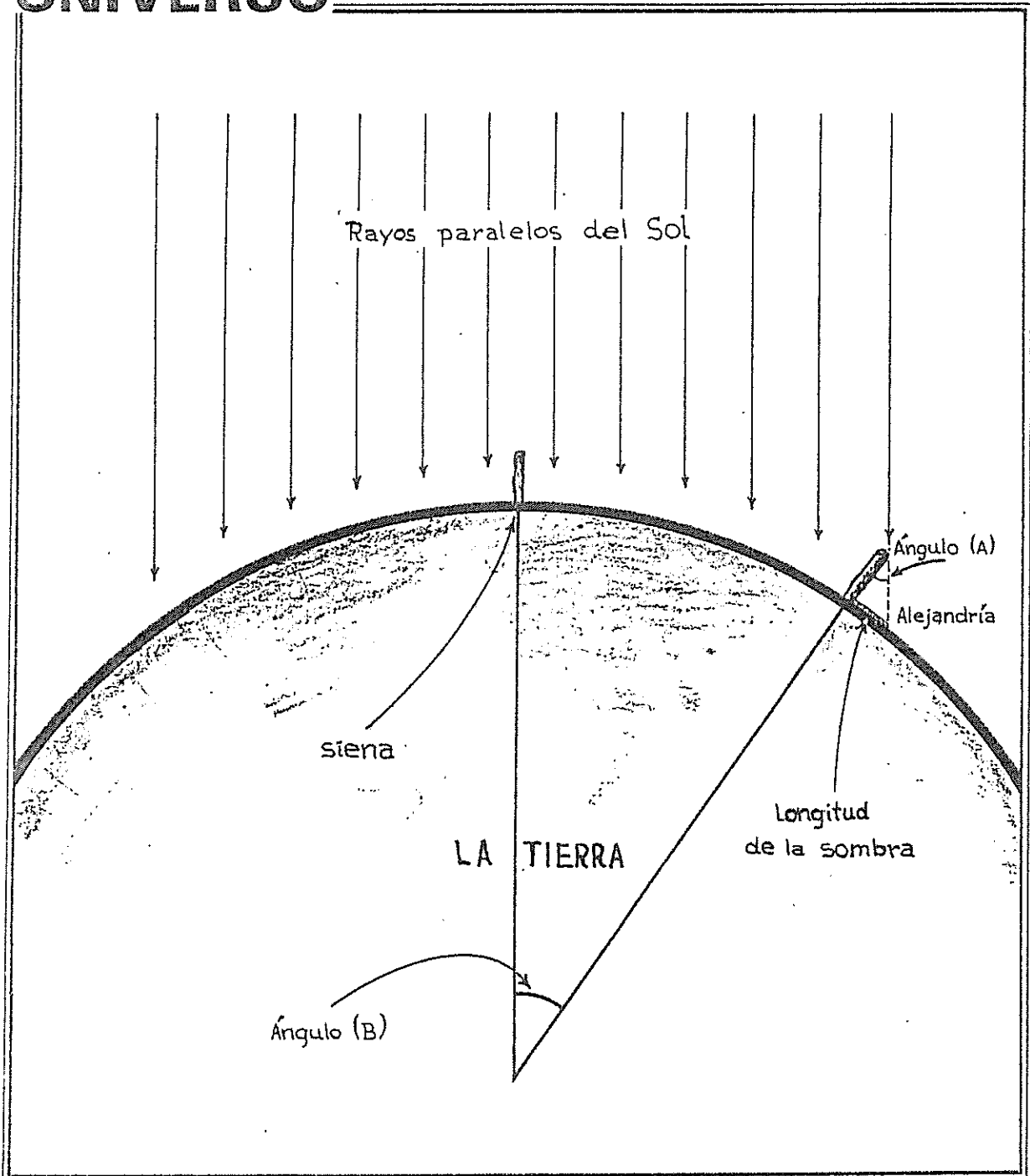




ASOCIACION DE ASTRONOMOS
AUTODIDACTAS DE COLOMBIA

LAS ANTIGUAS MEDICIONES DEL UNIVERSO

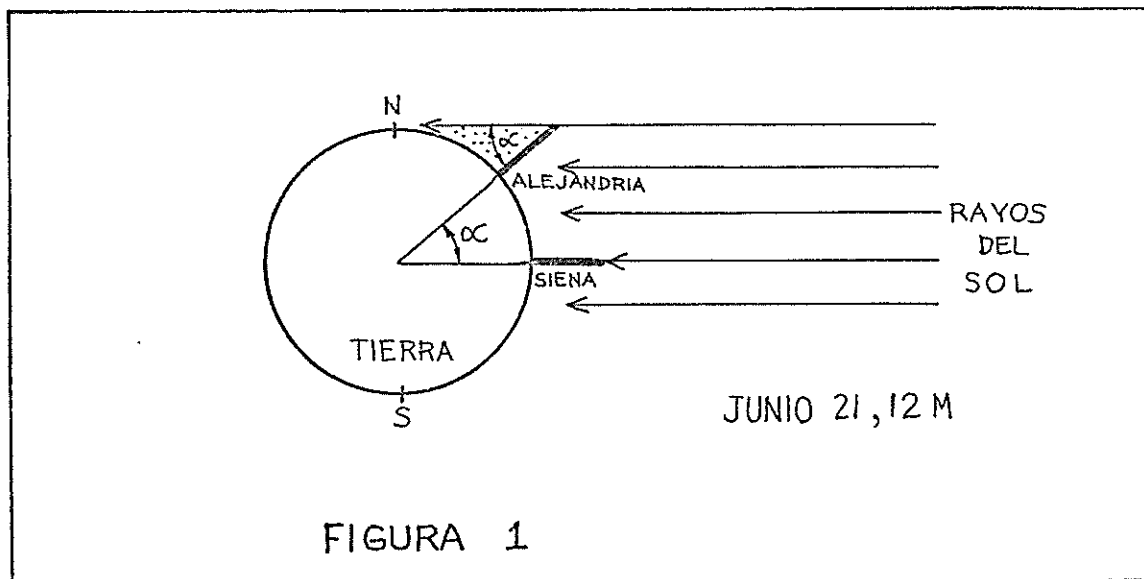


LAS ANTIGUAS MEDICIONES DEL UNIVERSO

Como ha podido el hombre medir el Universo? En el firmamento solo podemos medir distancias angulares; cuando vemos dos objetos celestes separados por un cierto arco, no podemos asegurar cual está mas cerca a nosotros, o si están a la misma distancia, o a que distancia se encuentran de nosotros. A lo largo de la historia, diferentes observadores han visto los mismos movimientos de los astros, y sin embargo los han interpretado de maneras completamente diferentes; la forma como los han interpretado y sus teorías acerca de los fenómenos naturales, les ha permitido a algunos calcular las distancias y las medidas del cosmos.

Vamos a ver aquí como se realizaron los primeros cálculos del tamaño del Universo.

1. EL RADIO DE LA TIERRA



Desde época de los griegos se creía que la Tierra era esférica. En el siglo III A.C., Eratóstenes calculó el radio terrestre con bastante precisión. Eratóstenes vivía en Alejandria; leyendo un libro de la biblioteca de Alejandria, se enteró que algún habitante de la ciudad de Siena (al sur de Alejandria), había observado que cada año el 21 de junio al mediodía las varas verticales no proyectaban sombra; el

