

UN INSTRUMENTO ASTRONÓMICO DE RAIGAMBRE ZARQĀLĪ: EL CUADRANTE ŠAKKĀZĪ DE IBN TĪBUGĀ

Sumario: 1. Generalidades. — 2. La azafea šakkāziyya. Estado de la cuestión. — 3. Dos manuscritos sobre el cuadrante šakkāzī. — 4. Ibn Tībugā inventor del cuadrante. Análisis de algunos datos y valores numéricos que se encuentran en el ms. C. — 5. La faz del cuadrante šakkāzī. — 6. Dorso del cuadrante. — 7. Resumen del contenido de los capítulos del ms. C. — 8. Conclusiones. — Apéndice: Dos nuevos manuscritos sobre la azafea šakkāziyya.

I. GENERALIDADES

La aportación más importante de la astronomía arábigo-española al campo de los instrumentos de observación es, sin duda, la lámina o azafea del astrónomo toledano Azarquiel.¹ Este instrumento, superación de la llamada «lámina universal» de 'Alī b. Jalaf,² sustituye el sistema de proyección estereográfica polar utilizado en los astrolabios, por una proyección sobre el plano del coluro de los solsticios, tomando como centro de proyección el punto vernal: Con ello se resuelve un problema práctico fundamental y que ya había preocupado a algunos astrónomos orientales como al-Bīrūnī:³ tener un instrumento susceptible de utilizarse en todas

1. C. BROCKELMANN, *Geschichte der Arabischen Litteratur Supl. I* (Leyden, 1937), p. 862; HEINRICH SUTER, *Die Mathematiker und Astronomen der Araber und ihre Werke* (en «Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften». — Heft X., Leipzig, 1900), art. 225, págs. 109-111; GEORGE SARTON, *Introduction to the History of Science*, vol. I (Baltimore, 1927), 758-759.

2. Sobre la lámina universal cf. MANUEL RICO Y SINOBAS, *Libros del Saber de Astronomía del Rey D. Alfonso X de Castilla. Copilados, anotados y comentados por...*, tomo III (Madrid, 1864), págs. 5-10 (trazado de la lámina) y págs. 11-132 (uso de la misma). Un claro estudio comparativo entre la lámina universal y la azafea se encontrará en el artículo de JOSÉ M.^a MILLÁS VALLICROSA, *Un ejemplar de azafea árabe de Azarquiel*, en «Al-Andalus» (Madrid), 9 (1944), pág. 113. Sobre 'Alī b. Jalaf cf. Millás, *Estudios sobre Azarquiel* (C. S. I. C.-Madrid-Granada, 1943-50), pág. 443.

3. Al-Bīrūnī parece haber concebido la idea de utilizar el coluro de los solsticios

las latitudes sin necesidad de recurrir al uso de láminas intercambiables, una por cada latitud, que hacían muy engorroso el uso del astrolabio.

Tanto la azafea como la lámina universal fueron conocidas y utilizadas en todo el orbe islámico: Ibn Qiftī nos informa de las dificultades que tuvieron los astrónomos orientales para comprender el instrumento de Azarquiel;⁴ por otra parte conservamos un ejemplar de azafea construido en Bugía⁵ y otro en Damasco;⁶ son numerosos, por último, los tratados sobre el empleo de la azafea, de muy diversa procedencia.⁷ En cuanto a la lámina universal, Millás la ha identificado con un instrumento astronómico adquirido en Iraq en 1924, sin fecha de construcción, aunque parece haber sido utilizado durante siglos en Oriente.⁸

2. LA AZAFEA ŠAKKĀZIYYA. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Una de las consecuencias de la difusión de la azafea zarqālī por el mundo islámico fue la aparición de un nuevo instrumento astronómico, la azafea *šakkāziyya*, *šakāriyya*, *šakāsiyya* o *šankāziyya*⁹, sobre el que no sabemos nada. Hasta ahora, los datos conocidos por nosotros son los siguientes:

como plano de proyección: cf. W. HARTNER, art. *Astrolāb*, en «Encyclopédie de l'islam», vol. I (2.ª ed., Leiden-Paris, 1960), pág. 748.

4. Cit. por MILLÁS, *Estudios sobre Azarquiel*, pág. 12.

5. Se conserva en la Academia de Ciencias de Barcelona. Fue construida por Muḥammad b. Muḥammad b. Huḍayl en Bugía el año 650 H./1252-53 C.: cf. MILLÁS, *Un ejemplar*, págs. 118-119.

6. Se conserva en el South Kensington Museum. Fue construido por 'Abd al-Raḥman b. Yūsuf en 508 H./1202 C. Cf. Robert T. GUNTHER, *The Astrolabes of the World*, vol. I (Oxford, 1932), pág. 233 (n.º 102).

7. MILLÁS, *Estudios sobre Azarquiel*, págs. 433 y 447-449.

8. MILLÁS, *Un ejemplar*, pág. 113; nota 2. Se trata del instrumento n.º 140 del catálogo de Gunther: cf. *The Astrolabes of the World*, I, 285-286.

9. Véase la importante recensión y crítica al artículo de Maitrot de la Motte citado *infra* en nota (24) que publicó H. P. J. Rénaud, en «Hespéris», 27 (1941), págs. 109-112. Para Rénaud la forma correcta sería *šakkāziyya* cuyo origen habría que buscar en el nombre de oficio *šakkāz* «qui prépare les peaux blanches, mégissiers». Nos sentimos muy tentados a aceptar esta etimología (y a ello se debe la grafía *šak-kāzī* utilizada a lo largo del presente trabajo), dada la existencia en Toledo, en el siglo XII, de un barrio de los «correeros» o curtidores de pieles (*al-šakkāzin*) que, según González Palencia, estaría, quizá, situado en el Arrabal de los Francos. Por otra parte, dieciséis documentos editados por este autor y fechados entre 1181 y 1290 contienen referencias a personajes denominados *al-šakkāz*. Cf. Ángel GONZÁLEZ-PALENCIA, *Los mozárabes de Toledo en los siglos XII y XIII* (Instituto de Valencia de Don Juan, 4 vols., Madrid, 1926-1930), vol. preliminar, pág. 58 y docs. n.º 152, 323, 327, 370, 536, 543, 568, 589, 600, 615, 645, 698, 701, 962, 1035 y 1046. Cf. también J. SAMSÓ, *Nota acerca de cinco manuscritos sobre astrolabio*, «Al-Andalus», 31 (1966), pág. 391, nota 3.

a) La referencia más antigua parece ser la que nos ofrece Abū 'Alī al-Hasan al-Marrākušī (m. c. 1262)¹⁰ quien, en su célebre tratado sobre instrumentos astronómicos, traducido por Sédillot, menciona el instrumento llamado *šakkāziyya* y lo relaciona con la azafea de Azarquiel.¹¹

b) Los bibliógrafos de Ibn al-Bannā' de Marrākiš (1256-1321)¹² le atribuyen dos *risālas*: una sobre la azafea zarqāliyya y otra sobre la *šakkāziyya*. Desgraciadamente sólo conservamos un fragmento de la primera, en el ms. Escorial 918 (915 de Casiri)¹³.

c) Ḥayyī Jalifa en su *Kašf al-Zunūn* nos informa acerca de una serie de obras tardías escritas acerca del cuadrante (*rub'*) *šakkāzi*:

— Su inventor fue el astrónomo egipcio (¿de origen turco?) Šihāb al-Dīn Abū-l-'Abbās Aḥmad b. Raḡab b. Ṭibugā, conocido por Ibn al-Maḡdī (1358/59 - 1447)¹⁴, quien escribió una *Risāla fi-l-rub' al-šakkāziyya* (*sic*) que, en unas versiones consta de diez capítulos (*fuṣūl*) y en otras de dieciséis capítulos (*bāb*). Ḥayyī Jalifa describe el instrumento diciendo que «consta de paralelos a la línea equinoccial»: *wa hiya 'alā muqantarāt jatt al-istiwā'*¹⁵.

— El astrónomo turco Maḥmūd b. Muḥammad, conocido por Miram Čalabī (m. 1524-25)¹⁶ escribió dos *risālas* sobre este cuadrante, ambas por orden del sultán Bā Yazīd Jān (Bayaceto II)¹⁷.

10. SARTON, *I. H. S.*, II, 621-622.

11. En el ms. árabe 1148 de la Biblioteca Nacional de París, fol. 108 y ss., Abū-l-Hasan se ocupa de *Fi taṣṭiḥ al-qaṣiḥa al-zarqāla wa-l-šakkāziyya*. SÉDILLOT, que lo ha estudiado en su *Mémoire sur les instruments astronomiques des arabes* (en «Mémoires présentés par divers savants à l'Académie Royale des Inscriptions et Belles Lettres de l'Institut de France» 1^{re} série, vol. I (1844), págs. 1-229), se limita a comentar «Ce dernier instrument, appelé par Aboul-Hassan *Chehasiah* diffère peu du *shafiah* d'Arzachel» (*op. cit.*, pág. 183, n. 8); cf. también SÉDILLOT, *op. cit.*, pág. 191.

12. Sobre este autor, cf. fundamentalmente H. P. J. RÉNAUD, *Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. II. - Ibn al-Bannā' de Marrakech, sūfi et mathématicien (XIII^e-XIV^e S. de J. C.)*, «Hespéris», 25 (1938), págs. 13-42; y Juan VERNET GINÉS, *Contribución al estudio de la labor astronómica de Ibn al-Bannā'*, Tetuán, 1951.

13. RÉNAUD, *Ibn al-Bannā'* cit., págs. 30 y 40.

14. BROCKELMANN *GAL*, II, 128, y *GALS*, II, 158; SUTER, *Mathematiker*, n.º 432, págs. 175-177, y *Nachträge*, pág. 228; SARTON, *IHS*, III, 1528-1529. Ninguno de los tres cita la obra a la que nos vamos a referir.

15. *Kašf al-Zunūn* ed. Flügel, III, 401 (n.º 6144); ed. Istanbul, págs. 866 y ss. (donde el título es *R. fi-l-rub' al-šakkāzi*). Para atribuirle la invención de este cuadrante seguimos la ed. Istanbul que dice que este autor fue el *mubtakir* de este instrumento (ed. Flügel sustituye este término por *munkir*, que no parece tener sentido). No teniendo la obra de Ḥayyī Jalifa a nuestra disposición en Barcelona, debemos estos datos, así como los que siguen, a la amabilidad del señor Michel Boisset, de la Sección de Manuscritos de la Biblioteca Nacional de París.

16. Sobre este autor cf. SUTER, *Mathematiker*, n.º 457 (pág. 188), y *Nachträge*, pág. 228.

17. *Kašf al-Zunūn* ed. Flügel III, 401 (n.º 6143). Es posible que la primera de las dos *risālas* se refiriera a la construcción del instrumento y la segunda a su utilización: el texto de la ed. cit. da a la primera el título de *R. fi-l-rub' al-šakkāziyya* (*sic*).

— Otro astrónomo turco de fama, Muḥammad b. Ma'rūf b. Aḥmad, llamado Taqī al-Dīn (1525/26- 1585), fundador y director del observatorio de Istambul y profundamente interesado por el perfeccionamiento de los antiguos instrumentos astronómicos y la invención de otros nuevos¹⁸, escribió una *risāla* sobre el cuadrante, a la que Ḥayyī Jalifa califica de resumen (*waḥīza*), dividida en diez capítulos¹⁹.

