la Tierra situado a los 41° 25′ de latitud norte; las líneas de fachada son paralelas a AJ (fig. 13), y perpendicular a ellas es la sección representada en la figura 14. Describir las operaciones que se han de hacer para hallar las trazas de los planos que pasan por una divisoria y por la coronación de la fachada en sombra, sería repetir lo dicho, y, por ello, nos limitaremos a ciertos detalles. En la fachada al N.O. se producirá la divisoria que dista p de la coronación (fig. 14), cuando el Sol está en el plano CL, perpendicular al del dibujo; en el gráfico (fig. 15), BL es la traza de dicho CL; ZM y MB son las del plano de fachada y, por lo tanto, durante las horas comprendidas entre BL y BMZ, estará soleada la faja cuya $p = 0{,}4\,a$. Busquemos las horas en que se producen divisorias situadas en el suelo de la calle, como son, por ejemplo, las coincidentes con los bordillos de las aceras; si suponemos que C (fig. 14) es la coronación que arroja sombra, CP y CQ serán los planos cuyas intersecciones con la bóveda celeste nos interesa hallar; CP y CQ encuentran a la recta vertical DL en puntos inaccesibles, y hemos de prescindir de ellos; un plano horizontal cualquiera cortará a los tres de la bóveda celeste según rectas paralelas a sus líneas de horizonte y a los planos CP y CQ, según paralelas a AJ (figs. 15 y 13), y si escogemos el horizontal que pasa por la línea de Ecuador del plano central del tríptico, puntos como R y U nos resuelven el problema; obsérvese que la traza BY (fig. 15) se ha buscado por dos caminos diferentes: uno consiste en prolongar JU hasta que corte en Y a la línea horaria de las tres de la tarde y unir B con Y, y el otro, en hallar el