Sol se encontraba exactamente en el cenit, y se reflejaba en el agua del fondo de un pozo profundo. Sin embargo Eratóstenes observó que en Alejandría no ocurría lo mismo: los rayos del Sol formaban un ángulo de una cincuentaava parte del círculo con las varas verticales, de manera que estas si proyectaban sombra, y el Sol no se reflejaba en el fondo de los pozos profundos.

Eratóstenes atribuyó esta diferencia a la curvatura de la Tierra y decidió medir la distancia entre Siena y Alejandría para determinar el radio terrestre. El valor que obtuvo Eratóstenes para la distancia entre Siena y Alejandría fue de aproximadamente 800 Km; como los rayos del Sol llegan a la Tierra paralelos, debido a su gran distancia, entonces el ángulo que forman los rayos del Sol con una vara vertical en Alejandría, el 21 de junio al mediodía, (ángulo alfa en la figura 1) es igual al ángulo que hay entre Siena y Alejandría, medido desde el centro de la Tierra. Como dicho ángulo es de medio grado, y el arco que le corresponde (distancia entre Alejandría y Siena) es de 800 Km, entonces la circunferencia completa de la Tierra debe medir $720 \times 800 \text{ Km} = 400000 \text{ Km}$ (la circunferencia es 720 mayor que un ángulo de 1/2 grado).