— Ḥayyī Jalifa, por último, habla de una tal Aḥmad b. 'Umar al-Šādīlī²⁰, autor de una *Risālat zarqālat al-šakkāzī*, aclarando, a continuación, *wa hiya [zarqālat al-šakkāzī] al-rub' al-šakkāzī*. Asimismo cita otra *Risāla fi-l-rub' al-šakkāzī* de autor anónimo²¹.

d) Rénaud²² afirma, asimismo, que 'Abd al-Raḥmān al-Fāsī (s. xvii), en un gran poema didáctico titulado *Kitāb al-uqnūm fi mabādī al-'ulūm*, cita la azafea *šakkāziyya*, relacionándola con la *zarqāliyya*.

e) El mismo Rénaud estudió el ms. 2544 de la Biblioteca Nacional de París, que contiene un opúsculo dedicado a este tipo de azafea, y halló que el instrumento descrito no difería en nada de la azafea de Azarquiel²³.

f) A. Maitrot de la Motte²⁴ estudió un tipo de cuadrante en el que creyó haber descubierto un «astrolabio» *šakkāzī*. Rénaud afirmó, en cambio, que el instrumento en cuestión era una variante bien conocida del llamado «cuadrante de senos».

y a la segunda el de *R. fi-l-'amal bi-hi [bi-l-rub']*. La ed. Istambul (págs. 866 y ss.) no confirma esta suposición, ya que atribuye a ambas el título de *R. fi-l-rub' al-šakkāzī*.

18. SUTER, *Mathematiker*, n.º 471 (págs. 191-192), y *Nachträge*, pág. 228; AYDIN SAYILI, *The Observatory in Islam and its place in the general history of the observatory* («Publications of the Turkish Historical Society». Series VII, n.º 38. Ankara, 1960), págs. 289-305.

19. *Kašf al-Zunūn*, ed. Flügel, n.º 6143, III, pág. 401; ed. Istambul, págs. 866 y ss.

20. Puede tratarse del astrónomo Yamāl (Šihāb) al-Dīn Abū-l-'Abbās Aḥmad b. 'Umar b. Ismā'il al-Šūfī al-Maqdisī (s. XIII: vivía en 675/1276: cf. BROCKELMANN, *GAL*, I, 474 y 495, y *GALS* I, 869; SUTER, *Mathematiker*, n.º 383, pág. 158). Probablemente es el mismo personaje cit. en *GAL*, II, 118, bajo el nombre de Šihāb al-Dīn Abū-l-'Abbās Aḥmad b. 'Umar al-Anšārī al-Mursī (m. 686/1287), discípulo del šūfī Taqī al-Dīn Abū-l-Ḥasan 'Alī b. 'Abd Allāh b. 'Abd al-Gabbār al-Šādīlī (m. 656/1258) (cf. *GAL*, I, 249). De ser acertada esta identificación, se trataría de una de las referencias más antiguas a la azafea *šakkāziyya*, y ya que, según parece, hay que atribuir la invención del cuadrante de este nombre a Ibn Ṭibugā, la observación de Ḥayyī Jalifa según la cual la *Zarqālat al-Šakkāzī* y el cuadrante son un mismo instrumento, sería inexacta.

21. *Kašf al-Zunūn*, ed. Flügel, n.º 6165 y 6145 (III, págs. 407 y 401, respectivamente).

22. Cf. la recensión citada de RÉNAUD en «Hespéris», 28 (1941), pág. 110.

23. RÉNAUD, en «Hespéris», 28 (1941), págs. 110-111.

24. A. MAITROT DE LA MOTTE, *Un astrolabe shakaziyyi*, en «Bulletin de la Société de Géographie d'Alger et de l'Afrique du Nord», 1940, págs. 108-137. No hemos podido ver este trabajo.

g) Uno de nosotros estudió, por último, el ms. 1135 de la Biblioteca 'Abdaliyya de Túnez, titulado *Riṣālat al-ṣaḥīḥa al-šakkāziyya*, fechado en 1128/1175, llegando a la misma conclusión que Rénaud con el ms. 2544 de París²⁵.

De esta larga enumeración, puramente negativa, en la que no hemos hecho sino reelaborar elementos ya contenidos en la interesante recensión de Rénaud tantas veces citada, podemos concluir la existencia de dos instrumentos astronómicos: la azafea y el cuadrante šakkāzīes. El primero de ellos, por lo menos, está íntimamente relacionado con la azafea de Azarquiel, y debió surgir en un momento comprendido entre la segunda mitad del siglo XI²⁶ y 1230, fecha aproximada de la redacción del tratado de Abū-l-Hasan. A fines del siglo XIV o principios del XV, Ibn Ṭibugā derivó de ella el cuadrante del mismo nombre, instrumento que tuvo un cierto éxito hasta fines del siglo XVI en el Oriente islámico. En cuanto a la azafea, tenemos referencias acerca de ella hasta el siglo XVIII.

3. DOS MANUSCRITOS SOBRE EL CUADRANTE ŠAKKĀZĪ

A) *Manuscrito 64 miqāt de la Dār al-Kutub al-Miṣriyya del Cairo*²⁷.

Su título es *Risāla fī rub' al-šakkāziyya* y ha sido descrito muy brevemente en el Catálogo del Instituto de Manuscritos de la Liga Árabe²⁸. Consta de 11 folios escritos por ambas caras y numerados del 64 al 74. Cada cara tiene 27 líneas escritas con letra oriental excepcionalmente clara y a dos tintas (los títulos de los capítulos, cifras, etc., van en tinta distinta a la del resto del manuscrito). Consta de introducción y veinte capítulos, el último de los cuales está incompleto.

Una nota marginal en el fol. 64 a reza *Li-Ibn Ṭibugā*. Resulta difícil determinar si realmente nos encontramos ante la *risāla* sobre el cuadrante

25. Cf. el art. de J. SAMSÓ, cit. en nota (9).

26. Azarquiel vivió entre c. 1029 y c. 1087. A la vista de lo apuntado *supra* en nota (9) cabe plantearse la posibilidad de que la azafea šakkāzī sea, como la de Azarquiel, una invención toledana.

27. Debemos las fotocopias de este manuscrito, así como las de los otros dos de la misma procedencia que estudiaremos en el apéndice, a la gentileza de nuestro buen amigo el gran bibliógrafo egipcio Rašād 'Abd al-Muṭālib, a quien queremos expresar aquí todo nuestro agradecimiento.

28. Paul KUNITZSCH, *Fihris al-Maǧtūāt al-muṣawwara. Al-ʿyuz' al-tālīt: al-'ulūm. Al-qism al-awwal: al-ʿalāk, al-tanfīm, al-miqāt*. (Yāmi'at al-Duwal al-'Arabiyya. -Ma'had al-Maǧtūāt al-'Arabiyya. El Cairo, s. d.), n.º 77, pág. 42. Este catálogo fecha el manuscrito en el año 803 H/1400-1401 C, con lo que éste sería contemporáneo de su autor presunto. No sabemos en qué se basa para determinar esta fecha: en las fotocopias del manuscrito que hemos estudiado no hay el menor rastro de ella.

šakkāzī que Ḥayyī Jalīfa atribuye, según hemos visto, a este autor: no coinciden ni el número de capítulos ni el *incipit* del manuscrito²⁹. Por otra parte, nada tendría de particular el que, amén de las dos versiones en diez y dieciséis capítulos a las que se refiere Ḥayyī Jalīfa, Ibn Ṭibugā hubiera escrito una tercera, recogida por este manuscrito. En cualquier caso se trata de un texto de un indudable interés, y en él hemos basado nuestro trabajo.

B) *Manuscrito 108 R de la Biblioteca 'Abdaliyya de Túnez*³⁰

Su título es *Risāla bi-l-išāra-l-ḥathīyya fī-l-'amal bi-rub' al-šankā-ziyya* (sic) y su autor Abū-l-Fattāḥ b. 'Abd al-Raḥmān al-..... (ilegible) al-Sāfi'r³¹, según nos indica el *incipit* del manuscrito (fol. 8 b). Consta de 14 folios escritos por las dos caras (los dos primeros numerados por una mano moderna con los números 8 y 9: hemos seguido correlativamente esta numeración para los folios sucesivos). La letra es magrebí elegante y clara. Los títulos de los capítulos y algunas expresiones que indican división o cambio de tema están escritos con letra de tamaño mayor y de distinto color. El texto está dividido en introducción, prólogo (*muqaddima*), 15 capítulos y epílogo (*jalima*).

Como veremos a continuación el instrumento descrito en esta *risāla* es una simplificación del cuadrante šakkāzī del manuscrito atribuido a Ibn Ṭibugā. En las páginas que siguen realizaremos un cotejo entre ambos textos³².

4. IBN ṬIBUGĀ, INVENTOR DEL CUADRANTE. ANÁLISIS DE ALGUNOS DATOS Y VALORES NUMÉRICOS DE ÍNDOLE GENERAL QUE SE ENCUENTRAN EN EL MS. C.

El *incipit* del manuscrito A, que acabamos de describir, nos confirma en la suposición que hemos hecho al principio de este trabajo, al atribuir la invención de este instrumento a Ibn Ṭibugā³³. Abū-l-Fattāḥ b. 'Abd

29. Según Ḥayyī Jalīfa (*Kaṣf al-Zunūn*, ed. Flügel III, 401), el *incipit* de la versión en 10 capítulos es: *al-ḥamd li-llāh ḥamdan yaliq bi-ḥalālihi*; el de la versión en 16 caps. es: *al-ḥamd li-llāh allādī jalāqa-l-samawāt*, etc. El *incipit* del ms. que estudiamos reza, después de la *basmala*: *al-ḥamd li-llāh rabb al-'alamin wa-l-ṣalāt wa-l-salām 'alā sayyidina Muḥammad jātim al-naviyyin*, etc.

30. Este manuscrito fue fotocopiado en Túnez por Miguel Epalza, por encargo del Prof. D. Juan Vernet, quien nos lo cedió para su estudio. Nuestro agradecimiento a ambos.

31. No hemos conseguido identificar a este autor.

32. Citaremos el ms. 'Abdaliyya 108 R como manuscrito A, y el ms. 64 *miqāt* de la Dār al-Kutub al-Miṣriyya como ms. C.

33. Cf. *supra* nota 15.

al-Rahmān, su autor, nos dice: «Me pidió alguien que tiene derecho a considerarse como uno de mis hermanos que le dedicara una *risāla* adecuada sobre la utilización del cuarto de círculo que recibe el nombre de cuadrante de la *ṣankāziyya*, sobre el que están trazados paralelos a la línea equinoccial³⁴, y que fue inventado por el maestro 'Alā al-Dīn Ṭibugā al-Dawādār al-Baklamišī, sea sobre él la misericordia divina...» (ms. A fol. 8 a). Esta atribución, por otra parte, puede muy bien relacionarse con el hecho de haber sido Ibn Ṭibugā autor de gran número de tratados sobre instrumentos astronómicos y, muy particularmente, cuadrantes, y, por otra parte, pudo haber conocido la obra de Ibn al-Bannā' sobre la azafea *ṣakkāziyya*, del mismo modo que conoció y comentó el *Taljīs* del mismo autor³⁵.