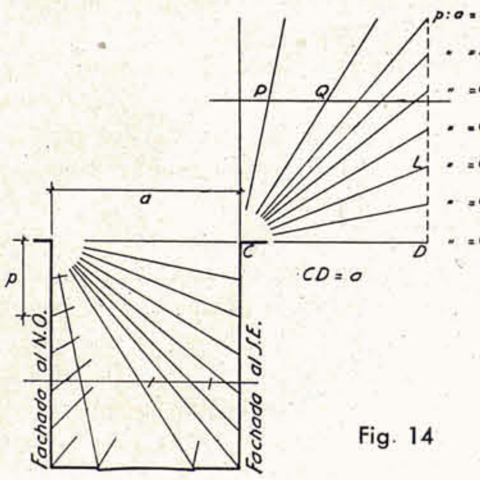


Fig. 14

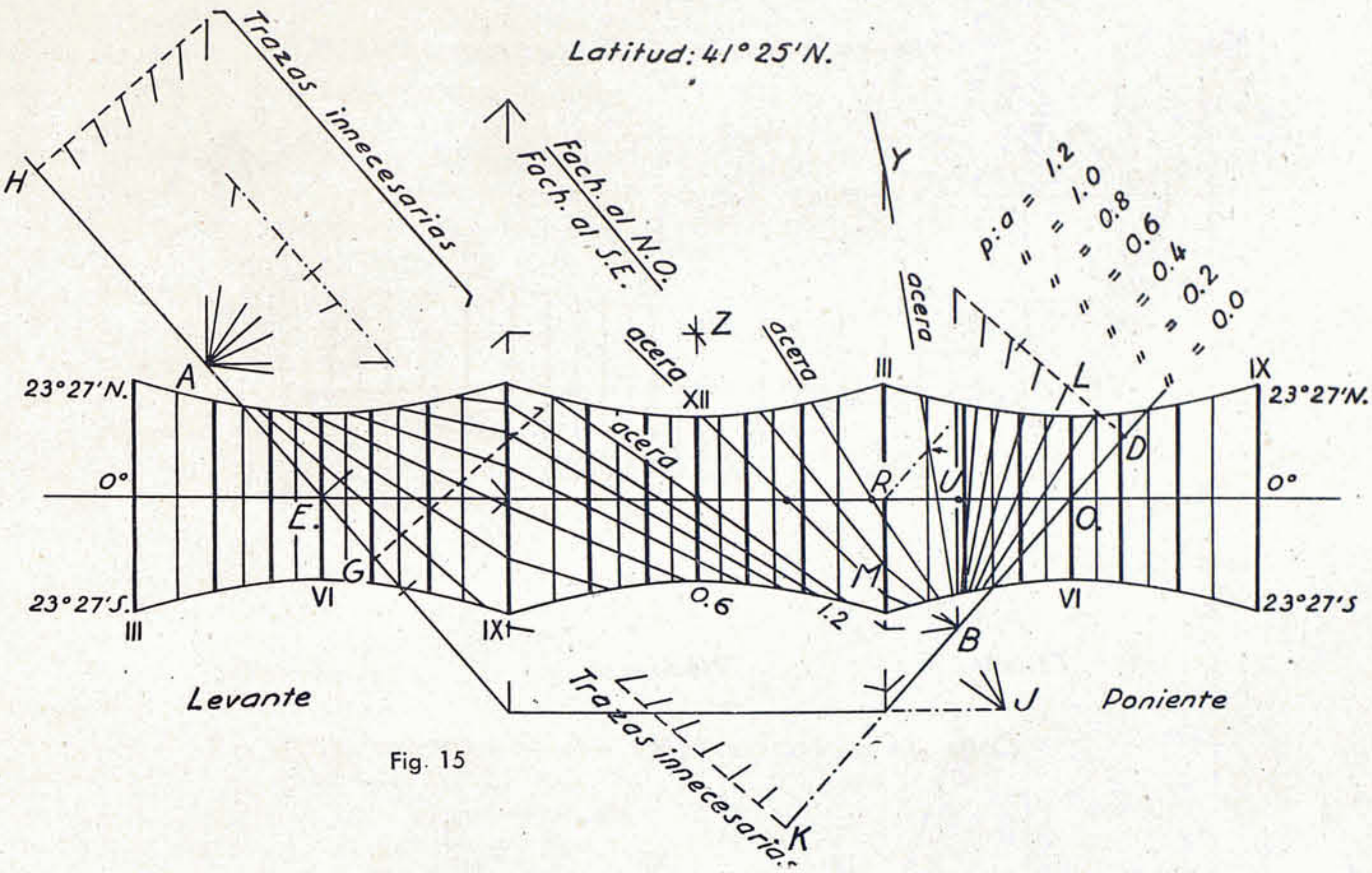


Fig. 15

punto (señalado por una flecha en el plano occidental del gráfico) en que la recta horizontal QU corta a la bóveda celeste y unirlo con B. Parece que si se han de estudiar divisorias análogas a éstas del suelo, en ciertos casos convenga substituir la sección recta de la calle por una oblicua paralela a la línea E.-O., pero no creemos que tal substitución tenga ninguna ventaja. De la figura 14 se puede suprimir todo lo que está por encima de la línea CD; en la figura 15 no se debe dibujar lo designado en ella como innecesario. A continuación damos unos ejemplos de lectura.

Fachada al N.O. — Horas en que se produce la divisoria que dista 0,4 a de la coronación:
en el solsticio de verano, a las 5 40 de la tarde;
en los equinoccios, a las 4 55 de la tarde;
en el solsticio de invierno, a las 4 10 de la tarde.

La faja de $p = 0,4\,a$ será zona soleada:
en el solsticio de verano, desde la 1 15 hasta las 5 40;
en los equinoccios, desde la 2 25 hasta las 4 55;
en el solsticio de invierno, desde las 3 28 hasta las 4 10.

Fachada al S.E. — Horas en que se produce la divisoria que dista 0,6 a de la coronación:
en el solsticio de verano, a las 5 50 de la mañana;
en los equinoccios, a las 8 50 de la mañana;
en el solsticio de invierno, a las 11 45 de la mañana.

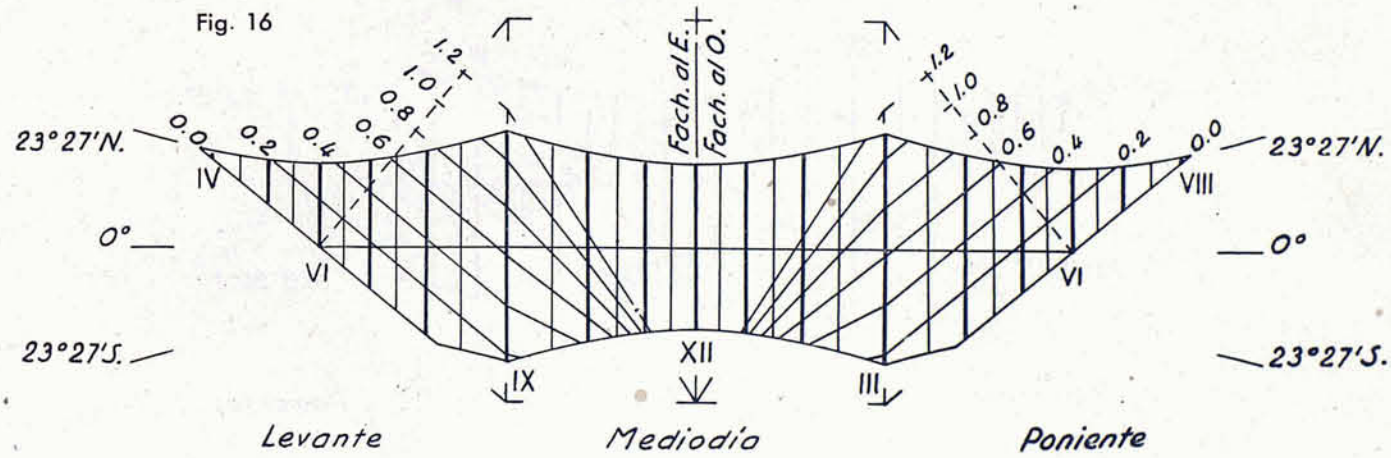
La faja de $p = 0,6\,a$ será zona soleada:
en el solsticio de verano, desde las 5 50 hasta la 1 15;
en los equinoccios, desde las 8 50 hasta las 2 25;
en el solsticio de invierno, desde las 11 45 hasta las 3 28.