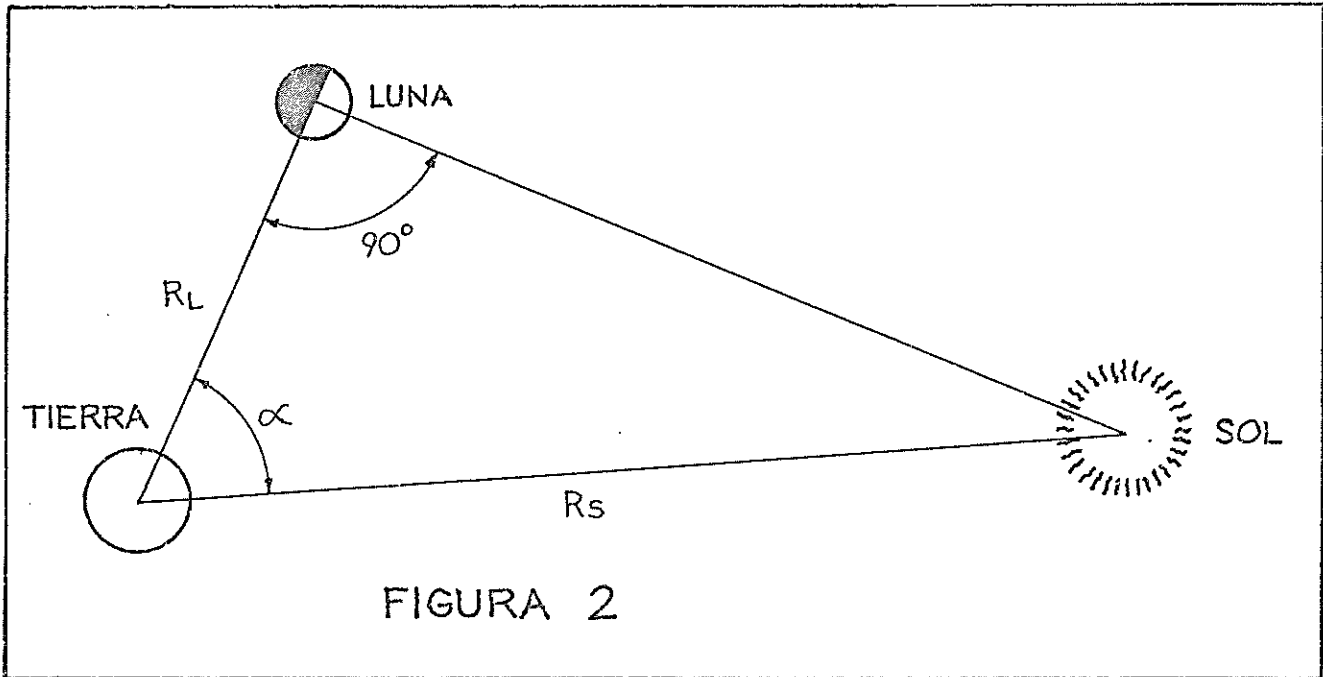
Conociendo la circunferencia terrestre, Eratóstenes calculó su radio dividiendo 400000 entre dos veces pi. De esta forma se puede medir con bastante aproximación el radio de la Tierra; sin embargo la distancia que midió Eratóstenes está dada en estadios, y hoy en día no sabemos la equivalencia exacta entre los estadios de los griegos y el kilómetro.

2. DISTANCIA ENTRE LA TIERRA Y LA LUNA, Y LA TIERRA Y EL SOL

Aristarco de Samos, un griego contemporáneo de Eratóstenes, ideó el siguiente método para medir las distancias a la Luna y al Sol.