Por otra parte, Ibn Ṭibugā (en caso de que le consideremos autor del manuscrito C), si bien ha diseñado un instrumento que, como veremos, es de raigambre típicamente zarqālī, disiente de Azarquiel en algunos puntos. Así, por ejemplo, no acepta la teoría de la trepidación defendida por Azarquiel³⁶, y se manifiesta partidario de la precesión de los equinoccios diciéndonos (ms. C, fol. 66 a) que «cuando transcurren 72 años lunares y 36 días, se produce un avance en la Eclíptica de un grado», estimación que corresponden aproximadamente a la de los Banū Amāyūr, Ibn al-'Alam, Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī, Ulug Beg, etc.³⁷ Lo mismo ocurre con su estimación de la oblicuidad de la Eclíptica: mientras Azarquiel considera que la oblicuidad oscila entre $23^{\circ} 33'$ y $23^{\circ} 53'$ ³⁸, creencia que está de acuerdo con su noción de la trepidación, Ibn Ṭibugā acepta la estimación de Ibn al-Šātīr que evalúa la oblicuidad en $23^{\circ} 31'$ ³⁹. Por otra parte, en la

34. Cf. *supra* la caracterización que Ḥaḥyī Jalīfa hace del cuadrante de Ibn Ṭibugā.

35. Una selección de textos del comentario de Ibn Ṭibugā al-*Taljīs* de Ibn al-Bannā' ha sido traducida por F. Woepcke y Ar. Marre en *Passages relatifs à des sommations de séries de cubes extraits de deux manuscrits arabes inédits du British Museum de Londres, suivis d'extraits du Talkhys d'Ibn Albannā*. Separata del «Journal de Mathématiques pures et appliquées» (Paris), 10, 2^{ème} série (1865), 54 págs. (cf. especialmente págs. 3-31).

36. MILLÁS, *Estudios sobre Azarquiel*, págs. 299, 321, 322 y 324; cf. también MILLÁS, *La traducción latina del «Liber de motu octave sphere» de Ṭābit ibn Qurra*, en «Nuevos estudios sobre Historia de la Ciencia Española» (Barcelona, 1960), páginas 191-209.

37. 72 años lunares y 36 días corresponden, aproximadamente, a 69,98 años solares (considerando que un año solar contiene 365,24 días). La estimación citada corresponde asimismo a la de $51.46''$ por año solar. Todo ello coincide con la de los autores a los que nos hemos referido que consideran que la precesión es de 1 grado en 70 años, o bien de $51.4''$ por año: cf. SÉDILLOT, *Mémoire sur les instruments astronomiques des arabes*, págs. 20-21; L. P. E. A. SÉDILLOT, *Prolegomènes des tables astronomiques d'Uloug Beg. Publiés avec notes et variantes et précédés d'une introduction par...* (2 vols., París, 1847 y 1853), II, 289; SAYILI, *The Observatory in Islam*, pág. 78.

38. MILLÁS, *Estudios sobre Azarquiel*, págs. 248 y 325-337.

39. Ms. C, fol. 65 a *in fine*: cf. SARTON, *IHS*, III, 1524. El ms. A (fol. 11 a), en

determinación de longitudes, mientras Azarquiel utilizó como meridiano origen el llamado «meridiano de agua», situado a $28^{\circ} 30'$ al oeste de Toledo⁴⁰, Ibn Ṭibugā nos dice que el origen se encuentra en la «costa del mar occidental» (ms. C, fol. 66 a), lo que hay que interpretar como el límite o extremo occidental de la costa africana⁴¹.

Resulta muy interesante, por último, su interés por determinar con exactitud la extinción del crepúsculo vespertino (*šafaq*) y la aparición del alba (*faʿr*) y su crítica del descuido con que efectuaban estas operaciones los *muwaqqit* del Cairo en su tiempo. Todo ello se encuentra en el cap. 15 (fol. 70 a - 70 b) de la *risāla* recogida en el ms. C, capítulo consagrado a la determinación de las horas canónicas. El párrafo que nos interesa dice así:

«El *dāʿir*⁴² de estos dos momentos (*faʿr* y *šafaq*) se llama *hiṣṣat al-faʿr* y *hiṣṣat al-šafaq*⁴³. Existe disparidad de criterios en lo relativo a su determinación: para los autores antiguos tiene lugar cuando la altura del nadir del grado del sol coincide con el almucantarát 18° ⁴⁴. En Marruecos (*Marrākiš*) y países que le siguen el *faʿr* se encuentra a 25° y el *šafaq* a 16° , siendo esta la costumbre adoptada en Egipto. Para Naṣīr [al-Dīn] al-

cambio, acepta la estimación de al-Battānī e Ibn Yūnus, de $23^{\circ} 35'$: cf. SARTON, *IHS*, I, 603 y 716.

40. MILLÁS, *Estudios sobre Azarquiel*, pág. 49; L. Am. SÉDILLOT, *Mémoire sur les systèmes géographiques des Grecs et des Arabes* (Paris, 1830), págs. 19 y ss.; John KIRTLAND WRIGHT, *Notes on the knowledge of latitudes and longitudes in the Middle Ages*, en «*Isis*» (Bruges), 5 (1923), pág. 90.

41. Abū-l-Fidā', *Kitāb taqwīm al-buldān* (ed. M. Reinaud y el Barón Mac Guckin de Slane. Paris, 1840), pág. 7, nos habla de la utilización de dos meridianos origen: el que pasaba por las Islas Afortunadas (ya lo utilizó Ptolomeo y fue también adoptado por al-Jwārizmī: cf. WRIGHT, *Notes on the knowledge*, pág. 89) y el que pasaba por la costa del mar occidental, adoptado por los autores «modernos» (*al-muta'ajjirūn*), existiendo entre ambos una distancia de diez grados medidos sobre el Ecuador. En el mismo sentido se expresa al-Bīrūnī, *Kitāb taḥdīd nihāyāt al-amākin li-tashīh masājāt al-masākin* (ed. B. Boulgakof en «*Revue de l'Institut des Manuscrits Arabes*», del Cairo, vol. 8, 1962), págs. 156-157.

42. Entiende por *al-dāʿir* el arco de Ecuador comprendido entre su intersección con el horizonte y un momento dado (ms. C, fol. 68 b). Cf. también el ms. A, fol. 13 b, donde se define en término en el mismo sentido, aunque de manera algo distinta.

43. *Hiṣṣat al-faʿr* y *hiṣṣat al-šafaq* serán, por consiguiente, los arcos de Ecuador (o del paralelo descrito por el sol) comprendidos entre la intersección del paralelo con el horizonte y su intersección con el almucantarát correspondiente a los dos momentos del *faʿr* y del *šafaq*, respectivamente. Sigue, a continuación, la exposición de cuáles deban ser estos almucantarates.

44. El valor 18° corresponde a nuestro actual crepúsculo astronómico y coincide, aproximadamente, con el instante en que aparecen las estrellas de sexta magnitud. En la Edad Media utiliza este valor Azarquiel, entre otros muchos: cf. Don Profeít TIBBON, *Tractat de l'Assafea d'Azarquiel* (ed. de los textos hebreo y latino y traducción catalana de J. Millás i Vallicrosa. Barcelona, 1933), capítulo 27, págs. 77-78 (especialmente nota 1 de la pág. 78). Cf. también SÉDILLOT, *Mémoire sur les instruments astronomiques des arabes* pág. 93.

Ṭūsī⁴⁵, Mu'ayyad [al-Dīn] al-'Urđī⁴⁶ y gran número de sabios el *fa'yr* se encuentra a 19° y el *šafaq* a 17°⁴⁷, costumbre que se sigue en Siria y demás países de Oriente.»

Sigue el autor diciendo que esto último debe llevarse a cabo en cada país sin tomar el nivel del mar como horizonte, dadas sus diferencias de nivel, sino desde las montañas, por ambos lados, este y oeste, o por uno de los dos. El horizonte verdadero se encuentra entre uno de los dos puntos cardinales y el cenit, situado a 90°. Afirma que se ha demostrado geométricamente que la parte del cielo que está visible es mayor que la parte oculta, especialmente en las cumbres de las montañas. «Pero en los tratados sobre determinación de las horas canónicas no se menciona esto y se opera, quizás, sin tenerlo en cuenta, para determinar la ruptura del ayuno de Ramadán, tal como hemos visto que se hace en una ciudad como El Cairo (*Miṣr*) custodiada por un enjambre de expertos en esta cuestión.»

La larga cita anterior resulta interesante por varios conceptos. En ella vemos claramente que su autor no es simple *muwaqqit* que, preocupado únicamente por la determinación aproximada de las horas canónicas de la oración, se limite a exponer la manera de utilizar un instrumento astronómico como el cuadrante *šakkāzī*. Los datos consignados nos muestran a un auténtico astrónomo, que está al corriente de la labor llevada a cabo por Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī en el observatorio de Marāga y que considera que la labor de los *muwaqqit* debe llevarse a cabo con la mayor precisión y el máximo rigor científico posible: de ahí su comentario, no exento de una cierta ironía, acerca de los que ejercían esta profesión en El Cairo⁴⁸. Todo ello nos lleva a sospechar que, en efecto, el autor de la *risāla* que estudiamos sea Ibn Ṭibugā quien, además de ser un astrónomo de talla, fue, quizá, *muwaqqit* o, al menos, experto en *miqāt*⁴⁹.

45. BROCKELMANN, *GAL*, I, 508, y *GALS*, I, 924; SUTER, *Mathematiker*, art. 368, págs. 146-153; SARTON, *IHS*, II, 1001-1013.

46. BROCKELMANN, *GALS*, I, 869; SARTON, *IHS*, II, 1013.

47. Es el valor utilizado en el ms. A, fol. 15 a: cf. también otros autores citados por SÉDILLOT, *Mémoire sur les instruments astronomiques des Arabes*, pág. 94.

48. Este comentario nos hace pensar en que su contemporáneo, el matemático y astrónomo persa Giyāṭ al-Dīn al-Kāšī (m. c. 1436-37: cf. SUTER, *Mathematiker*, art. 429, págs. 173-174) se quejaba de que, en su tiempo, no existieran astrónomos que dominaran el aspecto teórico y el práctico de su ciencia. Algunos de ellos sólo podían hacer cálculos abriendo un libro y siguiendo sus instrucciones línea por línea y paso por paso: cf. SAYILI, *The Observatory in Islam*, págs. 250-251.

49. KŪRKĪ-ʿAWĀ! lo llama al-Miqāti en *Al-Asturlāb wa mā ullaḥa fihi min kutub wa rasāʾil fi-l-ʿuṣūr al-islāmiyya*, en «Sūmir» (Bagdad), 13 (1957), pág. 159. Es considerable el número de astrónomos importantes que ejercieron esta profesión: SARTON (*IHS*, III, 1523-1534) cita trece astrónomos y astrólogos musulmanes en la segunda mitad del siglo XIV, de los que, por lo menos, seis fueron *muwaqqit* en distintas mezzitas de todo el orbe islámico.

5. LA FAZ DEL CUADRANTE ŠAKKĀZĪ

La *risāla* que atribuimos a Ibn Ṭībugā empieza ponderando las excelencias del llamado cuadrante de senos (*al-rub' al-muḡayyab*) y afirmando que la diferencia fundamental entre este instrumento y la *šakkāziyya* consiste en que el primero se basa en líneas rectas, a partir de las cuales es difícil obtener círculos, mientras que el segundo se basa en círculos, por lo que resulta más fácil de utilizar (ms. C, fol. 64 a). Lo anterior se ve más claramente con una descripción de la faz del cuadrante.