Los ejemplos de las figuras 16, 17, 18 y 19 no requieren explicación; solamente advertiremos que en ellos se han dibujado *todas* las construcciones necesarias. La figura 20 es el horizonte de los casos estudiados en las 18 y 19.

Para hallar la divisoria de las zonas de luz y sombra, cuando se nos da la orientación de la calle y el momento

Calle en dirección N.-S. _ Latitud: 50°51' N.

Fig. 16



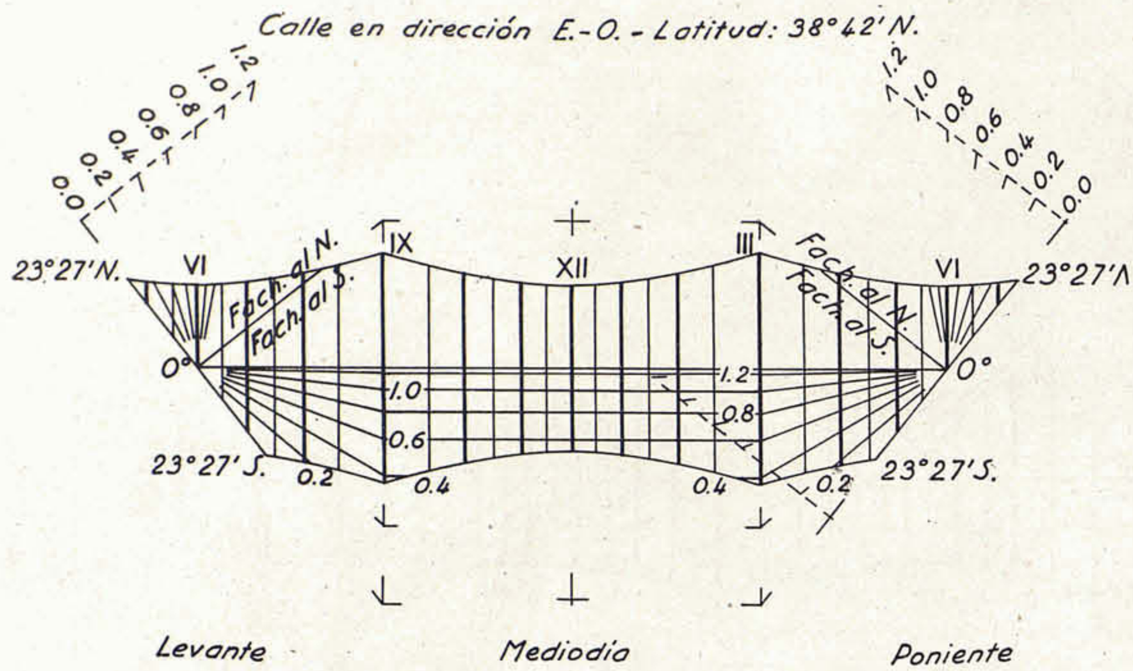


Fig. 17

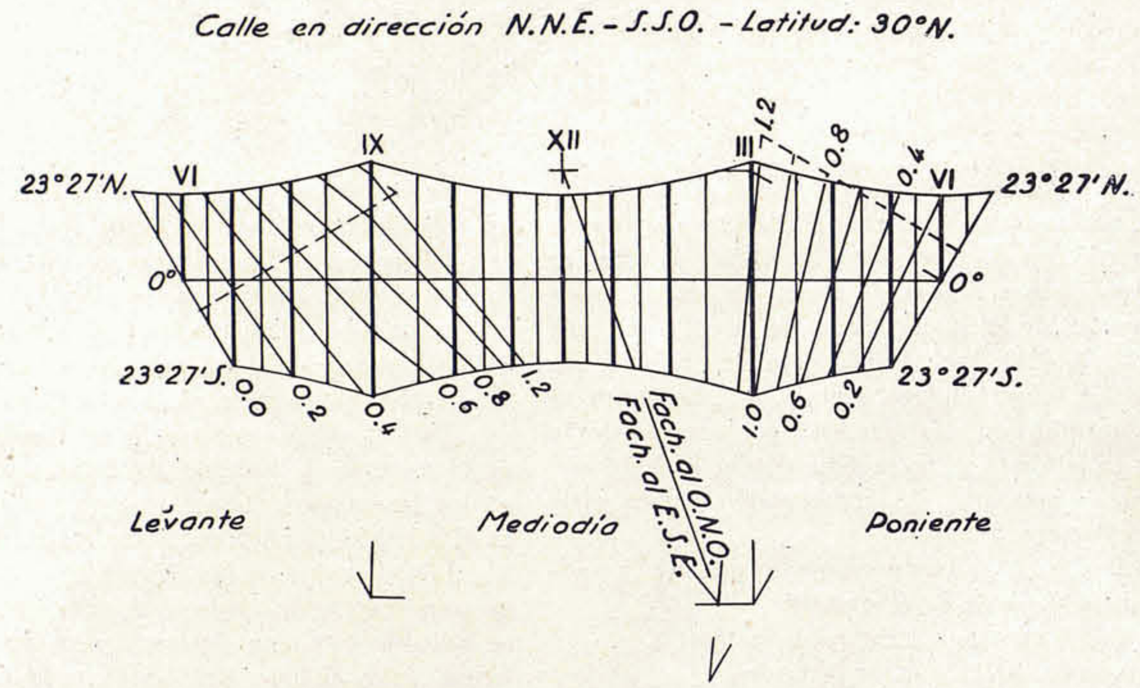


Fig. 18

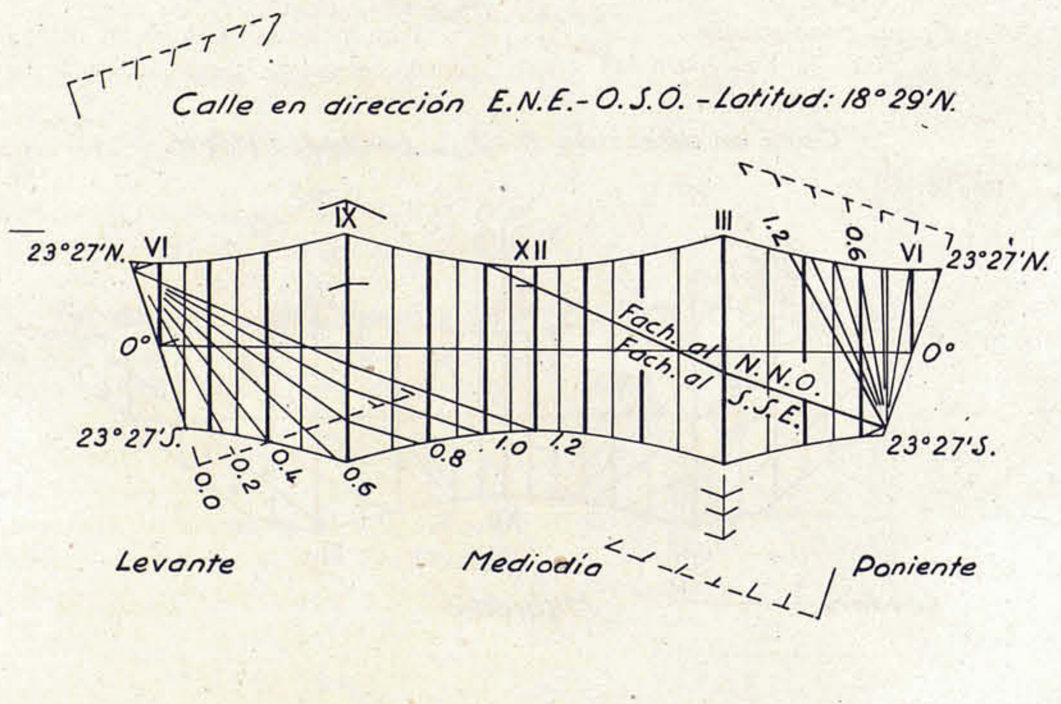


Fig. 19

del año, se han de hacer las mismas operaciones que en el problema anterior; de las figuras 15, 16, 17, 18 y 19 se deduce claramente la manera de encontrar la incógnita p.