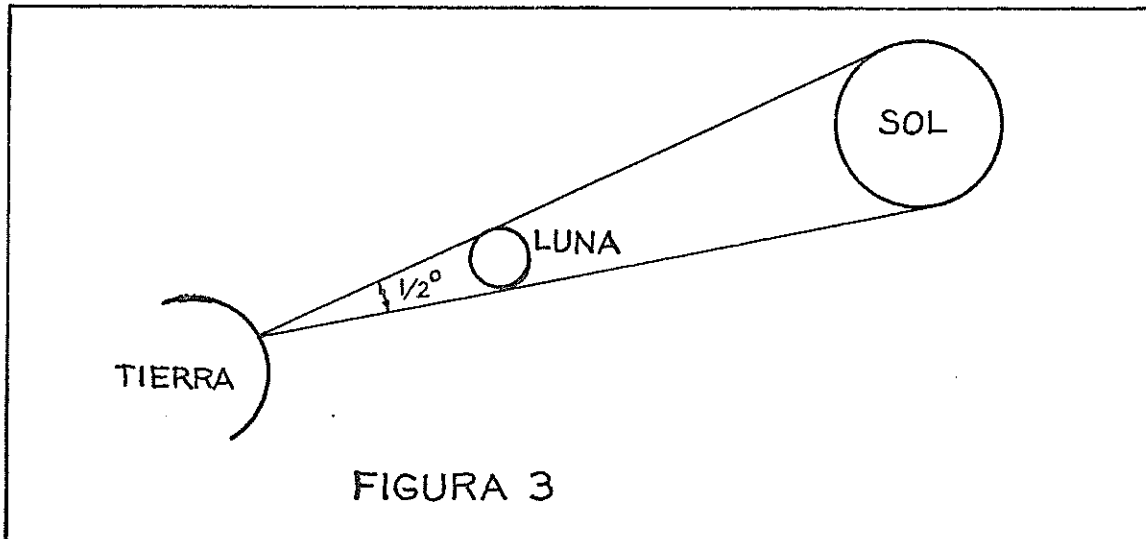
Quando la Luna se observa iluminada exactamente hasta la mitad (ver figura 2), es porque la línea que une la Luna con la Tierra forma ángulo recto con la línea que une el Sol con la Luna. Por lo tanto si en un día en que veamos que la Luna está llena exactamente hasta la mitad, medimos el ángulo que hay entre el Sol y la Luna (alfa en la figura 2), podremos calcular la relación existente entre la distancia al Sol (R_s) y la distancia a la Luna (R_L): Como el triángulo que forman la Tierra, el Sol y la Luna es rectángulo, tenemos:

$$R_L/R_S = \cos(\alpha)$$



Aristarco midió el ángulo alfa y obtuvo un valor de 87° , lo cual implica que la distancia al Sol es 19 veces mayor que la distancia a la Luna. El ángulo alfa es bastante difícil de medir puesto que es difícil determinar en que momento la Luna está llena exactamente hasta la mitad, y en donde se encuentra su centro, al igual que el del Sol; el ángulo alfa es realmente un poco mayor (89.85°), lo que conduce a una distancia al Sol unas 400 veces mayor que la de la Luna.

Además Aristarco observó que la Luna y el Sol ambos tienen un tamaño de $1/2$ grado vistos desde la Tierra (fig.3); por lo tanto sus diámetros deben estar también en la proporción de 1 a 19.



Habiendo encontrado ya la relación entre la distancia a la Luna y la distancia al Sol, Aristarco logró relacionar ambas distancias al diámetro terrestre -ya medido por Eratóstenes- midiendo el tiempo de un eclipse de Luna (fig.4). El tiempo que tarda la Luna desde que comienza a entrar en eclipse (A) hasta cuando queda eclipsada por completo (B), es el mismo tiempo que dura el eclipse en su fase total (desde B hasta C); por lo tanto el ancho de la sombra de la Tierra en el sitio donde es atravesada por la órbita de la Luna es igual al doble del diámetro lunar ($2d$ en la figura 4).