Se trata de un simple cuarto de círculo cuyas partes fundamentales son las siguientes⁵⁰ (cf. fig. 1):

a) El vértice, llamado «polo» (*qutb*) o «centro» (*markaz*).⁵¹

b) Dos rectas que se cortan perpendicularmente en el vértice. Una de ellas recibe el nombre de *madār al-istiwā'* («paralelo equinoccial», o sea Ecuador)⁵² y la segunda *mamarr al-istiwā'* («meridiano equinoccial» o sea meridiano que pasa por los puntos Aries y Libra)⁵³. Ambas rectas están divididas en 90 grados o partes. Por otra parte, y según se desprende del capítulo 2 del ms. A (fol. 64 b), una de las dos rectas debe llevar adosados dos pequeños rebordes o salientes (pínulas) que permitan tomar la altura del sol con el cuadrante: cuando la sombra de la pínula superior (la que está junto al vértice) coincida con la pínula inferior, la plomada, de la que hablaremos en seguida, nos indicará claramente la altura del sol⁵⁴.

c) El cuarto de círculo propiamente dicho, llamado «arco de altura» (*qaws al-irtifā'*).

d) Unos arcos de círculo unen las 90 divisiones del *madār al-istiwā'* con el punto de intersección del arco de altura con el *mamarr al-istiwā'*, punto que recibe el nombre de «cenit» (*samt al-ra's*). Estos arcos son los llamados *al-mamarrāt* (meridianos).

e) Otros arcos de círculo unen las divisiones del arco de altura con las correspondientes divisiones del *mamarr al-istiwā'*. Son los llamados *al-madārāt* (paralelos)⁵⁵.

50. Mientras no indiquemos lo contrario, seguimos la descripción del ms. C, fols. 64 a y b.

51. El ms. A, fol. 9 a, llama, también, al vértice, *qurm* o *bujš*.

52. El ms. A, fol. 9 a, lo llama, además, *jalṭ al-mašriq wa-l-maḡrib* (línea E-W).

53. En el fol. 67 a y b del mismo ms. C encontramos la expresión *uq al-istiwā'* (horizonte equinoccial) aplicado al *mamarr al-istiwā'*. El ms. A (fol. 9 a) utiliza el término *jalṭ wašf al-samā'* (línea del medio cielo).

54. Se trata de un procedimiento harto conocido sobre el que no es necesario extenderse más; véase, a título de ejemplo, SÉDILLOT, *Mémoire sur les instruments astronomiques des arabes*, págs. 90-91, donde traduce *in extenso* un fragmento de una obra del mismo Ibn Ṭībugā en el que se recoge este mismo procedimiento.

55. El ms. A (fol. 9 a) llama *al-muqanṭarāt* a los *al-madārāt*, y aclara, a conti-

f) El ms. C nos informa, a continuación, de manera harto lacónica, de que, a continuación del arco de altura, se encuentra un «arco de sombra» (*qaws zill*). El cap. 3 del mismo manuscrito (fols. 64 b - 65 a), que trata de la obtención de la sombra en función de la altura y viceversa, nos aclara que, para obtener la sombra del sol, bastará con observar la intersección del hilo lastrado con el arco de sombra, cuando este hilo marque la altura del sol sobre el arco de altura.⁵⁶ Pese a ello seguimos sin saber de qué clase de sombras está hablando el autor: ¿se trata de la «sombra extensa» (*al-zill al-mabsūt*), nuestra actual cotangente, o de la «sombra conversa» (*al-zill al-mankūs*), nuestra actual tangente? El ms. A es mucho más explícito a este respecto. En su capítulo 3 (fol. 10 a y b) nos dice: «Sabe que el arco de sombra colocado sobre el cuadrante será extenso, y éste es aquel cuya graduación disminuye desde el principio del arco, o será converso, esto es, que su graduación disminuirá desde el final del arco (...). Si quieres conocer la sombra que corresponde a cualquier altura, coloca el hilo sobre su graduación desde el principio del arco: su intersección con el arco de sombra será la sombra de aquella altura, pudiendo ser conversa si el arco ha sido trazado de forma conversa sobre el cuadrante; si no, será extensa (...) Y si quieres conocer la otra sombra, coloca [el hilo] sobre el complemento de la altura: su intersección con el arco de sombra será la otra sombra, ya que la sombra extensa de cualquier altura es la sombra conversa de su complemento, y al contrario.» Queda, pues, claro que el cuadrante šakkāzī está dotado de un arco de un cuarto de circunferencia, concéntrico con el arco de altura, que servirá para la medición de tangentes o cotangentes de la altura: estos arcos se encuentran en otros tipos de cuadrantes⁵⁷ y sustituyen al cuadrado de las dos sombras que se encuentra habitualmente en la azafea de Azarquiel⁵⁸.

nuación: «el primero de ellos [de los *al-muqantarāt*] es el *madār al-istiwā'*, que es también el horizonte». Se entiende ahora la expresión utilizada tanto por Ḥayfī Jalifa como por Abū-l-Fattāḥ b. 'Abd al-Rahmān (cf. *supra*). Como veremos, más adelante este instrumento, como la azafea de Azarquiel, se caracteriza por su flexibilidad: si consideramos que el *madār al-istiwā'* es la proyección del Ecuador, entonces los *al-madārāt* serán paralelos de declinación y el término *madār* está bien empleado; si consideramos, en cambio, que el *madār al-istiwā'* es la proyección del horizonte, los *al-madārāt* serán círculos de altura, resultando más claro el término *al-muqantarāt*.

56. El mismo procedimiento se recoge asimismo en el capítulo 15 del ms. C (fol. 70 a) para determinar la sombra del sol a mediodía (*zawāl*).

57. Cf. RICO Y SINOBAS, *Libros del Saber de Astronomía*, III, p. XLIII; MILLÁS, *La introducción del cuadrante con cursor en Europa*, en «Estudios sobre Historia de la Ciencia Española» (Barcelona, 1949), págs. 77-78; Henri MICHEL, *Traité de l'Astrolabe* (Paris, 1947), págs. 40 y 73 (donde se describe la manera de trazar una escala de cotangentes).

58. Cf. Don Profeit TIBBON, *Tractat de l'Assafea*, p. 51 y 109-112. El ms. A (fol. 9 a), en su descripción de las líneas que se encuentran en la faz del cuadrante, nos dice que junto al arco de altura hallamos «arcos horizontales (*qisi afāqiyya*) para

g) El ms. C termina la descripción de la faz del cuadrante diciendo que del polo pende un hilo (*jayf*) sobre el que puede deslizarse un índice (*murī*). Llama al hilo «radio» (*niṣf quṭr*), pero, a lo largo de toda la *risāla* lo denomina siempre *jayf*. Para la medición de alturas se añadirá al hilo una plomada (*ṣaḡāla*)⁵⁹.

La faz del instrumento descrito se corresponde muy bien con un cuadrante de la azafea de Azarquiel⁶⁰ en el que se hubiera suprimido la proyección de la Eclíptica, así como la de los círculos máximos de longitud y menores de latitud⁶¹. Por otra parte, está claro que la presencia expresa de una línea que represente la proyección de la Eclíptica resulta innecesaria en este instrumento: nos basta con poner el hilo que está sujeto al vértice del cuadrante en la graduación $23^{\circ} 31'$, valor de la oblicuidad utilizado en el ms. C, para que se nos convierta en la proyección de la Eclíptica⁶². Por otra parte, y como hemos apuntado ya⁶³, las líneas trazadas en el cuadrante no representan necesariamente la proyección de determinados círculos de la esfera celeste, tal como sucede en el astrolabio: el *madār al-istiwā'*, por ejemplo, puede ser considerado tanto la proyección del Ecuador como la de la Eclíptica como la del horizonte del lugar; en el primer caso los *al-mamarrāt* serán la proyección de los círculos horarios, y los *al-madārāt* la de los paralelos celestes; en el segundo los *al-mamarrāt* serán la proyección de los círculos máximos de longitud, y los *al-madārāt* la de los círculos menores de latitud; en el tercer caso los *al-mamarrāt* serán la proyección de los círculos verticales, y los *al-madārāt* la de los almucantares. Esta característica del instrumento, que constituye la base pri-

la sombra, la declinación y la altura del *ʿaṣr*. Más adelante nos ocuparemos del «arco de altura del *ʿaṣr*». No vemos claro en qué pueda consistir este «arco de declinación» (*qaws mayl*).

59. *Ṣaḡāl* en el ms. A (fol. 9 a).

60. No nos referimos al llamado «cuadrante de Azarquiel», descrito confusamente por Abū 'Alī al-Ḥasan al-Marrākūṣī: cf. SÉDILLOT, *Mémoire sur les instruments astronomiques des arabes*, págs. 104-106 y fig. 14 (lám. 4); cf. también MILLÁS, *La introducción del cuadrante con cursor*, pág. 101.

61. Don Profeit TIBBON, *Tractat de l'Assafea*, págs. 49-50.

62. Tanto en la azafea de Azarquiel como en el cuadrante *ṣakkāzī*, las proyecciones de la Eclíptica y del Ecuador serán dos rectas. En el caso del cuadrante el *madār al-istiwā'* será la proyección del Ecuador y el hilo podrá ser la proyección de la Eclíptica si corta al arco de alturas a una distancia del punto de intersección con el *madār al-istiwā'* de $23^{\circ} 31'$. Cf., p. ej., cap. 4 (fol. 65 a - 65 b), en el que se obtiene el «grado del Sol», esto es, su longitud astronómica, por este procedimiento.

63. Cf. *supra* nota 55. Normalmente ni el texto del ms. C ni el del ms. A indican explícitamente esta «flexibilidad» del cuadrante, limitándose a reseñar la manera práctica de obtener lo que se desea. Sólo en contadísimas ocasiones encontramos alguna indicación aclaratoria. Cf., p. ej., ms. A, fol. 11 a, donde dice: «Para obtener la declinación [del sol] en función de [su] grado, considera que el arco de altura es la Eclíptica...». Cf. también ms. C, fol. 65 a: «Y la Eclíptica en este cuadrante es el *madār al-istiwā'*».

maria de su utilización, es una herencia directa de su antecesor, la azafea de Azarquiel⁶⁴: existe una línea de progresiva abstracción en la evolución de los instrumentos astronómicos antiguos y medievales, que nos lleva del astrolabio esférico o esfera armillar al astrolabio plano y, de aquí, a la azafea, para terminar, quizá, con el bastón de al-Ṭūsi⁶⁵. Lo que ha empezado por considerarse una representación de la esfera celeste, termina convirtiéndose en una especie de regla de cálculo.

6. DORSO DEL CUADRANTE⁶⁶ (cf. fig. 2)

Encontramos en él:

a) «Otro instrumento» con una alidada destinada a tomar las alturas de las estrellas. Su utilización queda clara en el capítulo 2 (fol. 64 b): se emplea para tomar alturas de objetos no luminosos o de escasa luminosidad (estrellas, etc.). Dirigiendo la alidada hacia el objeto cuya altura se quiere tomar, cuando lo veamos a través de las dos pínulas de ésta, el extremo de la alidada nos determinará, sobre el arco, la altura buscada⁶⁷.

b) En el dorso del cuadrante encontramos asimismo las proyecciones de las estrellas de las que conocemos sus declinaciones (*ab'ād*)⁶⁸ y ascensiones rectas (*maṭāli'*).

c) Proyección de la Eclíptica.

d) Proyección del Ecuador dividido en 365 partes.

e) Otro círculo (concéntrico con la Eclíptica) dividido también en 365 partes, sobre el que se inscriben los meses julianos y coptos.

f) Sobre este último círculo se encuentra una nueva alidada de pínulas, graduada, con la que se obtendrán las declinaciones de las estrellas. Esta alidada lleva un hilo (*jayt*) y un índice (*murī*).