Como último ejemplo de aplicación del «gráfico universal», determinaremos las horas de sol en un punto del interior de una habitación, cuya planta es la dibujada en la parte derecha de la figura 21; dicha pieza tiene dos ventanas: la más ancha da al S.E., y la otra, al S.O.; la recta HI representa la línea de fachada de un edificio. El punto que vamos a considerar es el T, a 80 cm. del suelo, como se ve en la figura 22, que es una sección por QJ. Si no hubiera obstáculos entre las fachadas de la habitación y la bóveda celeste, desde T se vería, por cada una de las ventanas, el área de cielo comprendida entre cuatro planos que forman una pirámide y están determinados por T y las aristas (interiores o exteriores) de jambas, dintel y antepecho de la abertura; pero el edificio HI impide que desde el punto considerado se vea la parte de cielo situada bajo el plano que pasa por T y por la línea de coronación de la fachada HI; en el gráfico de la figura 23 están dibujados con línea gruesa los polígonos que limitan las porciones de cielo visibles desde T, tanto en el supuesto de que no exista el obstáculo indicado en los datos del problema, como cuando lo hay; en este último caso, T pierde gran cantidad de horas matinales de sol durante épocas del año en que son muy necesarias. Las construcciones hechas para obtener el resultado son las de siempre; en la parte izquierda de la figura 21 está el horizonte con las trazas de los planos verticales e inclinados, cuyas intersecciones con la bóveda celeste se han de hallar; en la figura 22 se superponen dos secciones, una por QJ y otra, la incompleta, por FG; mediante las letras puestas en las tres figuras se puede seguir la marcha de las operaciones.