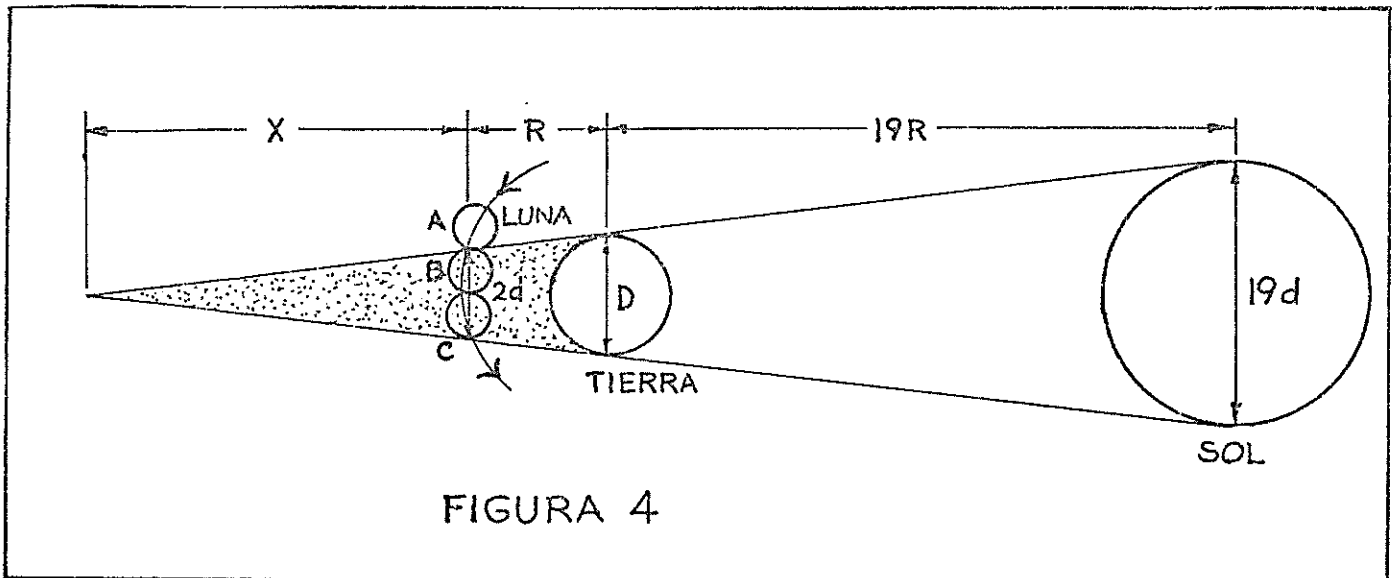


FIGURA 4

El diámetro del Sol es 19 veces mayor que el de la Luna, y su distancia a la Tierra 19 veces mayor que la de la Luna a la Tierra; en la figura 4 tenemos tres triángulos semejantes; por proporcionalidad entre el triángulo pequeño y el grande, tenemos:

$$X/(2d) = (X+20R)/19d$$

despejando R,

$$R = (17/40)X \quad (1)$$

Comparando ahora el triángulo más pequeño con el mediano, obtenemos:

$$X/2d = (X+R)/D \quad (2)$$

y si reemplazamos (1) en (2), podemos hallar el diámetro de la Luna (d) en función del diámetro terrestre (D) ya

calculado por Eratóstenes:

$$d=0.35D \quad (3)$$

Como el ángulo subtendido por el diámetro lunar visto desde la Tierra es de medio grado, se puede ahora calcular la distancia de la Tierra a la Luna:

$$RL=(720 \times 0.35D) / 2\pi \approx 42D$$

Y como según Aristarco, el Sol está 19 veces más lejos que la Luna, entonces la distancia al Sol es:

$$RS \approx 750L$$

Como usted habrá podido apreciar, los razonamientos que le permitieron a Aristarco calcular las distancias y diámetros de la Luna y el Sol, implican un conocimiento muy preciso de las causas de fenómenos como los eclipses y las fases de la Luna. Aristarco ya comprendía perfectamente que la luz de la Luna es la misma del Sol, reflejada en su superficie, y que los fases y los eclipses de la Luna se deben a las diferentes posiciones relativas de la Tierra, la Luna y el Sol.

EL TAMAÑO DEL SISTEMA SOLAR

A finales del siglo XV, Copérnico calculó las distancias de todos los planetas (conocidos en la época) a el Sol. Al suponer que era el Sol el centro del sistema solar, y no la Tierra como hasta entonces se creía, pudo explicar ciertos fenómenos como el periodo entre las pocsiones de un planeta, los cuales en la imagen anterior que se tenía del universo aparecían como simples coincidencias.