64. Cf. MICHEL, *Astrolabe*, pág. 97; Don Profeit TIBBON, *Tractat de l'Assafea*, pág. 67, nota 1. Pese a que ninguno de los dos mss. estudiados nos dan indicación alguna sobre la manera de construir este tipo de cuadrante, no hay razón para suponer que el procedimiento de trazado de su faz sea distinto del de la azafea de Azarquiel: cf. RICO Y SINOBAS, *Libros del Saber de Astronomía*, III, 135-146, y MICHEL, *Astrolabe*, págs. 95-97.

65. MICHEL, *Astrolabe*, págs. 115-122, y el artículo del mismo autor *L'astrolabe linéaire d'al-Ṭūsi*, en «Ciel et Terre», n.º 3-4 (Mars-Avril, 1943), págs. 101-107.

66. Mientras no indiquemos otra cosa, seguimos refiriéndonos al ms. C, fols. 64 a y b. El ms. A no contiene la más mínima referencia al dorso del cuadrante.

67. Se trata del mismo procedimiento utilizado en la azafea de Azarquiel: cf. Don Profeit TIBBON, *Tractat de l'Assafea*, págs. 52-53.

68. Téngase en cuenta que la azafea de Azarquiel representa las proyecciones de las estrellas en la faz, no en el dorso, del instrumento: cf. Don Profeit TIBBON, *Tractat de l'Assafea*, pág. 50.

Muy interesante resulta esta disposición del dorso del cuadrante que, como veremos, parece responder a un sistema de proyección estereográfica polar, como la del astrolabio, y no al sistema de proyección de Azarquiel. La hábil combinación de las proyecciones del Ecuador y de la Eclíptica con una alidada cuyo centro debe coincidir con el de la proyección del Ecuador constituye un sistema en el que encontramos no sólo un calendario zodiacal⁶⁹ que nos relaciona, automáticamente, la longitud astronómica del sol con el día del mes, sino que nos proporciona, asimismo, ascensiones rectas y declinaciones de un astro cualquiera, dando lugar también a otras aplicaciones. Veamos algunos ejemplos:

A) Determinación de la *longitud astronómica* y *ascensión recta* del sol (ms. C, fol. 65 a): nada de particular tiene la determinación de la longitud astronómica, dado lo corriente de los calendarios zodiacales. Al colocar la alidada en el día de la fecha correspondiente al mes juliano o copto, ésta nos determina, sobre la proyección de la Eclíptica, la longitud astronómica del sol en este mismo día⁷⁰. Lo curioso es que esta misma alidada nos determinará también, sobre la proyección del Ecuador, la ascensión recta del sol desde el principio de Capricornio⁷¹.

B) Determinación de la *declinación* y de la *ascensión recta* del sol o de una estrella (ms. C, fols. 65 b - 66 a): «Coloca el extremo de la alidada en la Eclíptica en el grado correspondiente al sol. El grado de la alidada que pase por su intersección [con el grado de la Eclíptica] será la declinación primera⁷². Si el número está [escrito] en dirección al interior [de la alidada], la declinación será septentrional; si está [escrito] hacia el exterior, [esto es] hacia el extremo de la alidada, será meridional.» Parece, pues, claro que si, al colocar la alidada en posición, la distancia entre su intersección con la Eclíptica y el centro de la alidada es la declinación del sol en el día de referencia, entonces el centro de la alidada debe coincidir con el de la proyección del Ecuador, y las divisiones de la alidada nos determinan, al girar ésta sobre el instrumento, la proyección de otros tantos paralelos de declinación⁷³.

El mismo procedimiento se aplica para determinar la declinación y ascensión recta de una estrella: «Coloca el borde de la alidada sobre el centro de la estrella: el grado de la alidada que pase por ella será su declinación,

69. Cf. MICHEL, *Astrolabe*, págs. 73-78.

70. Cf. Don Profeít TIBBON, *Tractat de l'Assafea*, cap. 2, págs. 51-52.

71. En efecto, la posición de la alidada representa la proyección de la intersección del máximo de longitud y el meridiano correspondientes a la posición del sol en la fecha considerada.

72. *Al-mayl al-awwal* es la declinación, en su sentido actual, que distingue de la «declinación segunda» (*al-mayl al-táni*) (cf. nota 79).

73. En la fig. 2, OA es el radio de la proyección del paralelo de declinación.

septentrional si está [escrito] en dirección al centro, y meridional si está escrito en dirección al extremo de la alidada. La intersección del extremo de la alidada con el Ecuador determinará la ascensión recta de aquella estrella, contada a partir del principio de Capricornio, en el año en el que se colocó la estrella en el instrumento.» Recuérdese tan sólo que la proyección de las estrellas sobre el dorso del cuadrante ha sido trazada en función de su ascensión recta y de su declinación.

C) Determinar si un astro, al alcanzar su máxima altura, pasa por el cenit (ms. C, fol. 67 a): el autor empieza por afirmar que, si la latitud del lugar es inferior a la oblicuidad de la Eclíptica, el sol, en su movimiento anual, pasará dos veces por el cenit, y los dos grados de la Eclíptica en los que el sol pasa por el cenit serán precisamente aquellos en los que la declinación del sol sea igual a la latitud del lugar y de su mismo signo. Tras establecer estos principios, Ibn Ṭibugā dice que, tomando sobre la alidada del dorso del cuadrante una determinada latitud, septentrional o meridional, y haciendo una señal sobre la alidada en el punto correspondiente, si hacemos girar la alidada, nos determinará, sobre la proyección de la Eclíptica, los dos grados en los que el sol pasa por el cenit: Del mismo modo, la señal intersectará a todas aquellas estrellas que también pasen por el cenit, es decir, aquellas estrellas cuya declinación sea igual a la latitud del lugar⁷⁴.

7. RESUMEN DEL CONTENIDO DE LOS CAPÍTULOS DEL MANUSCRITO C

En espera de que el posible descubrimiento de un manuscrito completo de la *risāla* de Ibn Ṭibugā nos permita editarla y traducirla convenientemente, nos limitaremos aquí a reseñar brevemente las materias de que trata el ms. C, comparándolas con las del ms. A:

Introducción (fol. 64 a): *generalidades* sobre el cuadrante šakkāzī y el cuadrante de senos.

Cap. I (fol. 64 a y b): *descripción de la faz y el dorso del cuadrante*, que hemos glosado ampliamente en las páginas anteriores⁷⁵.

74. Es evidente, a partir de lo expuesto en este apartado, así como en los anteriores, que el lugar geométrico de todos los puntos con la misma declinación es un círculo, lo que no sucede en el sistema de proyección de Azarquiel y sí, en cambio, en la proyección estereográfica polar.

75. Corresponde al ms. A, fol. 9 a. El instrumento descrito en ambos mss. es fundamentalmente el mismo, pero el ms. A silencia todo lo relativo al dorso: el cuadrante del ms. A es, pues, una simplificación del de Ibn Ṭibugā.

Cap. 2 (fol. 64 b): *obtención de alturas*, tanto del sol como de objetos no luminosos o de escasa luminosidad⁷⁶.

Cap. 3 (fol. 64 b y 65 a): *procedimiento para obtener la sombra en función de la altura y viceversa, así como el diámetro de la sombra*. Tras exponer unas generalidades acerca de las dos clases de sombras, explica la manera de utilizar el «arco de sombra» situado en la faz del cuadrante⁷⁷.

Cap. 4 (fol. 65 a - 65 b): *obtención del grado del sol*. Expone tres procedimientos: a) mediante el cálculo, sabiendo los días transcurridos desde el equinoccio de primavera; b) mediante el calendario zodiacal situado en el dorso del cuadrante; c) utilizando la faz del cuadrante obtiene la longitud astronómica del sol en función de su declinación⁷⁸.

Cap. 5 (fol. 65 b - 66 a): *obtención de la declinación del sol o de una estrella*. En este capítulo se exponen: a) tres procedimientos distintos para obtener la declinación del sol en función de su longitud mediante la faz del cuadrante; b) obtención de la declinación, también en función de la longitud, mediante el calendario zodiacal del dorso; c) cálculo de la «declinación segunda»⁷⁹ mediante la faz del instrumento; d) cálculo de la declinación y ascensión recta de una estrella mediante el calendario zodiacal del dorso⁸⁰.

Cap. 6 (fol. 66 a y b): *obtención de la latitud de un lugar a partir del Ecuador, y de su longitud a partir de la costa del mar occidental*. Expone dos métodos para hallar la latitud: a) observando la altura meridiana del sol o de una estrella y aplicando la fórmula:

$$\text{altura meridiana} = \text{colatitud} \pm \text{declinación}$$

76. Corresponde al cap. 1 del ms. A (fols. 9 a y 9 b), que trata de los mismos temas, aunque, naturalmente, no habla para nada de la utilización de una alidada para la toma de alturas situada en el dorso del cuadrante: tanto en el caso del sol como en el de los objetos no luminosos o de poca luz, la altura se toma mediante las pínulas del borde del cuadrante y el hilo con la plomada (la única diferencia entre ambos casos consiste en que, en el primero, la sombra de la pínula superior debe coincidir con la inferior, mientras que en el segundo, basta con ver el objeto observado a través de las dos pínulas). Expone, por último, un procedimiento para la observación de una altura negativa.

77. Corresponde al cap. 3 del ms. A (fols. 10 a y 10 b).

78. En el cap. 2 del ms. A (fols. 9 b - 10 a) («Sobre la obtención del grado del sol») se expone un procedimiento para obtener la longitud solar mediante el cálculo: siguen consideraciones de índole general sobre los signos de la Eclíptica y su relación con las estaciones del año en las distintas latitudes. En el cap. 4 del mismo manuscrito (fols. 11 a - 12 a) expone un procedimiento para obtener el grado del sol en función de la declinación utilizando la faz del cuadrante.

79. Se entiende por «declinación segunda» (*al-mayl al-tānī*) de un punto P situado sobre la Eclíptica, su distancia al Ecuador celeste sobre un arco perpendicular a la Eclíptica: cf. E. S. KENNEDY, *A Survey of Islamic Astronomical Tables* («Transactions of the American Philosophical Society held at Philadelphia for promoting useful knowledge». — New Series. — Philadelphia. — Vol. 46, part. 2, 1956), pág. 140.

80. En el cap. 4 (fols. 11 a - 12 a) del ms. A se exponen varios procedimientos para obtener la declinación en función de la longitud del sol.

b) observando la máxima y mínima altura de una estrella circumpolar y aplicando la fórmula:

$$\text{latitud} = 1/2 (\text{altura máxima} + \text{altura mínima})$$

Para obtener la longitud de un lugar utiliza un procedimiento común: observa un eclipse de sol o de luna en dos lugares, uno de ellos de longitud conocida. Averigua entonces, mediante el cuadrante, el arco que ha girado la esfera celeste (o sea el ángulo horario) en el momento en el que ha empezado o terminado el eclipse en ambos lugares: la diferencia entre ambos arcos nos dará la diferencia de longitudes entre los dos lugares. Lo mismo puede obtenerse hallando la diferencia entre los «grados del medio cielo» correspondientes a ambos lugares⁸¹. Afirma el autor que el procedimiento es más exacto si el eclipse observado es de luna⁸².