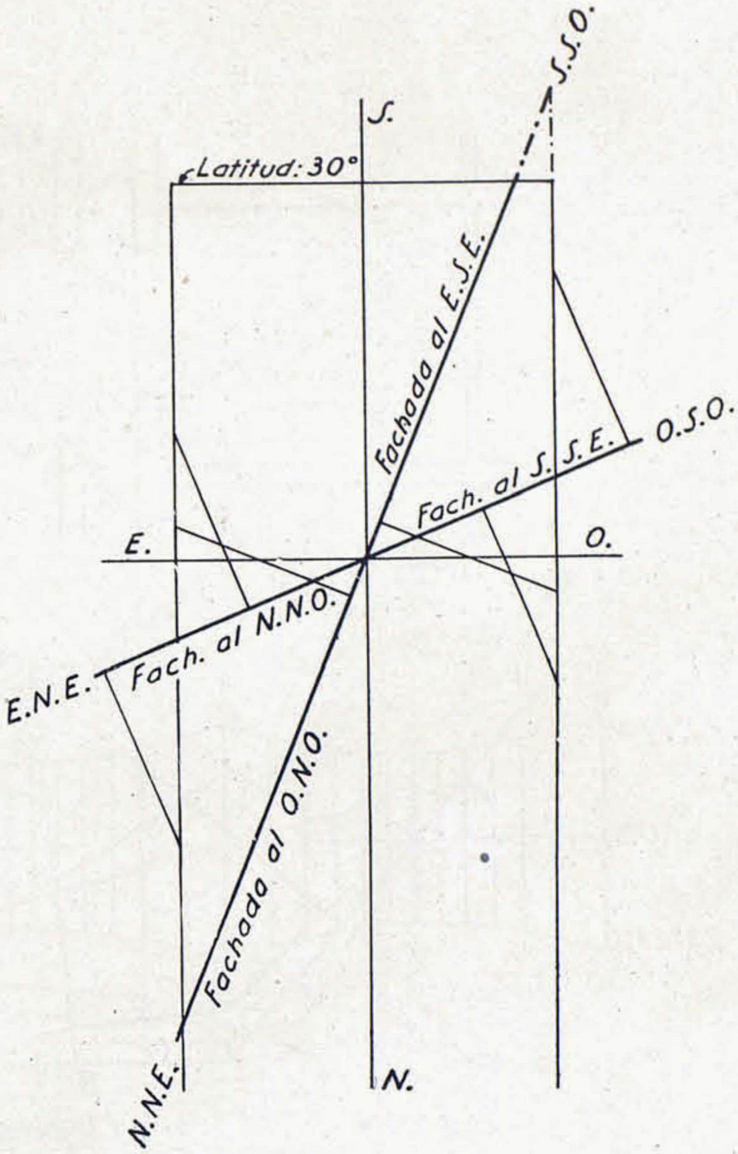


Fig. 20

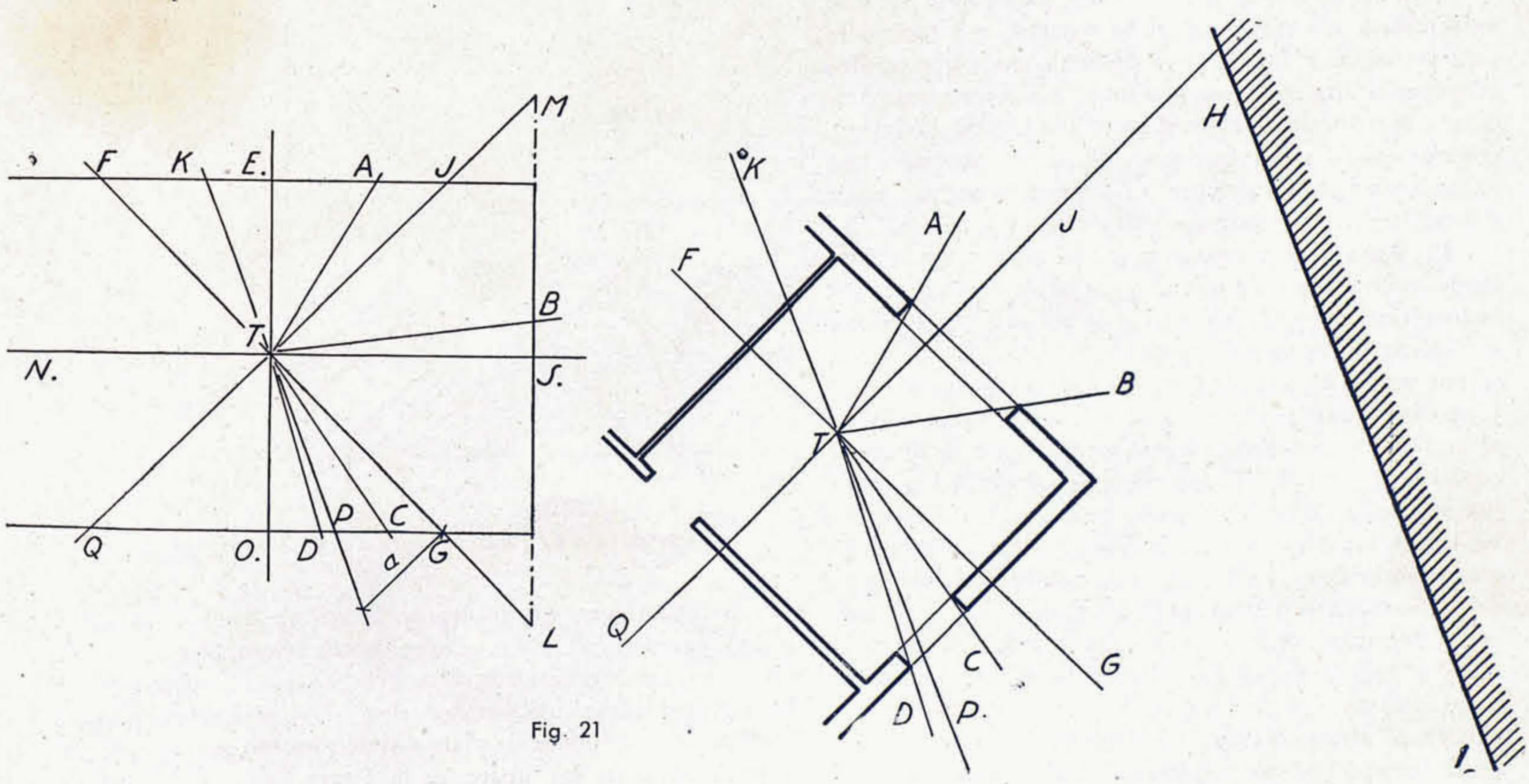