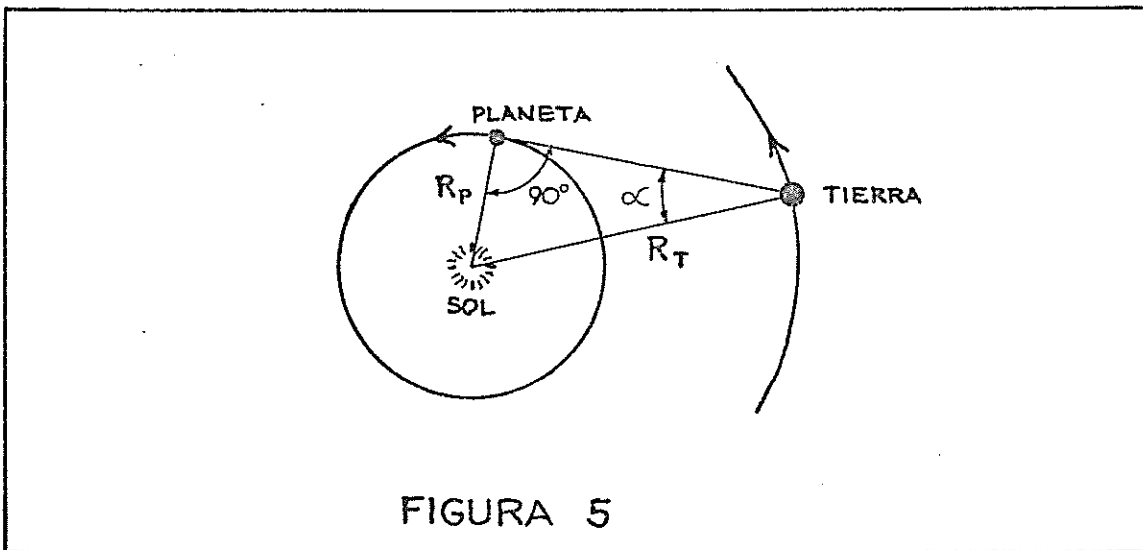


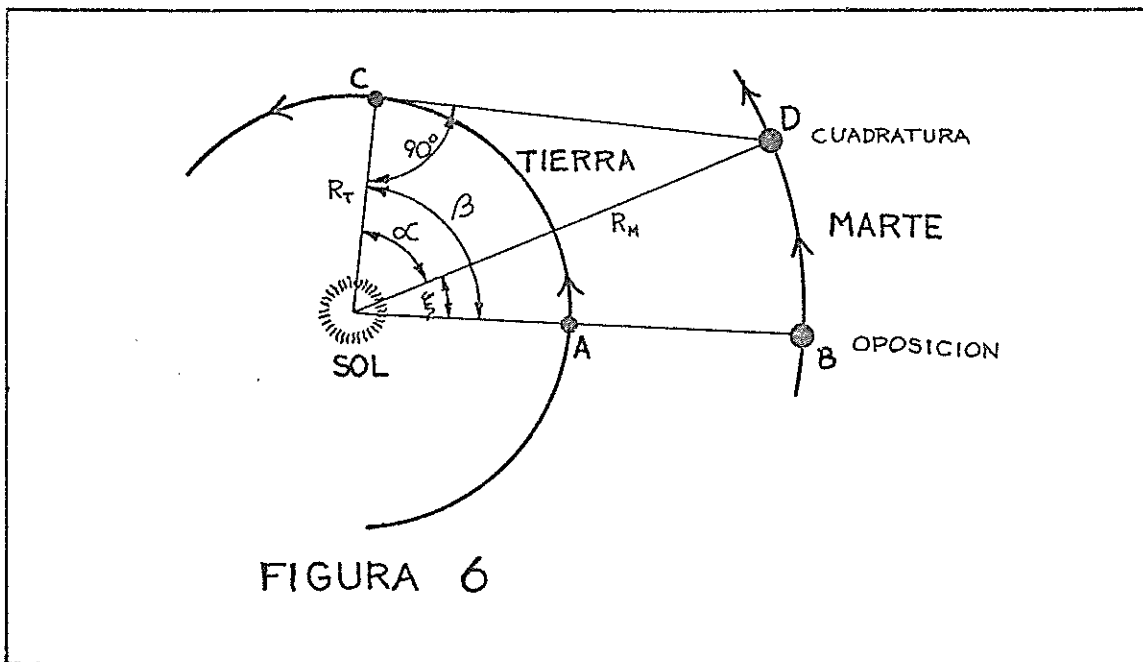
FIGURA 5

Los planetas que giran alrededor del Sol mas cerca que la Tierra (Mercurio y Venus), nunca se observan muy alejados del Sol. El ángulo máximo de alejamiento del Sol (figura 5), es el ángulo que forman la línea que une a la Tierra y al Sol con la tangente a la órbita del planeta interno (Mercurio o Venus), trazada desde la Tierra. Como el ángulo que se forma entre la tangente a la órbita y el radio de la órbita (ver figura 5), es de 90° , entonces si durante varios días observamos al planeta y determinamos cual fué su mayor separación con respecto al Sol -ángulo al que podemos calcular el radio de su órbita alrededor del Sol- con la siguiente relación:

$$R_p = R_T \operatorname{sen} \alpha$$

En donde R_T es la distancia de la Tierra al Sol, ya conocida, que se puede tomar como igual a la unidad (unidad astronómica.)

Los planetas exteriores -Marte, Jupiter y Saturno, en la época de Copérnico- sí pueden ser observados formando cualquier ángulo con respecto al Sol (figura 5), pero en ciertas fechas forman un ángulo de 180° con el Sol (oposición) y en otras fechas el ángulo con el Sol es de 90° (cuadratura).



En la figura 6, en una cierta fecha la Tierra se encuentra en el punto A, y Marte se encuentra en oposición al Sol en el punto B; después de unos días, la Tierra se ha movido hasta C y Marte solamente se ha movido hasta D, de manera que ahora