Cap. 7 (fol. 66 b - 67 a): *obtención de la máxima altura del sol y de una estrella; si el astro, al alcanzar su máxima altura, pasa, o no, por el cenit; determinación de la altura con la que el astro pasa por el primer vertical*: en lo relativo al primer punto, obtención de la máxima altura de un astro, se limita a aplicar la fórmula, enunciada anteriormente, que relaciona la altura meridiana con la latitud y la declinación; hemos comentado ya antes el procedimiento expuesto aquí para determinar si un astro, al alcanzar su máxima altura, pasa por el cenit; para determinar si una estrella es perpetuamente visible, así como para saber la altura con la que un astro pasa por el primer vertical, utiliza la faz del cuadrante⁸³.

Cap. 8 (fols. 67 a - 67 b): *obtención de la diferencia ascensional⁸⁴ y de los arcos diurno y nocturno*.

Tras indicar que:

$$\text{arco semidiurno} = 90^\circ \pm \text{diferencia ascensional}$$

(según que la declinación sea septentrional o meridional).

81. Sobre el «grado de medio cielo» cf. D. Profeit TIBBON, *Tractat de l'Assafca*, pág. 72, nota 2.

82. Por ser el movimiento de la Luna más rápido que el del Sol. Cf. sobre todo este problema, además del artículo de J. K. Wright citado *supra* en nota 40, Karel HUJER, *Problems of navigation in the early years of the Royal Observatory in Greenwich*, en «Actes du IX^e Congrès International d'Histoire des Sciences» (Barcelona-Paris, 1960), págs. 510-516.

De todo lo contenido en este capítulo del ms. C, en el ms. A sólo hallamos la regla para obtener la latitud en función de la declinación y de la altura meridiana de un astro (cf. cap. 4, fols. 11 a - 12 a).

83. En el cap. 4 del ms. A (fols. 11 a - 12 a) se exponen dos procedimientos para obtener la máxima altura de un astro basados, como en el ms. C, en la fórmula que relaciona la altura meridiana con la colatitud y la declinación.

84. Entiende por diferencia ascensional (*ta'dil nişf qaws al-nahār*) la amplitud del huso determinado por el horario que pasa por los puntos E-W y el que pasa por la intersección del paralelo de declinación correspondiente al sol o a una estrella y el horizonte. En el ms. A recibe el nombre de *nişf al-fadla* o *nişf al-ta'dil* (fol. 13 a).

expone tres procedimientos para hallar la diferencia ascensional y, por consiguiente, los arcos semidiurno y seminoturno, utilizando la faz del cuadrante. Expone asimismo un procedimiento para hallar el doble de la diferencia ascensional a partir del dorso del cuadrante⁸⁵.

Cap. 9 (fol. 67 b): obtención de las ascensiones rectas de los grados de la Eclíptica y correspondencia entre grados del Ecuador y grados de la Eclíptica. Se limita a calcular la ascensión recta del sol mediante la faz del cuadrante. En principio las ascensiones rectas se computan desde Aries, aunque expone también cómo hallarlas desde Capricornio.

Cap. 10 (fol. 67 b - 68 b): obtención de la ascensión recta desde el principio de Aries y desde el principio de Capricornio; obtención de coascendentes oblicuos de cualquier grado; obtención de diferencias ascensionales, de la declinación, arcos diurno y nocturno y amplitudes. De todos los puntos anunciados se limita a ocuparse de la ascensión recta (*al-matāli' al-falakiyya*), que obtiene tanto con la faz como con el dorso del cuadrante, así como también mediante el cálculo. Por último obtiene la longitud astronómica de un astro en función de su ascensión recta mediante la faz del instrumento⁸⁶.

Cap. 11 (fol. 68 b): obtención de coascendentes oblicuos. Se ocupa aquí de los coascendentes oblicuos (*al-matāli' al-baladiyya* o *bi-l-balad*)⁸⁷ que ha anunciado en el capítulo anterior. Expone tres procedimientos de obtención. Los dos primeros, de puro cálculo, están basados en las fórmulas:

- a) *coascendente oblicuo* = *ascensión recta* \pm *arco diferencia ascensional*⁸⁸.
 b) *coascendente oblicuo* = *ascensión recta* — *arco semidiurno*⁸⁹.

85. Denomina *ta'dil qaws al-nahar* al doble de la diferencia ascensional. El cap. 6 del ms. A (fol. 13 a y b) se ocupa de la obtención de la diferencia ascensional y de los arcos diurno y nocturno.

86. De las ascensiones rectas (a las que llama *al-matāli' al-falakiyya* o *matāli' al-zawāl*) se ocupa el ms. A en el cap. 12 (fols. 18 a y b - 19 a): expone varios procedimientos para obtener la ascensión recta de un astro mediante la faz del cuadrante; varios procedimientos para la conversión en grados iguales (cf. Don Profeit TIBBON, *Tractat de l'Assafea*, pág. 65, nota 2); obtención de la ascensión recta de los doce signos.

87. Coascendente oblicuo es el arco de Ecuador comprendido entre el punto Aries y el punto en que el Ecuador corta el horizonte oriental: cf. VERNET, *Ibn al-Bannā'*, pág. 102 (notas 201 y 205) y pág. 104 (nota 208); Eduardo MILLÁS, *El comentario de Ibn al-Mutannā' a las Tablas Astronómicas de al-Jwārizmī. Estudio y edición crítica del texto latino en la versión de Hugo Sanctiallensis* (Madrid-Barcelona, 1963), págs. 66 y ss.

88. MILLÁS, *Estudios sobre Azarquiel*, pág. 132, nota 5, y la bibliografía allí citada; cf. también MILLÁS, *La obra Sefer Hešbón mahlehot ha-kokabim (Libro del cálculo de los movimientos de los astros) de R. Abraham bar Ḥayya ha-Bargeloni* (Barcelona, 1959), págs. 38-39.

89. Esto es cierto, tal como señala el autor, siempre que la ascensión recta tenga origen en Capricornio (ya que el *arco semidiurno* = $90^\circ +$ *arco diferencia ascen-*

Para el tercer procedimiento utiliza el dorso del cuadrante⁹⁰.

Cap. 12 (fol. 68 b - 69 b): *obtención del «dā'ir» del día y del «fadl al-dā'ir»*⁹¹. Este capítulo toca los siguientes puntos:

a) Dos procedimientos para obtener el *dā'ir* y el *fadl al-dā'ir* en los equinoccios (en los que la declinación del sol es nula). En ambos utiliza la faz del cuadrante. En el primero de ellos se basa en el mismo principio utilizado en el cuadrante *vetustissimus* y en la azafea de Azarquiel⁹².

b) Un procedimiento para obtener el *dā'ir* y el *fadl al-dā'ir*, en función de la altura, cuando el sol o la estrella tienen declinación, utilizando la faz del cuadrante.

c) Problema inverso al anterior: dado el *fadl al-dā'ir*, hallar la altura del astro, utilizando, también, la faz del cuadrante⁹³.

Cap. 13 (fol. 69 b): *sobre las horas y sus partes y distinción de unas clases de horas de otras*. Define horas temporales y horas iguales. Expone diversas cuestiones relacionadas con ellas, pero que nada tienen que ver con el uso del cuadrante⁹⁴.

Cap. 14 (fol. 69 b - 70 a): *sobre el lapso de tiempo transcurrido de la noche y lo que falta para que llegue el día*. Expone diversas reglas basadas en el cálculo y sin nada que ver con el cuadrante⁹⁵.

Cap. 15 (fol. 70 a - 70 b): *determinación de los momentos de las oraciones canónicas*. Indica cuándo deben tener lugar las cinco oraciones canónicas. Se extiende particularmente en la determinación del principio del *'asr*, para la que utiliza el arco de sombras situado en la faz del cuadrante⁹⁶, así como en el de los dos momentos del *ṣaḥaḥ* y del *faḥr*. Su pequeña diatriba

sional). Se trata de la misma fórmula utilizada en VERNET, *Ibn al-Bannā'*, págs. 104 y 109-110.

90. De este tema se ocupa el ms. A en su cap. 13 (fols. 19 a y b - 20 a) mediante procedimientos basados en el cálculo en los que no utiliza para nada el cuadrante.

91. Hemos definido el *dā'ir* en la nota 42. Entiende por *fadl al-dā'ir* el «arco de Ecuador comprendido entre el meridiano y un momento dado», o sea, el ángulo horario.

92. MILLÁS, *La introducción del cuadrante con cursor*, págs. 90 y ss.; Don Profeit TIBBON, *Tractat de l'Assafea*, cap. 21, págs. 69-70.

93. De estas cuestiones se ocupa el ms. A en su cap. 7 (fols. 13 b - 14 a y b).

94. Del mismo tema se ocupa el cap. 8 del ms. A (fols. 14 b - 15 a): expone asimismo procedimientos de cálculo que nada tienen que ver con el cuadrante.

95. Corresponde a lo expuesto en Don Profeit TIBBON, *Tractat de l'Assafea*, cap. 25 (págs. 73-74) y cap. 43 (pág. 88); cf. también VERNET, *Ibn al-Bannā'*, páginas 115-116.

96. A este respecto el ms. A (fols. 15 b - 16 a) nos informa de que algunos cuadrantes tienen un *qaws irtifā' al-'asr* (arco de altura del *'asr*), paralelo al arco de altura. Poniendo el hilo en la graduación correspondiente a la máxima altura del sol en el día de referencia, su intersección con dicho arco nos determinará la altura del sol en el momento del *'asr* en dicho día.

contra los *muwaqqit* del Cairo, a la que ya nos hemos referido, le da ocasión de exponer un método para determinar el horizonte verdadero mediante el dorso del cuadrante⁹⁷.

Cap. 16 (fol. 70 b - 71 a): *determinación del acimut de un astro, de la altura con la que pasa por el primer vertical y de la amplitud ortiva*. Tras definir lo que entiende por acimut, primer vertical y amplitud ortiva y occidua, expone un procedimiento para obtener el acimut de un astro⁹⁸, otro para obtener la altura de un astro a su paso por el primer vertical⁹⁹ y otros dos para obtener la amplitud ortiva u occidua, que se basan en la fórmula de al-Battāni y Ḥabaš:

$$\text{sen ampl. ort.} = \frac{R \text{ sen } \delta_{100}}{\text{Cos } \varphi}$$

En todo el capítulo utiliza exclusivamente la faz del cuadrante¹⁰¹.

Cap. 17 (fol. 71 a - 71 b): *determinación del acimut de la alquibla y de la «desviación» del orante con respecto al meridiano*¹⁰². Determina el acimut y el *inḥirāf* de La Meca utilizando la faz del cuadrante por un procedimiento muy semejante al de Azarquiel en su *Tratado de la Azafca*¹⁰³.

Cap. 18 (fol. 71 b - 72 a): *determinación de los cuatro puntos cardinales y del «mihirāb» de la alquibla*. Este capítulo trata los siguientes puntos:

a) Determinación de la línea E-W sobre un plano horizontal mediante la faz del cuadrante: expone tres procedimientos muy semejantes, en dos de los cuales se parte del acimut del sol y en uno del de la alquibla. Para su puesta en práctica es necesario añadir al cuadrante un gnomon vertical, bien sea en forma de una aguja clavada perpendicularmente en el

97. Este capítulo corresponde alcap. 9 (fols. 15 a y b - 16 a) del ms. A.

98. Procedimiento ya expuesto en el cap. 12 al ocuparse de la obtención de la altura de un astro en función de su *fadl al-dā'ir*.