Fig. 21

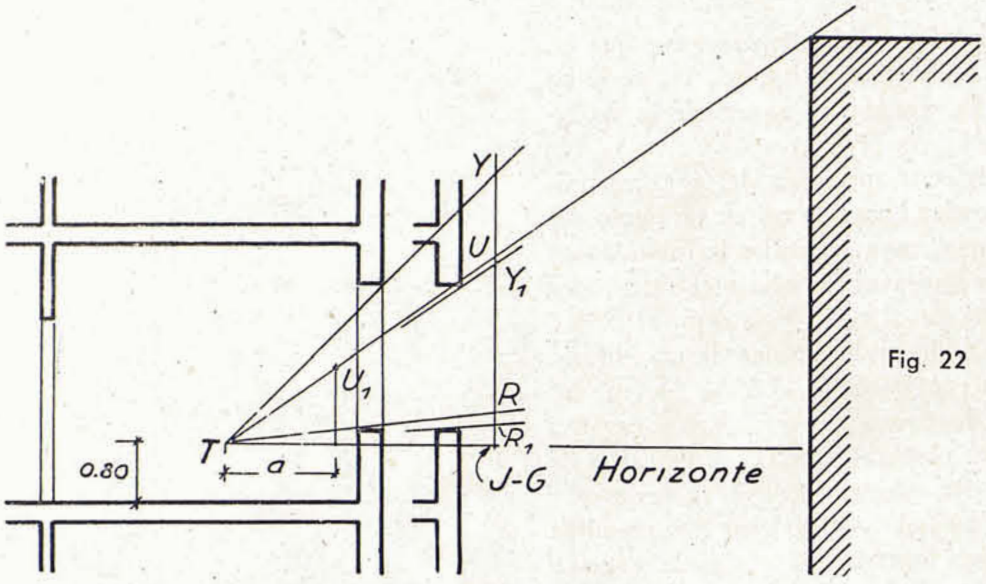


Fig. 22

Latitud: 41°25'N.