Marte está en cuadratura, formando un ángulo recto con el Sol. Si medimos el número de días transcurridos desde la oposición de Marte hasta su cuadratura, y conociendo ya el número de días que tardan la Tierra y Marte en dar una vuelta alrededor del Sol, podemos calcular fácilmente el ángulo que se ha movido la Tierra desde A hasta C (β), y el ángulo que se ha movido Marte desde B hasta D (ξ). Restando estos dos ángulos, encontramos el ángulo alfa de la figura 5, y podemos calcular la distancia del Sol hasta Marte:

$$R_M = R_T / \text{sen}(\alpha)$$

De esta manera Copérnico pudo calcular el tamaño de las órbitas de los planetas -en unidades astronómicas- de manera bastante precisa; la tabla 1 muestra los valores de los ángulos alfa (fig. 5 y 6) para todos los planetas observados por Copérnico, y las distancias obtenidas por Copérnico, así como los valores actualmente conocidos.

PLANETA	ANGULO α	RADIO ORBITAL (U.A.)	
		COPERNICO	MODERNO
MERCURIO	22.5°	0.376	0.3871
VENUS	46°	0.719	0.7233
TIERRA	—	1.000	1.0000
MARTE	41°	1.520	1.5237
JUPITER	11°	5.219	5.2028
SATURNO	6°	9.174	9.5389

Tabla 1- Datos de las órbitas planetarias (Tomado de Mecánica Newtoniana, A. P. French, p. 255)

Aunque los radios de las órbitas planetarias calculados por Copérnico son bastante parecidos a los valores que se han medido actualmente, sin embargo la distancia de la Tierra a la Luna, tomada como unidad de medida (unidad astronómica), y medida por Aristarco, presenta un gran error como ya vimos

el Sol

anteriormente: Aristarco creía que la distancia de la Tierra al Sol era unas 1520 veces mayor que el radio de la Tierra; cien años después de Copérnico, Kepler ideó otro método para calcular la distancia al Sol, y encontró que debía ser por lo menos 2400 veces mayor que el radio de la Tierra. No fue sino hasta el siglo XVIII cuando se logró medir con bastante aproximación la distancia de la Tierra al Sol, que es unas 33000 veces mayor que el radio de la Tierra.