99. Procedimiento ya expuesto en el cap. 7.

100. C. A. NALLINO, *Al-Battāni sive Albatanii. Opus Astronomicum* (3 vols.; Milán, 1899-1907), II, 178; fórmula utilizada también en el cuadrante *sennero* alfonsí; cf. MILLÁS, *Una nueva obra astronómica alfonsí: el Tratado del cuadrante «sennero»*, en «Nuevos estudios sobre historia de la ciencia española» (Barcelona, 1960), pág. 231.

101. Este capítulo corresponde al cap. 5 del ms. A (fols. 12 a y b - 13 a).

102. *Inḥirāf al-muṣallī 'an jaḥf niṣf al-nahār*: es el complemento del acimut de la Meca, o sea el arco de horizonte comprendido entre el meridiano y la intersección del mismo horizonte con el círculo vertical que pasa por la Meca. Cf. también SÉDILLOT, *Mémoire sur les instruments astronomiques des arabes*, pág. 101, donde traduce *inḥirāf* por «declinación».

103. Don Profeit TIBBON, *Tractat de l'Assafea*, cap. 52 (págs. 98-99). El cap. 10 del ms. A (fols. 16 a y b - 17 a) toca los siguientes puntos: generalidades en torno al acimut de la alquibla; manera de determinar tanto el acimut de La Meca como el de otra ciudad cualquiera; termina (fol. 17 a) dando una serie de acimutes de la alquibla desde distintas ciudades por las que tiene que pasar el peregrino en su viaje desde Egipto hasta La Meca.

centro del cuadrante o de un hilo lastrado suspendido entre el cuadrante y el sol.

b) Determinación de la altura del sol cuando su acimut es el de la alquibla mediante la faz del cuadrante: se basa en el mismo principio que ha utilizado en el capítulo anterior para obtener el acimut de la alquibla, con la diferencia de que allí se partía de coordenadas ecuatoriales terrestres (longitud y latitud), mientras que aquí se utilizan coordenadas ecuatoriales celestes (ángulo horario y declinación).

c) Determinación de los cuatro puntos cardinales mediante el dorso del cuadrante: es exactamente el mismo procedimiento descrito por Azarquiel en el cap. 53 del *Tratado de la Azafea*¹⁰⁴. La única diferencia entre ambos textos consiste en que, en el de Azarquiel, la azafea se encontrará en posición y las líneas N-S y E-W coincidirán con los puntos cardinales cuando los rayos del sol atraviesen las dos pínulas de la alidada del dorso de la azafea; mientras que en el dorso del cuadrante šakkāzī se nos habla de una pínula que no deja pasar la luz: el instrumento estará en posición cuando la sombra proyectada por la pínula que se dirige hacia el sol coincida con la alidada¹⁰⁵.

Cap. 19 (fols. 72 b - 73 a y b - 74 a): *determinación del grado ascendente sobre el horizonte oriental*. Capítulo de índole astrológica que parece ser la reunión de varios otros de tema afín. Se ocupa de las siguientes materias:

a) Obtención del grado ascendente y de su nadir, la casa VII, mediante la faz del cuadrante. Detalla el procedimiento para cada uno de los cuatro cuadrantes de la Eclíptica. Corresponde al cap. 51 del *Tratado de la Azafea* de Azarquiel¹⁰⁶, aunque el procedimiento no sea exactamente el mismo.

b) Obtención del grado de medio cielo, o sea la casa X, mediante el cálculo. Su nadir será el «pivote de la tierra» (*watād al-ard*). Con ello habrá obtenido los cuatro pivotes (*awtād*) de la Eclíptica¹⁰⁷.

c) Obtención de las ascensiones rectas de los principios de las doce casas: se limita a exponer, equivocadamente, las fórmulas de al-Battānī¹⁰⁸.

d) Otro método para obtener los cuatro pivotes de la Eclíptica, pero esta vez mediante el dorso del cuadrante.

104. Don Profeit TIBBON, *Tractat de l'Assafea*, págs. 100-101.

105. De los temas tratados en este capítulo se ocupa el cap. 11 del ms. A (fols 17 b 18 a).

106. Don Profeit TIBBON, *Tractat de l'Assafea*, págs. 96-98.

107. Sobre los cuatro pivotes, cf. H. P. J. RENAUD, *Notes critiques d'Histoire des Sciences chez les musulmans. III, Astronomie et astrologie marocaines*, en «Hespéris», 29 (1942), pág. 52.

108. Cf. MILLÁS, *Séfer Hešbón*, págs. 96-98.

e) Otro método para obtener las ascensiones rectas de las doce casas también mediante el dorso del instrumento y utilizando, como antes, las fórmulas de al-Battānī.

f) Obtención, por último, del ascendente en el momento de la mediación de la estrella mediante el dorso del cuadrante.

Cap. 20¹⁰⁹ (fol. 74 a): *determinación del «tašriq» y del «tagrib» de una estrella y de los momentos de su orto y ocaso*. Tras definir los términos *tašriq* y *tagrib*¹¹⁰, expone la manera de determinar el orto y el ocaso de una estrella mediante el dorso del cuadrante. Siguen unos datos para la determinación de la proximidad o lejanía de una estrella con respecto al sol de acuerdo con las observaciones de Ptolomeo, punto en el que se corta bruscamente el manuscrito que, como hemos dicho, está incompleto.

8. CONCLUSIONES

En el largo desarrollo anterior nada hemos podido descubrir en torno al tipo de azafea denominado šakkāziyya, sobre la que únicamente sabemos que constituye una variante de la azafea de Azarquiel. En cambio parece claro que, en la segunda mitad del siglo XIV o en la primera del XV, un astrónomo egipcio, Ibn Ṭibugā, inventó un tipo de cuadrante al que dio el nombre de cuadrante šakkāzī. La descripción de este cuadrante se encuentra en dos manuscritos procedentes de la Biblioteca Nacional del Cairo y de la Biblioteca 'Abdaliyya de Túnez. El primero de ellos es, quizá, la obra del propio Ibn Ṭibugā y nos muestra un instrumento mucho más completo que el segundo; autor es un tal Abū-l-Fattāḥ b. 'Abd al-Raḥmān al-Šāfi'ī, al que no hemos logrado identificar.

La faz del cuadrante estudiado es, sin ninguna duda, de origen zarqālī: el sistema de proyección utilizado es el mismo que el de la azafea del astrónomo toledano. Las dos únicas novedades introducidas en ella son la supresión de la proyección de la Eclíptica y de la de los círculos máximos de longitud y menores de latitud, por una parte, y la sustitución del cuadrante de sombras que se encontraba en el dorso de la azafea, por un arco de sombras, extensas o conversas, paralelo al arco de altura. La

109. En el ms. C (fol. 74 a) aparece, erróneamente, «19».

110. *Tašriq* de una estrella es «su aparición delante del sol en el momento del alba por el lado oriental, siendo ocultada por la luz solar». *Tagrib* de una estrella es «su aparición detrás [del sol] después del ocaso de éste, por el lado occidental, tras haber estado oculto por la luz solar». Sobre estos términos cf. también al-Bīrūnī, *Kitāb al-taḥḥim li awā'il šinā'at al-taḥḥim*, ed. y trad. inglesa de R. Ramsay Wright (Luzac and Co., London, 1934), pág. 296, párrafos 481-483.

supresión de las proyecciones citadas responde a la concepción de un instrumento más «abstracto» que la azafea dentro de una línea evolutiva que, como hemos apuntado, va desde la esfera armillar al bastón de al-Ṭūsī. Por otra parte, incluso en la faz de este cuadrante se debieron introducir, con el tiempo, pequeñas variantes accesorias: una referencia a ello la tenemos en el «arco de altura del 'aṣr» del que nos habla Abū-l-Fattāh b. 'Abd al-Raḥmān, y del que no tenemos ninguna referencia en el texto de Ibn Ṭibugā.

El dorso del cuadrante, descrito únicamente en el manuscrito del Cairo, contiene un calendario zodiacal ordinario, gracias al cual podemos conocer la longitud del sol correspondiente al día de la fecha, al que se añade un calendario de ascensiones rectas. Por otra parte, se incluye también en él la proyección de las estrellas fijas, lo que nos permite, asimismo, mediante una alidada, determinar la ascensión recta y la declinación de cualquier estrella mediante una simple lectura. El sistema de proyección utilizado en el dorso es estereográfico polar, como en los astrolabios.

Este cuadrante šakkāzī fue, sin duda, conocido en Occidente (el manuscrito de Túnez es magribí), pero fue en Oriente donde alcanzó su máxima difusión. Ḥayyī Jalifa nos habla de dos astrónomos turcos de los siglos xv y xvi que escribieron acerca de este instrumento: nos interesa, aquí, particularmente su referencia a la *risāla* escrita por Taqī al-Dīn, ya que este autor fue el fundador y director del observatorio de Istambul. En efecto: un manuscrito del *Šahinšahnāma* contiene una miniatura que representa a los astrónomos de este observatorio en pleno trabajo, y en la que pueden observarse distintos instrumentos astronómicos: en la hilera central, el segundo astrónomo de la derecha sostiene un cuadrante en el que puede apreciarse la disposición típica del cuadrante šakkāzī, esto es, la proyección de los *al-madārāt* y *al-mamarrāt*¹¹¹. La reproducción que hemos podido ver es demasiado pequeña para poder llegar a ninguna conclusión segura, pero, dadas las noticias aportadas por el *Kašf al-Zunūn*, no tendría nada de particular el que este instrumento hubiera sido efectivamente utilizado en el observatorio de Istambul, ofreciéndonos, así, una muestra de la influencia de Azarquiel en la astronomía oriental, en uno de los últimos momentos de su labor creativa.

111. Se trata del ms. Istanbul University Library F. 1404, fol. 57 a. La miniatura ha sido reproducida por SAYILI, *Observatory in Islam*, lám. 6.

APÉNDICE

Hemos estudiado, con resultados negativos, otros dos manuscritos acerca de la azafea šakkāziyya. Sigue su descripción:

A) *Manuscrito 70 miqāt de la Dār al-Kutub al-Miṣriyya del Cairo*

Anónimo. Su título es *Al-maqāla al-jāmisa: fi rasm al-ālāt al-ḥādīta 'alā tastīḥ al-kura ka-l-asturlāb al-šamālī wa-l-yanūbī wa-l-zarqāla wa-l-šakkāziyya wa-l-arbā'* («Quinta *maqāla*: sobre los instrumentos que se fundan en la proyección de la esfera sobre un plano, como el astrolabio septentrional y meridional, la *zarqāla*, la *šakkāziyya* y los cuadrantes»).