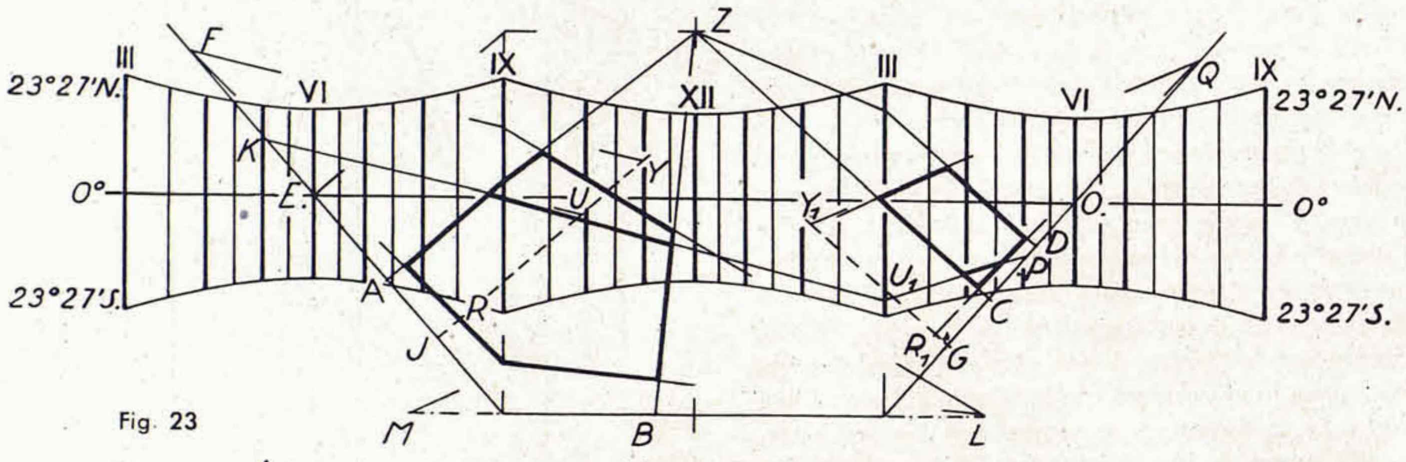
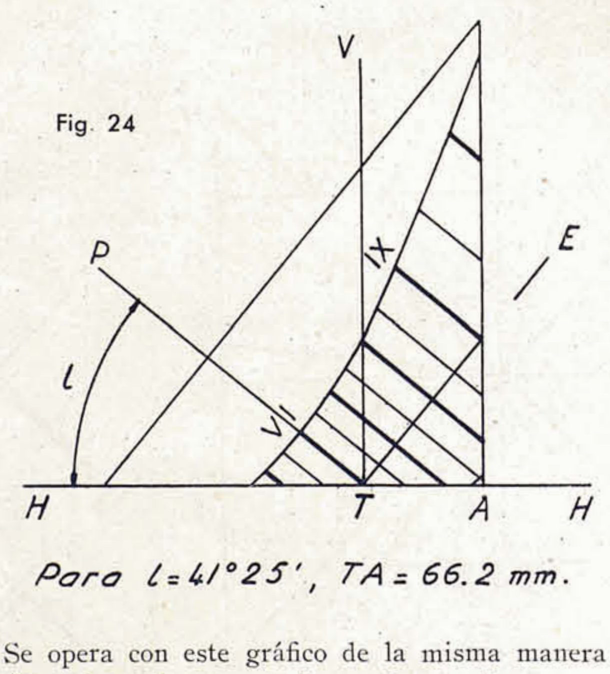


Fig. 23

Durante más de diez años hemos sometido el «gráfico universal» a una experimentación sistemática y minuciosa para ver si, al aplicarlo a los distintos casos que pueden interesar al arquitecto, se presentaban inconvenientes debidos a la naturaleza del problema o a la latitud del lugar; creemos que la extensa colección de casos estudiados nos permite afirmar que siempre las construcciones son pocas y sencillas, y los resultados obtenidos, claros.