Descrito someramente en el Catálogo del Instituto de Manuscritos de la Liga Árabe¹¹². Consta de cuatro páginas de texto (que numero como 1 a, 1 b, 2 a y 3 a; 2 b está en blanco), escritas en letra oriental clara. Su contenido no responde a lo anunciado en el título, ya que el texto está incompleto: da diversas etimologías del término astrolabio, una de las cuales atribuye su invención a Lāb, hijo de Hermes al-Ḥakīm (fol. 1 a)¹¹³. A continuación (fols. 1 a, 1 b y 2 a), expone el principio de la proyección del astrolabio septentrional y meridional e indica un procedimiento para trazar las líneas fundamentales en la superficie del astrolabio (Ecuador, trópicos, almucantarates y horizonte). El texto cita a Kušyār (b. Labbān)¹¹⁴, Abū-l-Rayḥān (al-Bīrūnī)¹¹⁵, al-Ḥarīrī¹¹⁶ y Hamza al-Isfahānī¹¹⁷. Por otra parte, da a la oblicuidad de la Eclíptica el valor de 23° 30' (en el fol. 2 a dice que su complemento mide 66° 30'), lo que coincide con una estimación hecha por los astrónomos de Marāga en 1264¹¹⁸. De lo anterior

112. Paul KUNITZSCH, *Fihris al-mājtūtāt al-muṣawwara*, fasc. cit., págs. 100-101 (n.º 194).

113. *Astur-Lāb* sería, así, «Las líneas (*saṭr*) de Lāb». Esta curiosa etimología era conocida en Europa en el siglo XVI: Stoeffler, en su *Elucidatio Astrolabii*, dice: «Et dicitur quod quidam qui vocabatur Lab invenit ipsum et astor vel astro vult dicere lineae unde vocatum est Astrolabium, id est lineae Lab». Stoeffler toma sus datos del astrólogo egipcio del siglo XI Abū-l-Ḥasan 'Alī b. Riḍwān (Abenrodano): cf. MICHEL, *Traité de l'Astrolabe*, págs. 5-6. Sobre Hermes, cf. M. PLESSNER, art. *Hirmis*, en «Encyclopédie de l'Islam», 2.ª ed., vol. III, fasc. 47-48 (Leyden-Paris, 1967), págs. 479-481.

114. BROCKELMANN, *GAL*, I, 222; SUTER, *Mathematiker*, art. 192 (págs. 83-85); SARTON, *IHS*, I, 717-718.

115. BROCKELMANN, *GAL*, I, 475, y *GALS*, I, 870-871; SUTER, *Mathematiker*, art. 218 (págs. 98-100); SARTON, *IHS*, I, 707-709.

116. BROCKELMANN, *GAL*, I, 276, y *GALS*, I, 486.

117. BROCKELMANN, *GAL*, I, 145, y *GALS*, I, 221.

118. SARTON, *IHS*, II, 1016.

se deduce que la obra a la que pertenece el fragmento es posterior a la segunda mitad del siglo XIII.

A continuación del fol. 3 a se advierten, en el microfilm, señales de que han sido arrancadas algunas páginas del manuscrito. Siguen once páginas de tablas, aparentemente de manos del mismo copista. El conjunto constituye un calendario astronómico y agrícola para el año 1206 H/1791 C, según se indica en el último folio. Dado el interés que encierra vamos a describirlo, pese a no guardar relación con el tema que aquí nos ocupa. Cada una de las páginas de este calendario corresponde a un mes del año musulmán (falta la página correspondiente al mes de Muḥarram que debía encontrarse entre las que han sido arrancadas). La disposición de cada una de estas tablas es la siguiente: la primera columna indica el día de la semana por el sistema *abuyād*; la segunda, el día del mes musulmán; la tercera, el día del mes copto; la cuarta, el del mes siríaco (en las tres últimas mediante las cifras utilizadas hoy en día en Oriente). Siguen ocho columnas que nos indican las longitudes astronómicas del Sol, Luna, Saturno, Júpiter, Marte, Venus, Mercurio y Nodo Ascendente de la Luna. Tanto la longitud del Sol como la de la Luna se indican diariamente; las de los restantes planetas sólo unas cuantas veces por mes. El sistema seguido para indicar estas longitudes es el corriente en textos de este tipo: en la columna relativa al Sol, por ejemplo, aparece repetidas veces el número del signo correspondiente al grado del Sol sobre la Eclíptica (Aries = 1, Tauro = 2, Géminis = 3, etc.). Restando una unidad de este número, multiplicando el resultado por 30° y sumando al producto el número de grados que corresponden al día, indicados en la tabla, obtendremos la longitud del Sol para este día, con un error de uno o dos grados¹¹⁹.

A principios de cada mes se encuentran indicaciones sobre la visión de la neoménia. Señalemos también que las ferias del calendario llevan un desfase de un día (por ejemplo el 4 de Šafar de 1206 fue lunes, y en la tabla aparece como domingo). La última columna de cada mes contiene indicaciones de orden meteorológico, agrícola y religioso (señala las festividades musulmanas, coptas y siríacas), muy semejantes a las que se encuentran en textos medievales de este tipo¹²⁰.

119. Hemos efectuado algunas catas comprobando los valores de estas longitudes con las tablas de William D. STAHLMAN y Owen GINGERICH, *Solar and Planetary Longitudes for the years — 2500 to + 2000 by 10 — day intervals*. The University of Wisconsin Press. Madison, 1963.

120. Cf. R. P. A. DOZY y Ch. PELLAT, *Le Calendrier de Cordoue*, Leyden, 1961; H. P. J. RÉNAUD, *Le Calendrier d'Ibn al-Bannā' de Marrakech*, Paris, 1948; José VÁZQUEZ RUIZ, *Un calendario anónimo granadino del siglo XV*, en «Revista del Instituto de Estudios Islámicos en Madrid», 9-10 (1961-62), 23-64; Ch. PELLAT, *Le Traité d'Astronomie Pratique et de météorologie populaire d'Ibn Qutayba*, en «Arabica», 1 (1954), 84-88, y *Dictionnaire des rimés, anwā' et mansions lunaires chez les Arabes*, en «Arabica», 2 (1955), 17-41.

Este manuscrito, pues, no nos dice nada sobre la azafea šakkāziyya, limitándose a alargar la historia de su vida en los manuscritos hasta finales del siglo XVIII.

B) *Manuscrito 88 miqāt de la Dār al-Kutub al-Miṣriyya*

Descrito en el Catálogo del Instituto de Manuscritos de la Liga Árabe¹²¹ donde aparece bajo el título de *Risāla fī-l-'amal bi-l-āla al-šakkāziyya*, tomado del *incipit* del manuscrito (fol. 2 a), en el que se lee, tras las eulogias de rigor: *ša-hādihī risāla laṭīfa fī-l-'amal bi-l-āla al-musammā bi-l-šakkāziyya*.

En una especie de portadilla una nota nos indica que el manuscrito fue propiedad de un tal Hāyŷ Ibrāhīm 'Askarī. Siguen 11 folios de texto sin numerar, con unas 15 líneas por folio. La letra es oriental y muy clara. El texto está dividido en 38 capítulos (*fusūl*) sin numerar, amén de una introducción y un epílogo. No aparece, por ninguna parte, el nombre del autor. El epílogo nos informa (fol. 12 b) que el manuscrito se terminó de copiar el martes 16 de *muḥarram* del año 1060 (19 de enero de 1650)¹²² y que su copista fue un tal Mūsa b. Šāhir b. Nūr al-Dīn al-Anšādī.

Se trata de un texto confuso y con muy poco interés, quizás un resumen de otra obra hecho por alguien que no era demasiado perito en la materia. Esto le puede llevar a algunas incongruencias: así, en el capítulo 17 (fol. 6 b) se ocupa de la determinación de la altura del Sol en el momento de la oración del *'aṣr*, y empieza diciendo: «suma un lado [del cuadrado de sombras] a la sombra del *zawāb*», sin haberse ocupado previamente de la determinación de la sombra de este último momento.

En conjunto el instrumento descrito no difiere en nada de la azafea de Azarquiel: tan sólo en algunos capítulos de este texto¹²³ aparece claramente que la alidada del horizonte oblicuo carece de graduación, por lo que, cada vez que es necesario realizar una medición sobre ella, acude al procedimiento de hacer una señal sobre dicha alidada y transportarla sobre la proyección de la línea E-W o del Ecuador, con el fin de utilizar la graduación de una de estas líneas. Se trata, pues, de una característica sin importancia que no justifica el que se hable de un tipo o variante de azafea.

Los cuatro últimos capítulos (fols. 11 b - 12 a y 12 b) parecen corresponder a otra obra: el primero de ellos es una nueva descripción del instru-

121. KUNITZSCH, *Fihris al-maštūāt al-muṣawwara*, fasc. cit. n.º 84, pág. 45.

122. KUNITZSCH en el *Fihris* citado leyó 1040 en lugar de 1060.

123. Cf. cap. 10 (fol. 4 b), cap. 22 (fol. 8 a y 8 b) y cap. 24 (fol. 8 b).

mento que no difiere en nada de la dada al principio del manuscrito. El último capítulo, en cambio, parece referirse a otro instrumento (quizás un cuadrante), ya que, en él, se habla por primera vez de un hilo (*jayl*) y de un índice (*murī*), que no suelen utilizarse ni en astrolabios ni en azafeas. El texto, no obstante, es demasiado breve y confuso para permitirnos llegar a ningún tipo de conclusión.

J. SAMSÓ y M. A. CATALÁ
Universidad de Barcelona

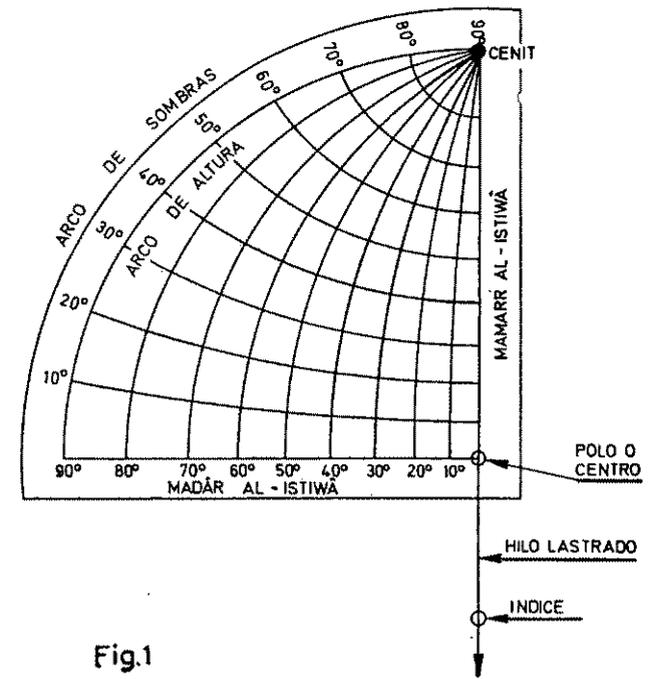


Fig.1

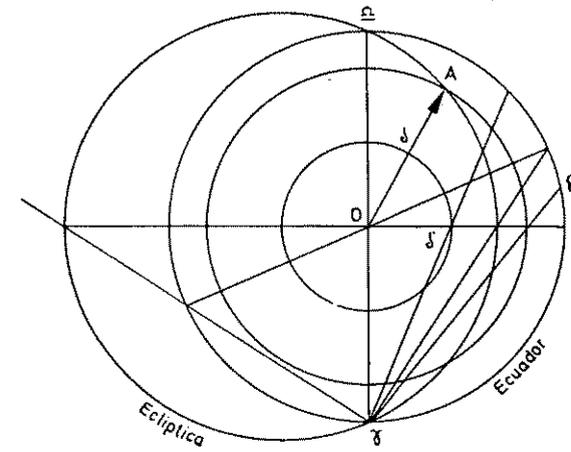


Fig.2