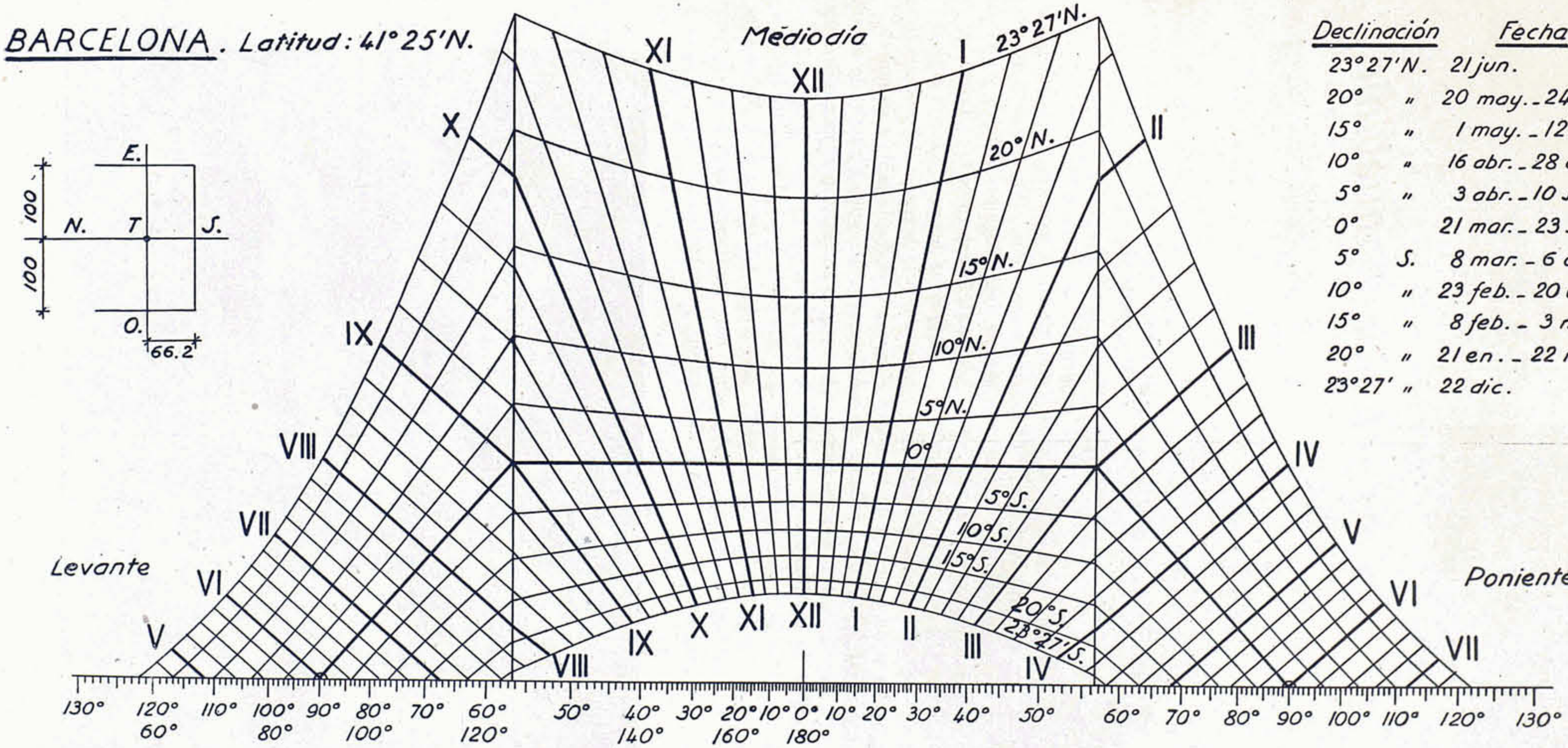
La figura 25 reproduce, a mitad de tamaño, un «gráfico local» utilizable en Barcelona y en todos los lugares del hemisferio norte, cuya latitud sea de 41° 25'. Este gráfico se obtiene interponiendo, entre la Tierra y el Sol, tres planos verticales en los que se dibujan las líneas horarias y curvas diurnas; uno de dichos planos es perpendicular al meridiano, los otros dos son paralelos a este último y equidistantes de él. En la parte izquierda del grabado hay una reducción del horizonte, en la cual están acotadas las distancias del centro de la Tierra a las trazas de los planos verticales. La figura 24 es una sección meridiana del cielo, mirando a levante; *T P, T V, T E* y *H H* son, respectivamente, el eje terrestre, la vertical del lugar, el ecuador y el horizonte; las líneas horarias y curvas de paso aparente del Sol que se ven en el dibujo, corresponden al plano oriental del tríptico; la vertical en *A* es la traza del plano perpendicular al meridiano.

Fig. 24



Para $l = 41°25'$, $TA = 66.2$ mm.

Se opera con este gráfico de la misma manera que con el «universal», y por ello no damos ninguna aplicación; en las muchas que hemos hecho para probarlo, los resultados han sido satisfactorios. Los gráficos construídos sobre trípticos de planos verticales, no son apropiados para todos los lugares de la Tierra.



Declinación		Fecha
23°27'N.		21 jun.
20°	"	20 may. - 24 jul.
15°	"	1 may. - 12 ag.
10°	"	16 abr. - 28 ag.
5°	"	3 abr. - 10 sep.
0°		21 mar. - 23 sep.
5°	S.	8 mar. - 6 oct.
10°	"	23 feb. - 20 oct.
15°	"	8 feb. - 3 nov.
20°	"	21 en. - 22 nov.
23°27'	"	22 dic.

Fig. 25